

TECHNOLOGIE D'ÉLECTROTECHNIQUE

Henri Ney

T
erm

REP

NATHAN
TECHNIQUE



JP Conil
9, allée H. Daumier
42100 St Etienne
jp.conil@freeurf.fr

TECHNOLOGIE D'ÉLECTROTECHNIQUE

Henri Ney
professeur agrégé d'électrotechnique

Term
BEP

NATHAN
TECHNIQUE

Édition : Patrick Gonidou
Coordination artistique : Évelyn Audureau
Fabrication : Pascal Mégret
Recherche iconographique : Véronique Brown
Maquette intérieure et couverture : Marc Henry
Dessins : Hubert Blatz
Composition et schémas : APS

Crédit photographique :

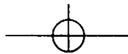
Couverture : © Hoaqui/Zefa/Streichan

Chauvin Amoux (p. 50) ; Crouzet (p. 108) ; Photothèque EDF (p. 12 et ouverture des chapitres 2 à 8) ; Eurotherm (p. 257) ; France Transfo (pp. 23, 24 et 25) ; Hager (pp. 129 et 130) ; IRAI (p. 244) ; ITT Metrix (pp. 48 et 80) ; Legrand (pp. 57, 64, 118 et 119) ; Leroy Somer (pp. 77, 81, 82, 99 et ouverture des chapitres 9 à 13) ; Schneider Electric/Télémeccanique/Merlin Gérin (pp. 6, 16, 26, 30, 31, 41, 47, 48, 56, 65, 75, 97, 152, 162, 163, 205, 209, 210, 212, 218, 242 et ouverture des chapitres 1, 26, 27 et 28) ; auteur (pp. 14, 26 et ouverture des chapitres 14 à 16).



"Le photocopier, c'est l'usage abusif et collectif de la photocopie sans autorisation des auteurs et des éditeurs. Largement répandu dans les établissements d'enseignement, le photocopillage menace l'avenir du livre, car il met en danger son équilibre économique. Il prive les auteurs d'une juste rémunération. En dehors de l'usage privé du copiste, toute reproduction totale ou partielle de cet ouvrage est interdite."

© Nathan/HER, 2000 - 9, rue Méchain, 75014 Paris pour l'édition précédente.
© Nathan/V UEF, 2001 pour la présente édition.
ISBN 2 09 178740 X



Avant-Propos

Ce livre de technologie s'adresse aux élèves de **Terminale BEP en Électrotechnique** et peut également être utile aux élèves de CAP Électrotechnique.

Son objectif : **développer les capacités des élèves à s'informer, préparer, intervenir et informer.** À partir du référentiel, les contenus des connaissances à acquérir étant fixés, des situations ou des activités permettent à l'élève de mettre en œuvre son savoir et son savoir-faire pour accomplir des tâches du métier d'électricien.

Cet ouvrage comporte 28 chapitres, au début desquels sont indiqués les objectifs à atteindre et les savoirs technologiques correspondant au programme (S 1 à S 6). Les chapitres sont regroupés en **7 parties** :

- la sécurité et l'habilitation,
- la distribution de l'énergie électrique,
- l'utilisation de l'énergie pour la force motrice,
- l'électronique de puissance,
- la commande des systèmes automatiques,
- la sécurité et la maintenance des installations et des équipements,
- les aspects commerciaux et techniques de l'activité d'électricien.

Chaque chapitre contient :

- **le cours** présentant des notions simples, précises, avec une illustration abondante ;
- **une synthèse des notions de base**, « L'essentiel », et un questionnaire Vrai/Faux permettant de contrôler les connaissances du cours ;
- **les exercices** : les exercices résolus donnent la méthode à appliquer à chaque type de problème technique, les exercices à résoudre ont pour rôle d'entraîner les élèves à résoudre les difficultés technologiques ;
- **les fiches de schémas** regroupant les symboles normalisés, les schémas électriques de base, ou les schémas d'équipements électriques qui sont donnés à titre d'exemple ;
- **les fiches de documentation** extraits de catalogues de constructeurs ; elles participent à la mise en situation professionnelle de l'élève pour la résolution des exercices.

Cet ouvrage, par rapport au manuel précédent, a été restructuré par l'**ajout de deux chapitres**, le premier portant sur la sécurité et l'habilitation, et le second permettant de développer les régimes de neutre. **Trois dossiers techniques** sur des systèmes didactisés font leur apparition. Aux **questionnaires Vrai/Faux**, correspond une disquette permettant d'effectuer les contrôles sur ordinateur (avec le livre du professeur). Enfin, les fiches de documentation, les normes et les schémas ont été actualisés.

Nous tenons à remercier M. Alain Darmedru et M. Guy Cartoux pour leur collaboration et les conseils qu'ils ont apportés pour la révision de cet ouvrage.

Nous souhaitons que ce livre, qui avec le volume précédent, recouvre l'ensemble du programme de BEP d'électrotechnique, soit utile aux élèves et aux professeurs. Il sera, en particulier, une aide à la mise en relation entre les tâches à accomplir et les connaissances à acquérir pour le développement des compétences et des capacités des professionnels de l'électrotechnique.

Henri Ney

Sommaire

Sécurité et habilitation



1. Sécurité et habilitation 6

Distribution de l'énergie électrique



2. Réseaux et postes de distribution 12
3. Transformateurs de distribution 23
4. Les régimes de neutre 32
5. Mise au neutre - Neutre isolé 38
6. Appareillage de commande et de contrôle 46
7. Protection des installations 55
8. Canalisations et section des conducteurs 66

Utilisation de l'énergie électrique



9. Machines électriques à courant alternatif 77
10. Démarrage des moteurs asynchrones 88
11. Machines à courant continu 98
12. Réseaux normal-secours 109
13. Gestion de l'énergie 120

Électronique de puissance



14. Les constituants d'électronique de puissance 131
15. Convertisseurs à courant continu 142
16. Convertisseurs pour courant alternatif 153

Commande de systèmes



17. Les fonctions logiques - Les bascules 164 S 5.1
18. Bascules JK - Compteurs 174 S 5.1
19. Fonctions en logique numérique 183 S 5.1
20. Fonctions analogiques 192 S 5.1
21. Gestion des automatismes 201 S 5.2
22. Programmation d'A.P.I. en langage liste 212 S 5.2
23. Programmation en langage GRAFCET 225 S 5.2
24. Programmation assistée par ordinateur 242 S 5.2
25. Régulation et asservissement 250 S 5.2

Sécurité et maintenance



26. Maintenance des installations électriques 259 S 6.4 à S 6.7
27. Maintenance sur les équipements électriques 269 S 6.4, S 6.5

Les aspects commerciaux et techniques



28. Les aspects commerciaux et techniques 278 S 7.1, S 7.2

- Index alphabétique** 286

Savoirs technologiques

S 6.1, S 6.2, S 6.5

S 1.1

S 1.1

S 1.2

S 1.2

S 1.3

S 1.2, S 3.1

S 1.4

S 2.4

S 2.4

S 2.4

S 2.5

S 2.6

S 4.1

S 4.2

S 4.2

S 5.1

S 5.1

S 5.1

S 5.1

S 5.2

S 5.2

S 5.2

S 5.2

S 5.2

S 6.4 à S 6.7

S 6.4, S 6.5

S 7.1, S 7.2

Fiches de schémas électriques, normes, dossiers techniques

Chap.	pages
1. Symboles utilisés en distribution	20
Poste de distribution HTA-BT	21
3. Symboles des transformateurs	29
5. Longueurs protégées par fusible	44
7. Section des conducteurs et protections	63
8.	
9. Symboles des machines tournantes	85
10. Symboles de démarreurs, de convertisseurs et de générateurs	96
11. Démarrage des moteurs à courant continu	106
12. Projet d'éclairage de sécurité	117
13. Procédés de délestage	128
14.	
15. Tableau comparatif des différents montages redresseurs	150
Variateurs de vitesse numériques	151
16. Variateur de vitesse (onduleur)	159
Démarreurs progressifs (gradateur)	160 et 161
17. Symboles des opérateurs logiques binaires	170 et 171
Opérateurs de logique et bascules	172 et 173
18. Fonctions numériques	181 et 182
19. Fonctions arithmétiques	190 et 191
20. Amplificateurs opérationnels	199 et 200
21.	
22. Système de traitement de surface	219 à 224
23. Système de triage de colis	234 à 241
24. Station de lavage	246 à 249
25.	
26.	
28.	

Fiches de documentation

	pages
Cellules préfabriquées (Schneider-Electric)	22
Transformateurs MT/BT (Schneider-Electric)	30 et 31
Longueurs protégées par disjoncteur (Schneider-Electric)	45
Cartouches industrielles (Legrand)	64
Disjoncteurs Compact NS (Schneider-Electric)	65
Câble U-1000 RVFV (Alcatel Câble)	74
Canalisations Canalis KN (Schneider-Electric)	75 et 76
Moteurs asynchrones (Leroy Somer)	86 à 87
Démarreurs « étoile-triangle » (Schneider-Electric)	97
Moteurs à courant continu (Leroy Somer)	107
Moteurs pas à pas (Crouzet)	108
Éclairage de sécurité (Legrand)	118 et 119
Délesteurs (Hager)	129
Gestionnaires d'énergie (Hager)	130
Diodes de puissance (STMicroelectronics)	138
Thyristors (STMicroelectronics)	139
Triacs (STMicroelectronics)	140
Transistors bipolaires (STMicroelectronics)	141
Rectivar 4 (Schneider-Electric)	152
Variateur de vitesse Altivar 18 (Schneider-Electric)	162
Démarreur progressif LH4 (Schneider-Electric)	163
Automates TSX Nano (Schneider-Electric)	209 à 211
Micro-automates TSX I7-10/20 (Schneider-Electric)	218
Logiciels et terminal pour automates TSX I7/47 (Schneider-Electric)	232 et 233
Régulateur de température 2208 (Eurotherm)	257 et 258
Exemple de tâche réalisée par un électricien BI V	267
Attestation de consignation - Autorisation de travail	268
Extraits de barème de prix standard (prix relatifs)	283 et 284
Logiciel de réalisation de devis Axetud (Legrand)	285

1

Sécurité et habilitation

La formation à la prévention des risques électriques est obligatoire. Elle repose sur :

- des **connaissances théoriques** relatives à la sécurité en électrotechnique ;
- une **formation pratique** sur les installations, comportant une étude des prescriptions de sécurité.

1 Le risque électrique

Du fait des risques d'électrocution, les accidents mortels sont de l'ordre de vingt par an. Ce chiffre, encore trop élevé, est en baisse, par suite de l'évolution des matériels et de l'application des normes et des règlements.

1.1. Sensibilisation au risque électrique

a) Statistiques

Le graphique (fig. 1) montre l'évolution du nombre d'accidents du travail d'origine électrique. Le nombre d'accidents mortels en France, dus à l'électricité, est donné figure 2.

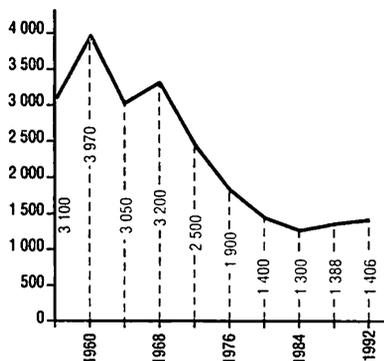


Fig. 1 : Évolution du nombre d'accidents du travail d'origine électrique (source INRS).

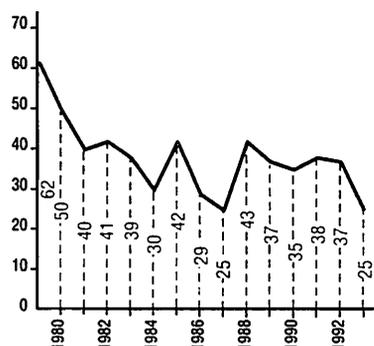


Fig. 2 : Nombre de morts dus à des accidents d'origine électrique.

b) Les différents risques

Les différents risques électriques ont déjà été étudiés (voir tome I, chapitre 8, page 77).

Rappel :

On distingue les formes suivantes d'électrisation des personnes :

- électrisation par contact direct phase terre (fig. 3) ;
- électrisation par contact direct phase neutre (fig. 4) ;
- électrisation par contact indirect (fig. 5).

Un échauffement anormal des matériels peut provoquer des risques de brûlures.

OBJECTIF

Permettre aux élèves électriciens, par une formation à la prévention des risques électriques, d'être habilités par leur futur employeur.

SAVOIRS TECHNOLOGIQUES

S 6.1, S 6.2, S 6.5

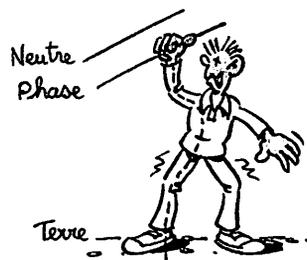


Fig. 3 : Contact direct phase-terre.

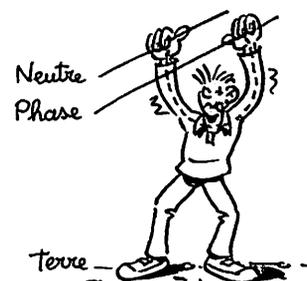


Fig. 4 : Contact direct phase-neutre.

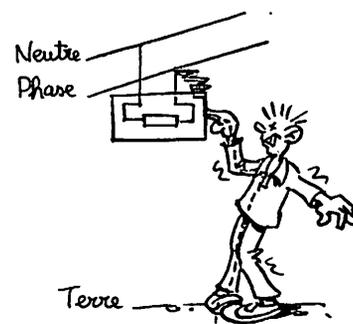


Fig. 5 : Contact indirect.

1.2. Prévention des risques

a) Normes et règlements

Il faut distinguer les textes législatifs, comme le **décret du 14 novembre 1988**, intitulé protection des travailleurs, des textes normatifs, comme la **norme NF C 15-100**, concernant l'exécution des installations basse tension. Les principaux textes réglementaires et normatifs sont indiqués *figure 6*.

b) Protection contre les contacts directs et indirects

Les dispositions pour la protection contre les contacts directs et indirects ont été étudiées précédemment (voir tome 1 chapitre 8).

Rappel :

- utilisation de la très basse tension ;
- isolation des parties actives ;
- protection au moyen de barrières ou d'enveloppes ;
- protection par coupure automatique de l'alimentation.

c) Complément

La résistance du corps humain est très variable en fonction de l'état de la peau et des différentes valeurs de tension (*fig. 7*).

Le *tableau 1* donne les valeurs de résistances en fonction de la tension.

d) Autres protections

La protection contre les échauffements anormaux, et les risques d'incendie est surtout réalisée par les protections contre les surintensités et les courts-circuits et contre les surtensions (voir tome 1).

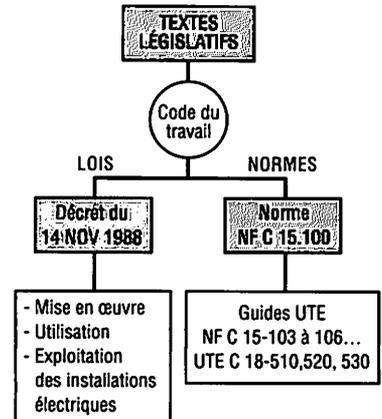


Fig. 6 : Principaux textes réglementaires régissant les installations électriques.

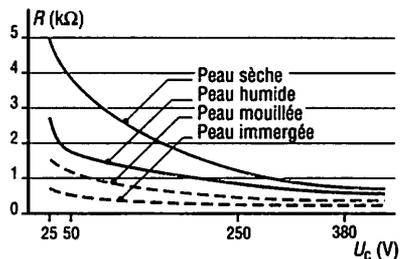


Fig. 7 : Résistance du corps humain, en fonction de la tension de contact, pour différents états de la peau (d'après INRS).

2 La publication UTE C18-510

Cette publication est destinée à faire connaître les prescriptions à observer en vue d'éviter les accidents au cours des opérations relatives à la construction, à l'exploitation, et à l'entretien des ouvrages électriques (installations et équipements).

2.2. Contenu de la publication UTE 18-510

Cette publication traite des travaux exécutés **hors tension** ou **sous tension**, pour les ouvrages en BT ou HT.

Les publications UTE 18-530, et 18-540, donnent les prescriptions de sécurité électrique destinées au personnel habilité (B0, B1, BR).

Le *tableau 2* donne le plan de la publication 18-540.

Tableau 2 : Sommaire de la norme UTE C 18-540.

N°	Sommaire
1	Généralités
2	Domaines de tensions et définitions
3	Formation et habilitation
4	Travaux hors tension
5	Travaux effectués sous tension
6	Voisinage de pièces nues sous tension
7	Interventions du domaine BT
8	Manœuvres - mesurages - essais - vérifications
9	Opérations particulières à certains ouvrages
10	Matériels de protection individuelle et collective - outillage électrique
11	Dispositions à prendre en cas d'accidents d'origine électrique

Tableau 1 : Valeurs de résistance du corps humain selon NFC 15-100 (d'après INRS).

Tension de contact	Peau sèche	Peau humide	Peau mouillée	Peau immergée
25 V	5 000	2 500	1 000	500
50 V	4 000	2 000	875	440
250 V	1 500	1 000	650	325
> 250 V	1 000	1 000	650	325

2.2. Domaines de tension

Les distances d'environnement et les habilitations dépendent des domaines de tension (**tableau 3**).

Tableau 3 : Différents domaines de tension.

Domaine de tension	Courant alternatif	Courant continu
TBT	$U \leq 50$ volts	$U \leq 120$ volts
BTA	$50 < U \leq 500$ V	$120 < U \leq 750$ V
BTB	$500 < U \leq 1\ 000$ V	$750 < U \leq 1\ 500$ V
HTA	$1\ 000 < U \leq 50$ kV	$1\ 500 < U \leq 75$ kV
HTB	$U > 50$ kV	$U > 75$ kV

2.3. Définitions

a) Installations électriques

Elles comportent l'ensemble des matériels électriques qui transforment l'énergie électrique et la distribuent, d'une façon permanente au moyen de canalisations fixes, aux différents équipements (**fig. 8**).

b) Équipements électriques

Ils comprennent l'appareillage électrique, avec les canalisations des circuits de commande et de protection des moteurs, et les autres appareils utilisant l'énergie électrique (**fig. 8**).

c) Opérations

Ce sont des travaux hors tension ou sous tension, qui comprennent les interventions, les manœuvres, les mesurages, les essais, les vérifications, effectués sur les ouvrages électriques ou au voisinage de pièces nues sous tension.

d) Travaux

On appelle ainsi toute opération dont le but est de réaliser, de modifier, d'entretenir ou de réparer un ouvrage électrique. On distingue :

- les travaux d'ordre électrique ;
- les travaux d'ordre non électrique.

e) Interventions

Ce sont des opérations de courte durée qui n'intéressent qu'une faible étendue de l'ouvrage. Elles sont réalisées sur une installation ou sur un équipement (TBT, ou BT). On distingue :

- les interventions de dépannage ;
- les interventions de connexion ;
- les interventions de remplacement (fusibles, lampes).

f) Manœuvres

Ce sont des opérations conduisant à un changement de configuration de l'installation électrique. L'ordre de succession de ces opérations à l'aide d'interrupteurs, disjoncteurs, sectionneurs, est parfaitement défini.

g) Locaux d'accès réservé aux électriciens

Ce sont les volumes ordinairement enfermés dans une enceinte, tels que armoires, postes, clôtures, pouvant contenir des pièces nues, accessibles, sous tension, de degré de protection IP 3X (**fig. 9**).

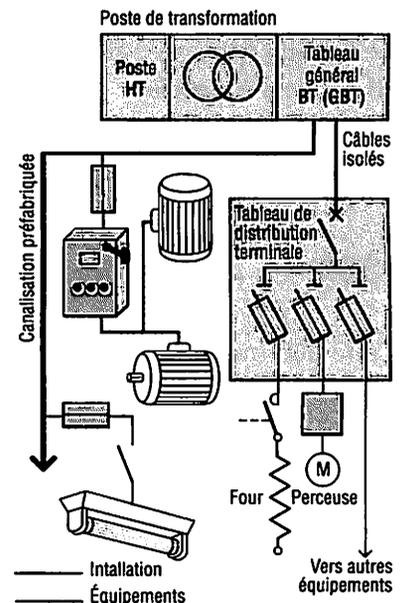


Fig. 8 : Séparation entre installations et équipements.

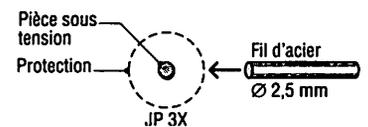


Fig. 9 : Protection IP 3X contre la pénétration des corps solides supérieure à 2,5 mm.

3 Habilitation

Pour être habilité, le personnel doit avoir acquis une formation relative à la prévention des risques électriques.

3.1. Définitions de l'habilitation

C'est la reconnaissance, par son employeur, de la capacité d'une personne à accomplir en sécurité les tâches fixées.

L'habilitation doit être révisée chaque fois que cela est nécessaire : mutation, interruption de travail, évolution des méthodes...

Dans tous les cas, le titulaire d'une habilitation doit avoir reçu un ordre d'exécution avant de commencer un travail.

3.2. Symboles d'habilitation

La nature de l'habilitation est symbolisée par des lettres majuscules et des indices des numériques (*tableau 4*).

a) Première lettre

Elle indique le domaine de tension des ouvrages.

- **B** caractérise les ouvrages du domaine BT ;
- **H** caractérise les ouvrages du domaine HT.

b) Deuxième lettre

Lorsqu'elle existe, elle précise la nature des opérations que l'on peut réaliser.

- **R** indique que les interventions sont limitées au domaine BT ;
- **V** indique que le titulaire peut travailler au voisinage.

c) Indices numériques

- Indice **0** : personnel réalisant exclusivement des travaux d'ordre non électrique, ou des manœuvres permises ;
- Indice **1** : exécutant des travaux d'ordre électrique, ou des manœuvres ;
- Indice **2** : chargé de travaux d'ordre électrique.

3.3. Personnes habilitées (*tableau 5*)

Tableau 5 : Tableau des habilitations.

Habilitation du personnel	Opérations Travaux		Interventions en BT
	Hors tension	Sous tension	
Non-électricien	B0 ou H0	–	–
Exécutant électricien	B1 ou H1	B1T ou H1T	–
Chargé d'intervention	–	–	BR
Chargé de travaux	B2 ou H2	B2T ou H2T	–
Chargé de consignation	BC ou HC	–	BC

a) Non-électricien habilité B0

Personne pouvant accéder sans surveillance aux locaux d'accès réservé aux électriciens et effectuer des travaux d'ordre non électrique.

b) Exécutant électricien B1

Personne pouvant accéder sans surveillance aux locaux réservés aux électriciens et effectuer des travaux d'ordre électrique ou non, et des manœuvres dans l'environnement de pièces nues sous tension, du domaine BT (*fig. 10*).

Il agit sur instructions verbales ou écrites et doit veiller à sa propre sécurité.

c) Chargé de travaux B2, ou chargé d'interventions BR

Cette personne effectue des travaux, ou des interventions en BT et en assure la direction effective. Elle assure sa sécurité et celle du personnel placé sous ses ordres (*fig. 11*).

Tableau 4 : Symboles d'habilitation.

Lettre ou chiffre	Désignation
1^{re} lettre : Symboles des ouvrages	
B	Basse tension
H	Haute tension
2^e lettre : Nature des opérations (n'existe pas toujours)	
R	Intervention limitée à BT
V	Travail au voisinage
C	Peut procéder à des consignations
T	Peut travailler sous tension
N	Peut effectuer des travaux de nettoyage sous tension
Chiffre : Indice de qualification	
0	Réalise des travaux non électriques
1	Exécutant électricien
2	Chef d'équipe électricien (exécutants sous ses ordres)

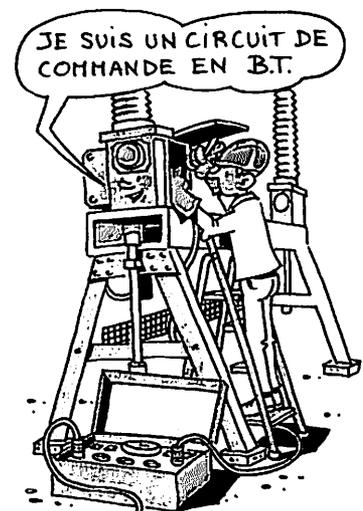


Fig. 10 : Exécutant électricien habilité B1.



Fig. 11 : Chef d'équipe habilité B2.

Elle est autorisée à travailler au voisinage de pièces nues sous tension du domaine BT.

d) Chargé de consignations BC

Cette personne désignée par l'employeur effectue la consignation électrique d'un ouvrage et toutes les mesures de sécurité correspondantes. Le titulaire d'une habilitation doit respecter impérativement les limitations portées sur son titre d'habilitation.

e) Exemple de titre d'habilitation

Il doit comporter les renseignements relatifs à l'employeur et aux titulaires, avec les dates, durée, et signatures (fig. 12).

Remarque : les compléments sur l'habilitation sont donnés au chapitre 26.

Fig. 12 : Exemple de titre d'habilitation.

Nom : DURAND		Employeur : Forges du Nord à Loos		
Prénom : Paul		Affectation : service électrique		
Fonction : électricien				
Personnel	Symbole d'habilitation	Champ d'application		
		Domaine de tension	Ouvrages concernés	Indications supplémentaires
Électricien	H1 B1	5 kV BT	Toute l'usine de Loos	Travaux au voisinage de la BT et des installations 5 kV
Le titulaire signature :		Pour l'employeur Nom et prénom : DUPONT Louis Fonction : chef du service Entretien Signature : Dupont	Date : 30 janvier 2000 Validité : fin décembre 2000	

Tableau 6 : Mise en relation des tâches avec les diplômes.

Niveau	Diplôme	Exigences
III	BTS	B2 V-BR
IV	Bac Pro EIE	B1 V-BR
IV	Bac Génie élec.	B1 V-BR
V	BEP	B1 V
V	CAP	B1 V

Le niveau B1 V comporte également les tâches de B0 V.

Tableau 7 : Liste des tâches professionnelles.

Rép. tâches	Tâche	Habilitation
1	Remplacer un fusible sur un équipement	B0 V
2	Mettre en place un carter dans une armoire électrique	B0 V
1*	Exécuter des opérations hors tension avec voisinage	B1 V
2*	Idem mais sans voisinage	B1 V
3	Veiller à la sécurité des personnes opérant sur un ouvrage électrique	B1 V
4	Mesurer des grandeurs électriques	B1 V

* Après consignation.

4 Formation à l'habilitation

a) Tâches liées à l'habilitation

En fonction du niveau de formation et des diplômes (tableau 6), il a été défini un certain nombre de tâches professionnelles liées à l'habilitation (25 tâches réparties en 3 modules).

Le module B1V comporte 6 tâches qui recouvrent les exigences B1 V et B0 V (tableau 7).

b) Moyens de la formation

Des équipements spécialisés (armoire Habilis) permettent de réaliser des travaux pratiques correspondant aux tâches professionnelles.

Le matériel d'intervention comporte :

- des équipements de protection individuelle (EPI) ;
- des équipements collectifs de sécurité ;
- un outillage avec mise à la terre, mise en court-circuit, vérificateur d'absence de tension (VAT).

c) Certification en vue de l'habilitation

- Un carnet de travaux individuels recense les exercices et travaux pratiques.
- Un contrôle des acquis théoriques est effectué à l'aide de questionnaires (documents écrits).

La certification de la formation à l'habilitation est délivrée sous forme d'un certificat sur proposition des professeurs. Elle est indépendante du diplôme.

L'essentiel

- Le nombre d'accidents mortels est en décroissance, il tend à se stabiliser autour de 20 décès par an.
- L'électrisation d'une personne peut s'effectuer par contacts directs (phase neutre, phase de terre) ou par contacts indirects, parties métalliques sous tension.
- Le décret du 14 novembre 1988, et la norme NF C 15-100 sont les principaux textes qui règlementent les installations électriques. La publication UTE C 18-510, définit les travaux exécutés hors tension ou sous tension.
- On distingue trois domaines de tension, TBT (de 0 à 50 V), BT (50 à 1 000 V en CA), et HT (supérieure à 1 000 V).
- Pour être habilité, le personnel doit recevoir une formation sur les risques électriques.
- L'habilitation est la reconnaissance par un employeur de la capacité d'une personne à accomplir en sécurité les tâches fixées. Le symbole d'une habilitation se définit par des lettres et des chiffres (par exemple B0, B1, BR).
- Une personne non-électricien est habilitée B0, un exécutant électricien est habilité B1.



VRAI OU FAUX ?

Parmi les affirmations suivantes, indiquez celles qui sont vraies.

1. Le nombre d'accidents mortels dus à l'électricité en France est de 400.
2. L'électrisation d'une personne s'effectue en touchant une phase et un neutre.
3. Si l'on touche une phase et la terre, il y a contact indirect.
4. La protection des travailleurs contre les risques électriques est définie par le décret du 14 novembre 1988.
5. La norme NF C 15-100 concerne l'exécution des installations HT.
6. La publication UTE C 18-510 indique les prescriptions en vue d'éviter les accidents, lors du travail sur les installations électriques.
7. Un conducteur dénudé sous tension est différent d'un conducteur dénudé hors tension.
8. La résistance de contact d'une peau sèche sous une tension de 50 V est d'environ 4 000 ohms.
9. Le courant électrique est dangereux pour le corps humain.
10. La basse tension est limitée à 1 000 volts en courant alternatif.
11. Une personne habilitée B0 peut ouvrir une armoire sans autorisation.
12. L'habilitation est une preuve de qualification professionnelle.
13. L'habilitation est délivrée par le formateur de sécurité.
14. L'habilitation est délivrée par l'employeur professionnel utilisateur.
15. L'habilitation est délivrée pour un temps illimité.
16. Étant habilité B0, pour effectuer un travail, il faut en avoir reçu un ordre.
17. L'habilitation d'une personne doit être précédée d'une formation aux risques électriques.
18. Un titre d'habilitation doit être signé par l'employeur et l'habilité.
19. Une personne habilitée B0 est responsable de sa propre sécurité.
20. Une personne habilitée B0 peut entrer de sa propre initiative dans un local réservé aux électriciens.

2

Réseaux et postes de distribution

L'alimentation en énergie électrique comporte plusieurs étapes que l'on peut résumer en :

- **production** de l'énergie électrique ;
- **transport** de cette énergie et sa répartition ;
- **distribution** de l'énergie ;
- **utilisation** de l'énergie électrique (fig. 1).

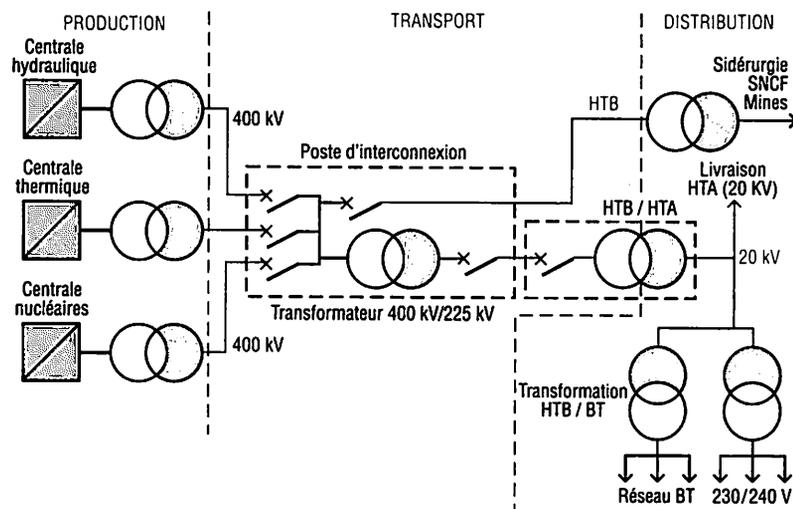


Fig. 1 : Schéma général de la production, du transport et de la distribution d'énergie électrique.

1 Introduction

1.1. Production

L'énergie électrique est une énergie secondaire ; elle est produite à partir des énergies primaires qui sont : l'eau, le vent, le soleil ou les ressources minérales, le charbon, l'uranium, le pétrole (fig. 2).

Cette énergie est produite dans des centrales par des alternateurs à partir de l'énergie mécanique fournie par des moteurs ou des turbines (fig. 3).

1.2. Transport

Il est effectué par un réseau en HTB (Très haute tension) à l'aide de lignes aériennes sous des tensions de 225 kV ou 400 kV. Ces lignes sont alimentées par des transformateurs éleveurs de tension et elles relient les lieux de production aux lieux d'utilisation. Ce réseau est interconnecté, il permet aussi des échanges d'énergie électrique avec les pays limitrophes (fig. 4).

OBJECTIFS

- Être capable de décoder un schéma de réseau, de consulter les prescriptions et règles de sécurité, éventuellement de déterminer les causes d'un mauvais fonctionnement dans un poste de distribution.

- Il faut pour cela avoir des connaissances sur les différents types de réseaux, les procédures d'exploitation et la mesure de différents paramètres sur un réseau ou un poste de transformation.

SAVOIR TECHNOLOGIQUE S 1.1

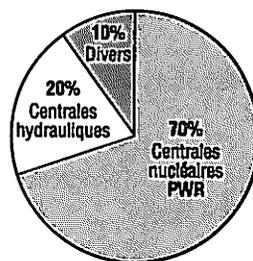


Fig. 2 : Répartition des énergies primaires pour la production d'énergie électrique (divers = charbon, fuel).

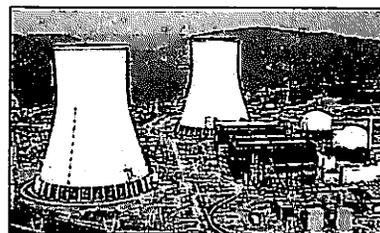


Fig. 3 : Centrale nucléaire.

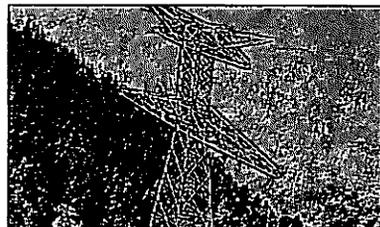


Fig. 4 : Pylône à 400 kV.

Les lignes THT alimentent des postes de répartition où la tension est abaissée en 225 kV ou 63 kV, quelquefois en 150 kV ou 90 kV, pour alimenter le réseau régional de distribution.

1.3. Distribution

À partir de postes-sources (fig. 5) alimentés par le réseau de transport, la distribution s'effectue en général à 20 kV. On distingue deux types de distribution.

a) Réseau en zone rurale

Ce sont essentiellement des **lignes aériennes** assez longues, assurant une distribution avec une faible puissance à des utilisateurs très dispersés.

b) Réseau en zone urbaine

Il s'agit surtout de **câbles souterrains**, qui ne sont pas influencés par les intempéries (orages par exemple). La puissance installée est beaucoup plus importante par unité de surface.

Il existe environ 400 000 postes de distribution publique en France (fig. 6).

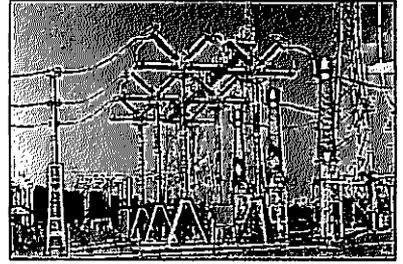


Fig. 5 : Poste THT.

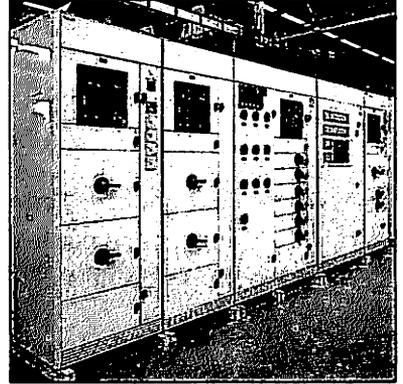


Fig. 6 : Poste de distribution HTA/BT.

1.4. Classification des réseaux selon les tensions

Domaines	TBT	BTA	BTB	HTA	HTB
Alternatif	$\leq 50 \text{ V}$	$50 \text{ V} < U \leq 500 \text{ V}$	$500 \text{ V} < U \leq 1\,000 \text{ V}$	$1 \text{ kV} < U \leq 50 \text{ kV}$	$U > 50 \text{ kV}$
Continu	$\leq 120 \text{ V}$	$120 \text{ V} < U \leq 750 \text{ V}$	$750 \text{ V} < U \leq 1\,500 \text{ V}$	$1,5 \text{ kV} < U \leq 75 \text{ kV}$	$U > 75 \text{ kV}$

Notre étude est limitée à la HTA, appelée souvent moyenne tension (MT), c'est le réseau EDF de distribution en 20 kV entre phases.

2 Réseau de distribution HTA/BT

Il est important de connaître les particularités de chaque type de réseau moyenne tension pour comprendre les procédures d'exploitation des réseaux et postes de distribution.

EDF distribue l'énergie en HTA (moyenne tension) 20 kV, mais il existe encore des réseaux en 5, 10, 15 kV ou en 24 ou 30 kV.

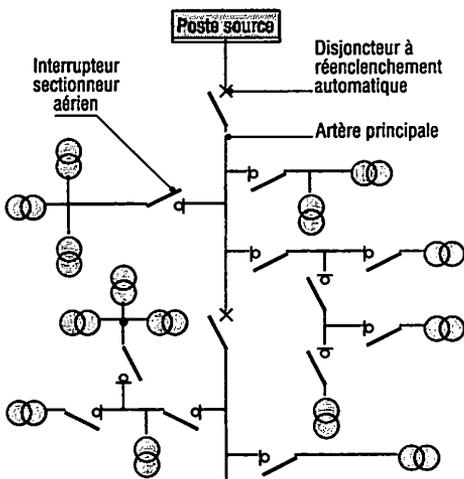


Fig. 7 : Distribution en antenne ou simple dérivation.

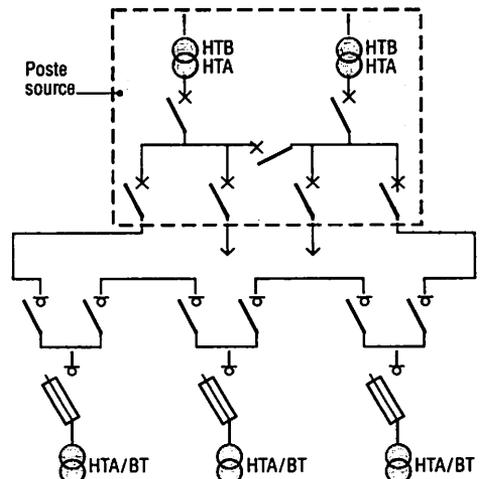


Fig. 8 : La distribution en boucle ou coupure d'artère.

On distingue deux types de réseaux moyenne tension :

- réseau aérien, surtout en zone rurale ;
- réseau souterrain, en zone urbaine.

2.1. Alimentation en simple dérivation, réseau radial

À partir d'un poste-source alimenté par le réseau de transport d'énergie, une artère principale du 20 kV dessert des postes de transformation 20 kV/400 V disposés en multiples dérivations comme une grappe (fig. 7).

Remarque : Un défaut sur le réseau peut provoquer une coupure de courant chez tous les abonnés alimentés par l'artère principale.

2.2. Alimentation en coupure d'artère

On l'appelle aussi réseau en boucle (fig. 8).

Tous les postes HTA/BTA sont branchés en dérivation sur une boucle ouverte en un point dit point de coupure, proche de son milieu. Tous les appareils de coupure de l'artère sont fermés, sauf un.

En cas de défaut sur une partie de la boucle, on peut isoler cette partie, et alimenter tous les postes. Ce type de réseau est surtout réalisé en souterrain.

2.3. Alimentation en double dérivation (fig. 9)

Chaque poste est alimenté par deux câbles avec permutation automatique en cas de manque de tension sur l'une des deux arrivées, ce qui permet d'assurer une grande continuité de l'alimentation. Cette disposition est surtout utilisée en souterrain et dans les grandes villes.

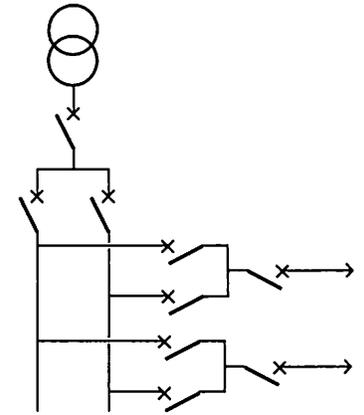


Fig. 9 : Schéma en double dérivation.

3 Postes de livraison HTA/BT

En fonction des besoins en énergie électrique des utilisateurs, il existe différents types de postes de livraison d'énergie :

- le logement individuel, utilise l'énergie en BT distribuée par le réseau EDF, de 3 kVA à 36 kVA ;
- pour les usages professionnels entre 36 kVA et 250 kVA, la desserte se fait en BT à partir de postes HTA/BT ;
- pour les puissances supérieures à 250 kVA, la livraison de l'énergie s'effectue en 20 kV (HTA) ou plus selon la puissance envisagée.

3.1. Conception générale d'un poste (fig. 10)

Un poste de livraison reçoit de l'énergie du réseau HTA, la transforme en BT et assure la protection des personnes, du matériel, le comptage de l'énergie et ne doit pas perturber le réseau amont de distribution.

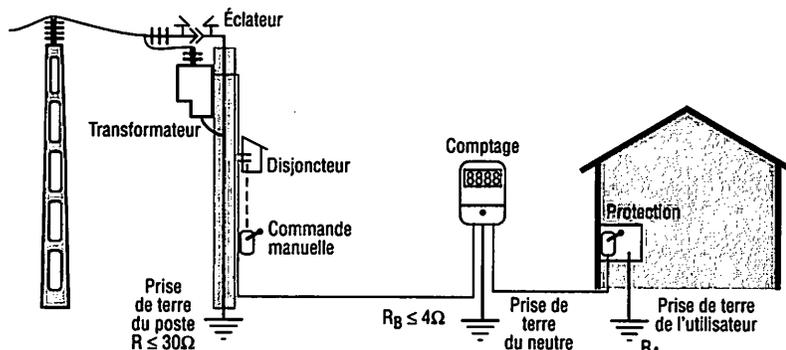


Fig. 12 : Alimentation en aérosouterrain.

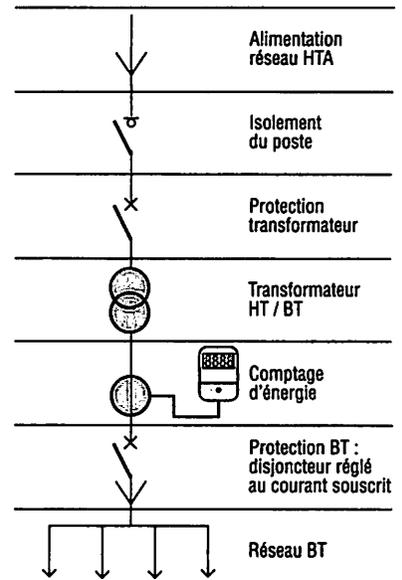


Fig. 10 : Constitution générale d'un poste de transformation.

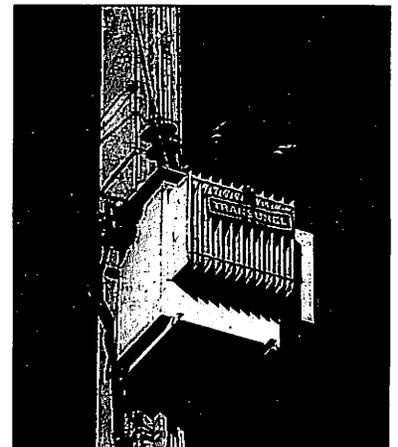


Fig. 11 : Poste haut de poteau.

3.2. Postes sur poteau (fig. 11 et 13)

Le transformateur et l'appareillage sont fixés sur le poteau, l'alimentation est aérienne ; le départ s'effectue en souterrain, ou en aérien (fig. 12).

a) Protection

Du côté haute tension, la protection contre la foudre est assurée par des parafoudres, un interrupteur à fusibles protège le transformateur contre les courts-circuits. Du côté basse tension, un disjoncteur assure la protection contre les surintensités.

b) Transformateurs utilisés

Les puissances sont de 25, 50, 100 kVA, les tensions au secondaire de 230 V entre phase et neutre, 400 V entre phases, tensions en charge.

3.3. Postes préfabriqués

Ces postes peuvent être soit en bas de poteaux, soit sur une plateforme extérieure. Le raccordement s'effectue par câbles soit au réseau aérien, soit au réseau souterrain (fig. 14).

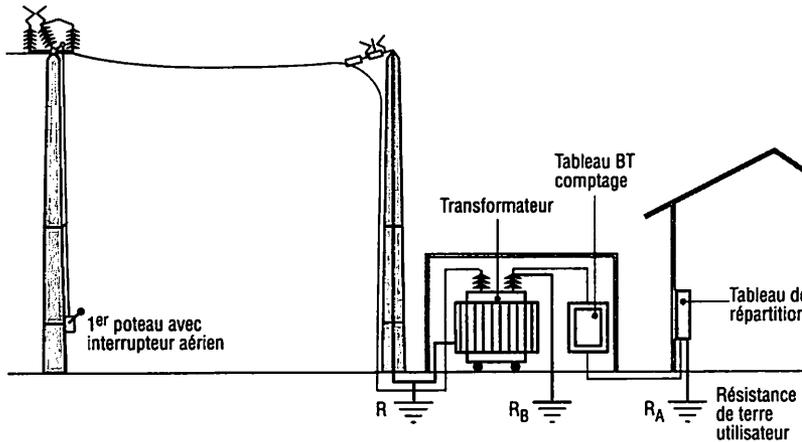


Fig. 14 : Raccordement d'un poste préfabriqué.

a) Constitution (fig. 15)

Ces postes sont très compacts et leur mise en place très rapide. Le tableau basse tension comporte soit un interrupteur avec fusibles, soit un disjoncteur avec coupure visible. La puissance du transformateur est comprise entre 160 kVA et 1 000 kVA.

b) Schéma interne

Le raccordement au circuit HTA peut être réalisé selon plusieurs schémas : en coupure d'artère, en double dérivation, ou simplement en antenne. Ces postes sont en général munis d'un tableau de comptage et le transformateur est protégé côté HT.

3.4. Postes d'intérieur (fig. 16)

L'installation d'un poste de livraison en intérieur se justifie lorsqu'on doit protéger l'appareillage HT et BT du poste contre les fortes variations de température, ou lorsque les puissances sont importantes.

On distingue les postes dont l'appareillage HT est sous enveloppe métallique et les postes équipés d'appareillage HT sans enveloppe. Dans ce dernier cas, le poste est dit ouvert, cette disposition est de moins en moins utilisée.

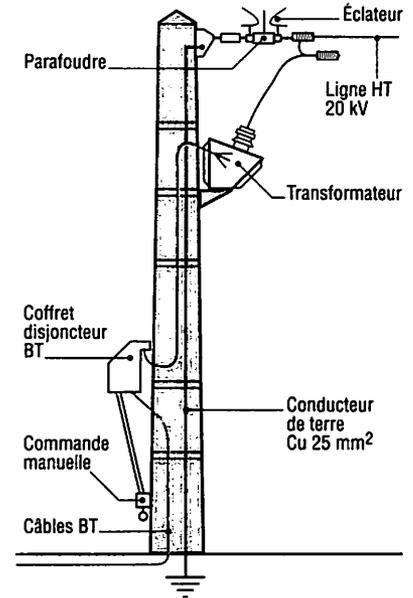


Fig. 13 : Poste sur poteau.

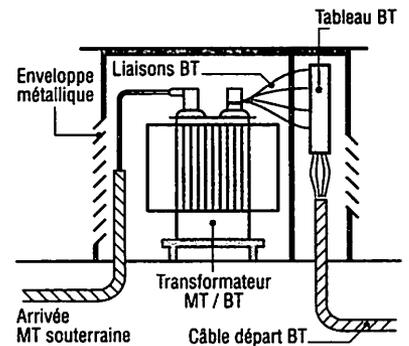


Fig. 15 : Constitution d'un poste extérieur.

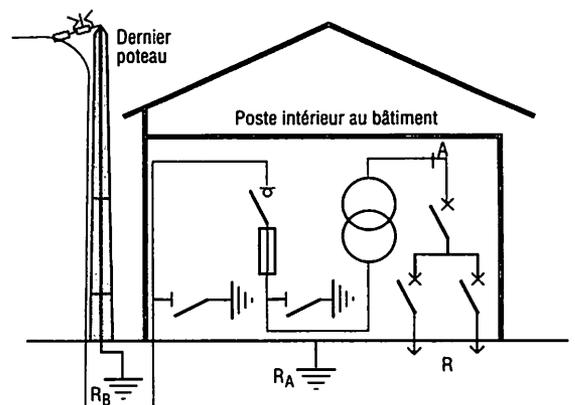


Fig. 16 : Schéma général d'un poste d'intérieur.

Les **cellules préfabriquées** métalliques (*fig. 17*) remplissent chacune une fonction, leur association permet de réaliser une infinité de schémas.
Exemple : cellule d'arrivée, de protection HT, de protection BT (fusible + interrupteur) ou disjoncteur (voir document page 22).

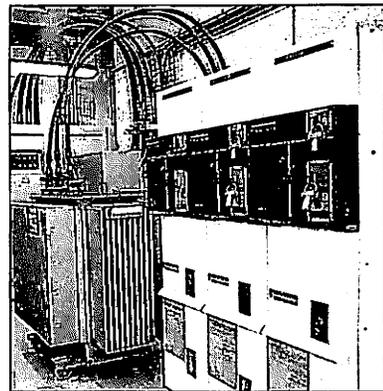


Fig. 17 : Poste d'intérieur HTA/BT à comptage BT pour réseau 20 kV en boucle (Merlin-Gérin).

4 Procédures d'exploitation

Dans toute installation de haute tension (HTA) il faut veiller continuellement à assurer :

- la continuité du service ;
- la sécurité des personnes, des biens, de l'installation.

Pour remplir ces conditions, il est nécessaire d'avoir prévu à la construction du poste :

- les manœuvres à accomplir en cas d'incident ;
- le personnel habilité à effectuer ces manœuvres ;
- les consignes à appliquer.

Cet ensemble de mesures est regroupé dans les procédures d'exploitation.

4.1. Couplage (*fig. 18*)

Pour satisfaire des conditions d'exploitation telles que :

- demande supplémentaire d'énergie,
- transfert d'énergie,

on peut être conduit à coupler une autre arrivée HTA sur la distribution ou à coupler un transformateur supplémentaire, ou à s'alimenter avec un groupe de secours, moteur thermique entraînant un alternateur.

Pour effectuer un couplage de deux sources différentes, il faut respecter les conditions de la *figure 19*.

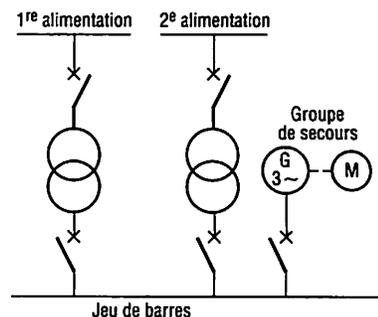


Fig. 18 : Couplage d'un alternateur de secours.

4.2. Coupure

Il s'agit soit d'une coupure en cas de défaut, soit d'une coupure volontaire pour une intervention sur l'installation.

a) Coupure en cas de défaut

- Le défaut peut être **externe** au poste de distribution ; dans ce cas, la coupure s'effectue automatiquement par le système de protection. En général, un seul départ est affecté, celui qui est défectueux.
- Le défaut peut être **interne** au poste ; dans ce cas, il faut isoler le poste de toute alimentation et relier les parties normalement en HTA à la terre, à l'aide du sectionneur de terre.

b) Coupure volontaire

Il s'agit d'intervenir sur l'installation, pour une réparation ou une modification, et dans ce cas, on doit :

- couper l'arrivée de courant à l'aide de l'appareil de commande situé en amont (disjoncteur, sectionneur) ;
- couper le courant en aval (disjoncteur) ;
- relier le circuit HTA à la terre ;
- effectuer les condamnations en utilisant les verrouillages à clés.

4.3. Verrouillages d'exploitation

L'utilisateur d'une distribution doit pouvoir effectuer certaines interventions : changer des fusibles, intervenir sur le transformateur. Pour cela il faut faire une coupure en aval et une ouverture en amont :

- couper le circuit ;
- l'isoler du réseau ;
- effectuer la mise à la terre.

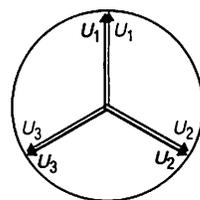


Fig. 19 : Concordance, tension, phase, fréquence réseau en noir, avec couplage en rouge.

Pour être certain que toutes ces conditions sont bien réalisées, on utilise des verrouillages avec des clés sur des organes de manœuvre du matériel.

Exemple : (1 clé) (fig. 20)

Il s'agit d'interdire la fermeture du sectionneur de mise à terre et l'accès aux fusibles, tant que le disjoncteur général BT n'est pas verrouillé ouvert. Bien entendu, la fermeture du sectionneur de terre n'est possible que si l'interrupteur K1 est ouvert.

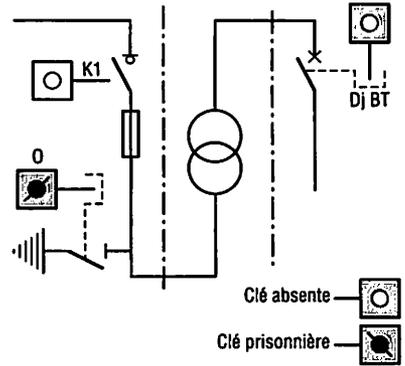


Fig. 20 : Verrouillage avec une clé.

5 Comptage et protection

Le comptage de l'énergie nécessite la mesure des courants et des tensions, en haute tension afin de déterminer l'énergie absorbée par une installation. Cette énergie est facturée par le distributeur (fig. 21).

5.1. Capteurs de courant (TC)

Ce sont des transformateurs de courant. Ils permettent :

- d'adapter le courant aux calibres des appareils de mesure (fig. 22) ;
- d'isoler le circuit de puissance du circuit de mesure et de commande.

a) Constitution

Ils comportent essentiellement : un enroulement primaire, un enroulement secondaire, un circuit magnétique et un enrobage isolant (fig. 23).

b) Caractéristiques principales

- Courant primaire : 10, 15, 20, 30, 50, 64, 80, 100 A.
- Courant secondaire : 1 ou 5 A puissance 5 à 15 VA.

Attention !

Il ne faut jamais laisser ouvert un circuit secondaire de transformateur de courant, il faut le court-circuiter.

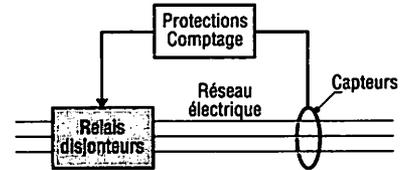


Fig. 21 : Principe du comptage et de la protection sur un réseau

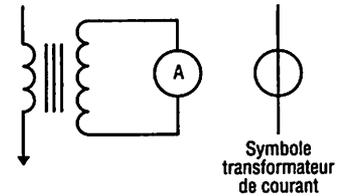


Fig. 22 : Montage et symbole.

5.2. Capteurs de tension : TP

Ce sont des transformateurs qui permettent :

- d'adapter la tension primaire aux calibres des appareils de mesure ;
- d'isoler le circuit de puissance du circuit de mesure.

a) Constitution

C'est un transformateur qui est branché sur la haute tension, le primaire possède un grand nombre de spires et un fort isolement.

b) Caractéristiques principales

- Tension primaire : 3, -3, 5-5, 5-6-10 15-20-30 kV en HTA.
- Tension secondaire : 100-110 V, puissance : 50 VA.

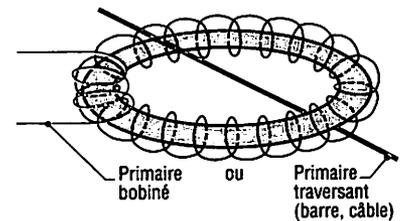


Fig. 23 : Transformateur de courant.

5.3. Comptage de l'énergie (fig. 24)

Les valeurs d'intensités et de tensions à la sortie des transformateurs de courant (TC) et des transformateurs de tension (TP) sont exploitées en (0-5 A) et 0-100 V pour le comptage de l'énergie, les relais de protection, la mesure du déphasage, de la puissance absorbée, active, ou réactive.

Pour les transformateurs de puissance inférieure ou égale à 630 kVA, le **comptage** s'effectue côté **basse tension**. Le distributeur d'énergie facture, selon un forfait, l'énergie consommée par le transformateur.

Pour les postes de plus de 630 kVA, ou comportant plus d'un transformateur, le **comptage** s'effectue en **haute tension**, ce qui nécessite des transformateurs de potentiels (TU ou TP, et TI ou TC).

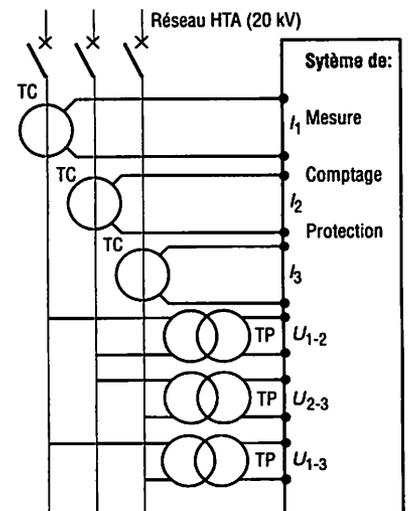


Fig. 24 : Schéma d'un circuit de mesures en HTA.

L'essentiel

- L'énergie électrique est produite à 70 % dans les centrales nucléaires, à 20 % dans les centrales hydrauliques et à 10 % dans les centrales thermiques.
- Le transport et la distribution de l'énergie s'effectue à l'aide de lignes à très haute tension (HT) de 225 000 V à 400 000 V, la distribution utilise la moyenne tension, en général 20 kV.
- Une classification des réseaux selon la tension peut se résumer aux valeurs suivantes, en courant alternatif :

50 V	500 V	1 000 V	50 kV	> 50 kV
TBT	BTA	BTB	HTA	HTB

- Les réseaux de distribution en HTA sont disposés :
 - en antenne ou simple dérivation,
 - en boucle ou coupure d'artère,
 - en double dérivation.
- Les postes de livraison d'énergie électrique transforment la HTA en BT et assurent les fonctions de coupure, isolement, protection, comptage de l'énergie.
- Les procédures d'exploitation font appel à des manœuvres telles que coupure, couplage, qui requièrent des mesures de sécurité au moyen de verrouillages avec des clés interdisant les fausses manœuvres.
- Pour mesurer les tensions et courants des réseaux, il faut passer par des transformateurs de potentiel (TP) ou de courant (TC). Le comptage peut s'effectuer côté basse tension ($P \leq 630$ kVA) ou côté haute tension ($P > 630$ kVA).



VRAI OU FAUX ?

Parmi les affirmations suivantes, indiquez celles qui sont vraies.

1. L'électricité est une source d'énergie primaire.
2. L'uranium est une source d'énergie secondaire.
3. Le transport d'énergie s'effectue en 400 000 volts.
4. Un poste d'interconnexion permet d'interconnecter des lignes de 220 000 V et de 400 000 V.
5. La distribution en zone rurale s'effectue à l'aide de câbles souterrains.
6. La distribution en zone urbaine s'effectue par des câbles souterrains.
7. En courant alternatif, la tension BTA indique des tensions inférieures à 50 V.
8. En courant alternatif, une tension HTB est inférieure à 50 kV.
9. Un réseau radial est identique au réseau en simple dérivation.
10. Une alimentation en coupure d'artère est différente d'une alimentation en boucle.
11. Un poste de livraison alimente des utilisateurs en basse tension.
12. Un poste sur poteau est placé en haut d'un poteau électrique.
13. Un poste sur poteau peut avoir une puissance de 250 kVA.
14. Un poste d'intérieur est toujours en cellules préfabriquées.
15. On appelle procédure d'exploitation le comptage de l'énergie.
16. Les verrouillages d'exploitation s'effectuent à l'aide de clés.
17. Le comptage est nécessaire pour la facturation de l'énergie.
18. La mesure de l'énergie nécessite des transformateurs d'intensité.
19. Le comptage basse tension s'effectue en dessous de 1 000 kVA.
20. Les transformateurs de potentiel ou de tension permettent d'effectuer le comptage en haute tension.

RÉSOLUS

1. Quels sont les avantages d'un réseau en boucle par rapport à un réseau en antenne ? (fig. 7 et 8)

Solution :

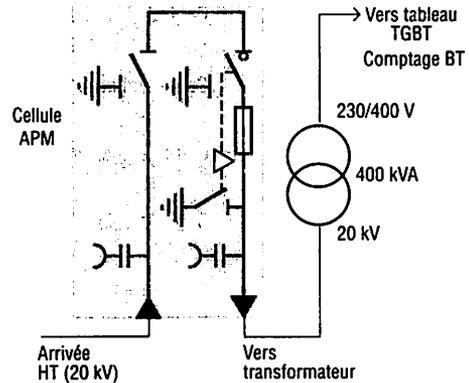
Un réseau en boucle permet en cas de défaut sur une partie de la boucle de continuer à alimenter tous les postes, en isolant la partie de la boucle défectueuse.

2. Dans un poste de transformation d'intérieur (voir fig. 16 p. 15) un défaut se produit entre le secondaire du transformateur et le disjoncteur (point A). Que faut-il faire ?

Solution : a) Si un défaut s'est produit sur le secondaire, il y a de grandes chances qu'il se transforme en court-circuit soit entre phases, soit entre phase et neutre ou terre. Dans ce cas l'interrupteur-sectionneur ou les fusibles ont protégé l'installation.

b) Pour réparer, il faut couper la basse tension par l'ouverture du disjoncteur général BT, puis isoler l'installation du réseau HTA ce qui implique l'ouverture de l'interrupteur-sectionneur, le verrouillage à clé et la fermeture du sectionneur de terre avec verrouillage.

3. Réalisez à l'aide de cellules préfabriquées de la documentation, le schéma d'un poste de transformation HTA/BT alimenté en antenne, et comportant une protection par interrupteur avec fusibles. Ce poste dispose d'un transformateur de 400 kVA.

Solution :

Poste de transformation alimenté en antenne.

À RÉSOUDRE

1. Quels sont les avantages d'un réseau en double dérivation, par rapport à un réseau en boucle ?

2. Dans un poste préfabriqué, le transformateur s'échauffe anormalement, et on décide de le changer. Quelles manœuvres doit-on faire pour couper le courant ? Utilisez le schéma de poste préfabriqué p. 20.

3. Un défaut survient dans une cellule de comptage. Pour intervenir sur cette cellule que faut-il faire ? Quels sont les appareils à ouvrir et pourquoi ? Utilisez le schéma d'un poste d'intérieur p. 20.

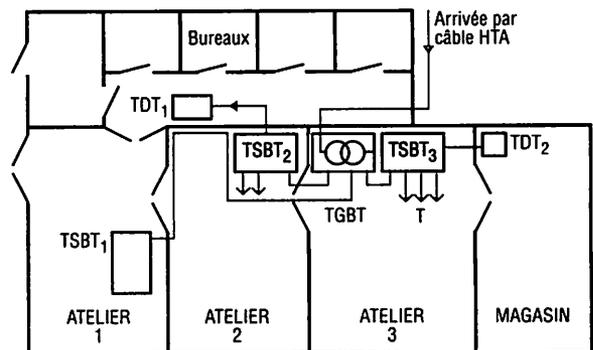
4. Vous vous trouvez devant un poste de livraison dont on observe les références suivantes : 2 cellules IM, 1 cellule QM.

En vous aidant de la fiche de documentation, faites le schéma du poste.

5. Dans le schéma général d'une distribution p. 22 :

- Quel type de réseau alimente les postes B, C, D, E ?
- Un défaut survient sur le câble reliant le poste B au poste E ; que faut-il faire pour rétablir l'alimentation des postes B, C, D, E ?

6. D'après le plan d'implantation des postes électriques de l'usine donné ci-dessous, on vous demande de reconstituer le schéma du poste HTA/BT, pour la partie haute tension, sachant qu'il est alimenté en 20 kV par une distribution en boucle. La puissance du poste est de 630 kVA. Ce poste est réalisé avec des cellules préfabriquées.

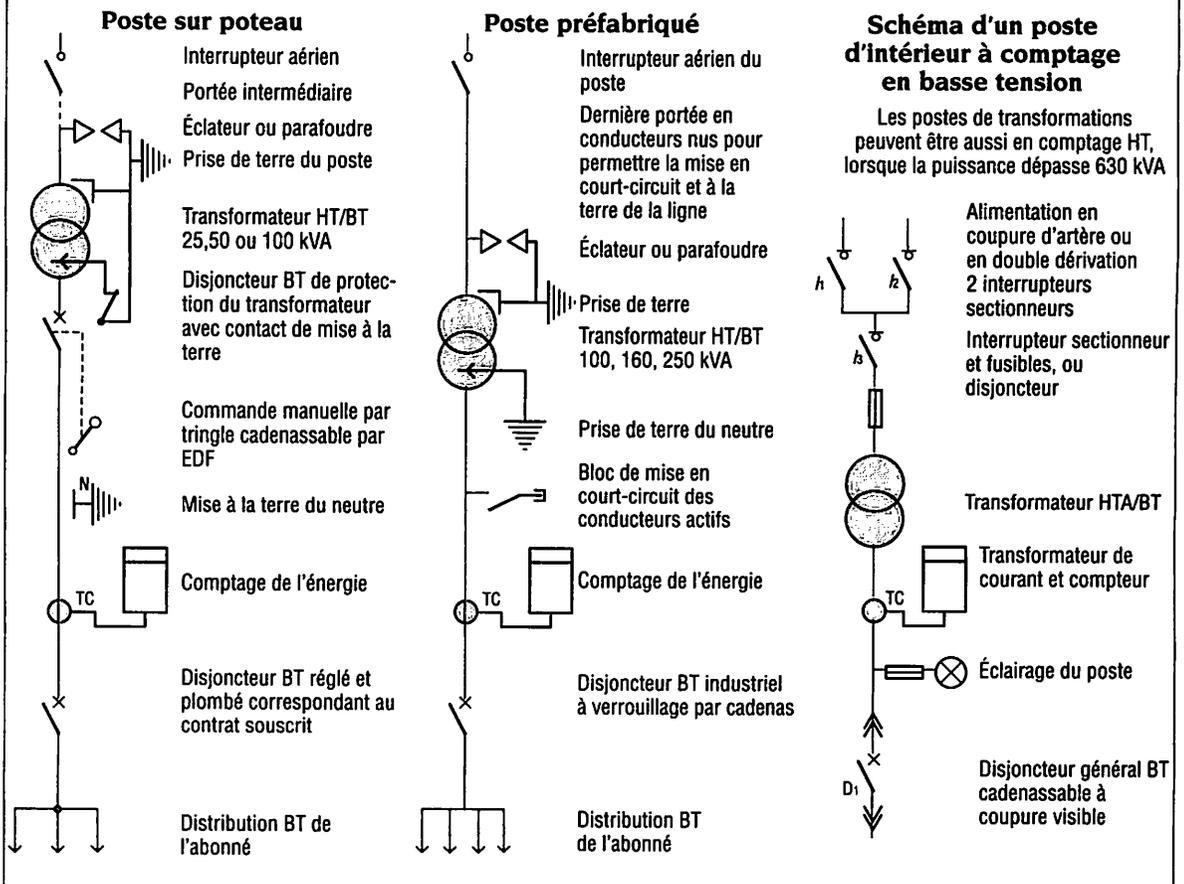


TGBT Tableau général basse-tension
 TSBT Tableau secondaire basse-tension
 TDT Tableau distribution terminale

Distribution d'énergie dans une usine

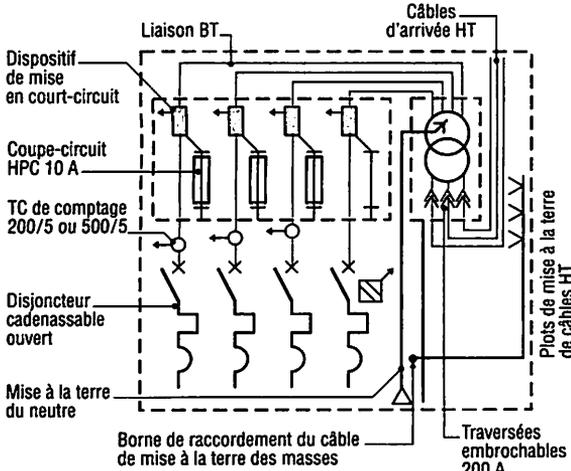
Symboles utilisés en distribution

Usines génératrices		Réseaux	
Symboles	Désignation	Symboles	Désignation
	Centrale hydraulique		Ligne souterraine
	Centrale thermique		Ligne immergée
	Centrale nucléaire		Ligne aérienne
	Centrale solaire		Canalisation en conduit sous fourreau
	Centrale éolienne		Exemple faisceau de six conductifs
	Sous-station de conversion d'énergie, exemple : courant continu converti en courant alternatif		Ligne en regard d'accès à une chambre de raccordement
	Centrale géothermique		Ligne avec point de raccordement enterré
	Sous-station - Poste		Cabine ou armoire pour installation extérieure
			Point de répartition, les entrées et les sorties sont disposées selon les besoins
			Anode de protection



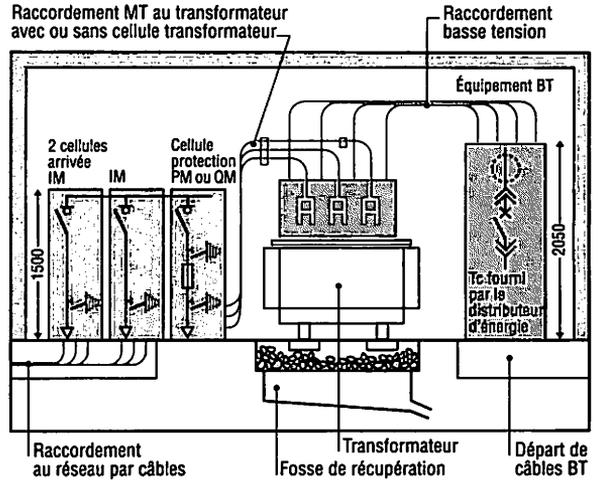
Poste de distribution HTA-BT

1. Schéma d'un poste préfabriqué



Ce poste est situé en bas d'un poteau sur lequel est placée la commande et la protection du côté haute tension (HTA). Le secondaire est protégé par un disjoncteur qui alimente la distribution BT.

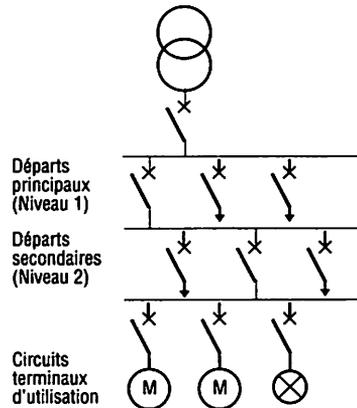
b) Implantation d'un poste HTA/BT



3. Schémas de distribution en BT

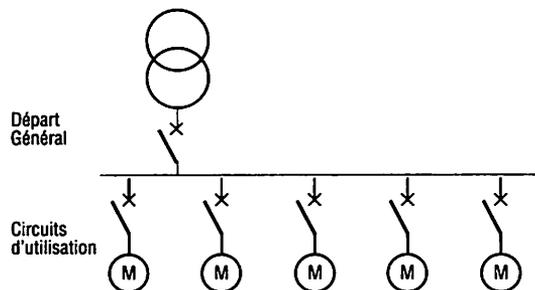
a) Distribution radiale ou en antenne

La distribution BT avec plusieurs niveaux est surtout employée dans le cas de fortes puissances installées au-delà de 500 kVA.



b) Distribution en peigne

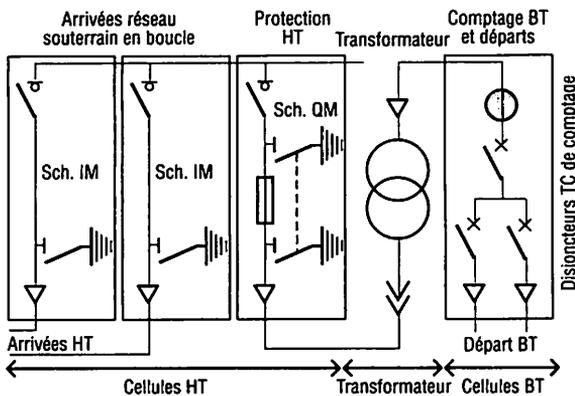
La distribution en peigne comportant un seul niveau sera utilisée pour les plus petites puissances ou dans le cas d'un poste spécialisé pour un secteur déterminé.



2. Exemple de poste HTA-BT

Il s'agit d'un poste intérieur en cellules préfabriquées avec transformateur HT/BT et distribution BT.

a) Schéma de principe unifilaire



Ce poste est alimenté en coupure d'artère ou en boucle. Les cellules en amont du transformateur sont des cellules préfabriquées qui sont définies par la fiche de documentation (page 22).

Le transformateur est alimenté par des câbles 20 kV, mais il n'est pas dans une cellule spécialisée.

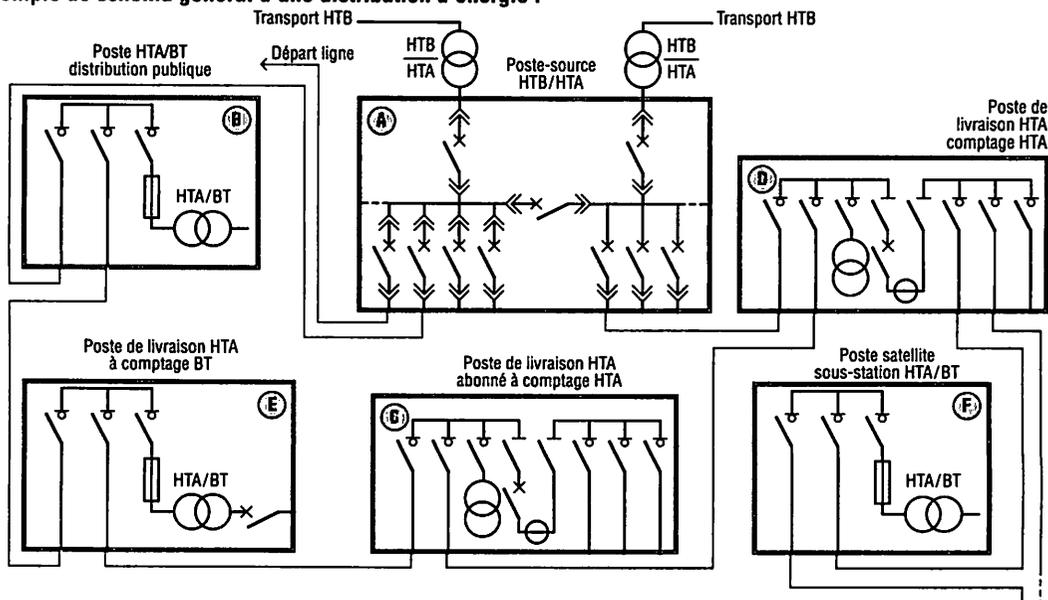
Cellules préfabriquées

Livraison HTA/BT - Protections Comptage

Raccordement au réseau					
Arrivée ou départ par interrupteur		Arrivée en double dérivation		Arrivée directe	Arrivée en antenne
<p>IM</p>		<p>DDM</p>		<p>GAM</p>	<p>APM</p>
Protection		Comptage HTA			Divers
Protection par disjoncteur	Protection par inter-fusibles associés	Transformateur de tension	Mesure de courant et/ou de tension	Transformateurs HT/BT auxiliaires	
<p>DM2</p>	<p>QM</p>	<p>CM</p>	<p>GBCA</p>	<p>TM</p>	

: symbole du diviseur et capacité d'alimentation du voyant présence de HTA

Exemple de schéma général d'une distribution d'énergie :



3

Transformateurs de distribution

Pour éviter les pertes par effet Joule, dans les lignes de transport ou de distribution d'énergie électrique, on doit élever la tension. On résout ce problème en utilisant des transformateurs élévateurs ou abaisseurs de tension qui fonctionnent en courant alternatif.

OBJECTIF

Pour être capable de décoder les informations contenues sur la plaque signalétique et réaliser les raccordements nécessaires, il faut savoir comment ce transformateur est constitué et connaître ses caractéristiques.

SAVOIR TECHNOLOGIQUE
S 1.1

1 Constitution

1.1. Rappels d'électrotechnique

a) Principe

Sur un circuit magnétique, on réalise deux enroulements, l'un appelé primaire de N_1 spires, l'autre secondaire de N_2 spires (fig. 1).

Lorsque l'enroulement primaire est alimenté par une source de tension alternative U_1 , il crée un flux variable qui induit dans l'enroulement secondaire une force électromotrice S_2 . Si on relie ce secondaire à un récepteur, un courant alternatif parcourt le circuit. La puissance électrique passe du primaire au secondaire.

b) Formules

– **Rapport de transformation** : il est indépendant de la charge et dépend essentiellement du nombre de spires.

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2} = m \quad m = \text{rapport de transformation}$$

– **Formule de Boucherot** :

$$U_1 = 4,44 B S N_1 f$$

B = champ magnétique en teslas (T)

S = section en mètres carrés (m^2)

f = fréquence en hertz (Hz)

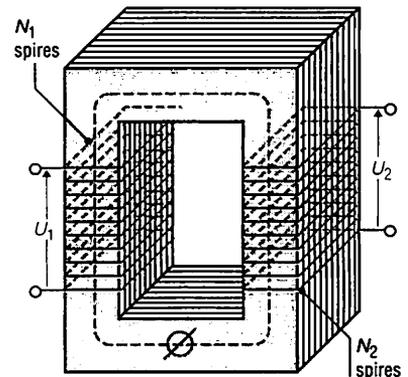


Fig. 1 : Principe général du transformateur.

1.2. Constitution générale

Le transformateur est une machine d'induction qui comporte principalement deux circuits (fig. 2).

a) Un circuit magnétique

Son rôle est de canaliser le flux d'induction, il est réalisé en matériaux magnétiques sous forme d'empilage de tôles d'acier au silicium pour diminuer les pertes par hystérésis et courants de Foucault.

b) Un circuit électrique (fig. 3)

Il comporte deux parties distinctes :

– l'enroulement basse tension situé près du noyau du circuit magnétique et bobiné sur un cylindre isolant ;

– l'enroulement haute tension : pour éviter les différences de potentiel très fortes entre les spires d'extrémité de deux couches différentes, on réalise cet enroulement sous forme de bobines plates ou galettes empilées les unes sur les autres et montées en série.

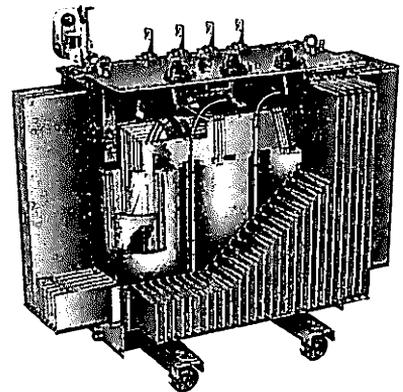


Fig. 2 : Transformateur 250 kVA à refroidissement dans l'huile.

Des organes mécaniques assurent également les fonctions de support, protection, manutention, refroidissement.

1.3. Classification des transformateurs

a) Petits transformateurs

Ils ont des puissances de moins de 1 kVA, en général en monophasé.

b) Transformateurs spécialisés

Ils ont des puissances de 1 à 25 kVA, soit en monophasé, soit en triphasé.

c) Transformateurs de distribution (fig. 4)

- Transformateurs sur poteaux de 25-50-100 kVA.
- Transformateurs dans des postes de distribution 100 à 2 000 kVA.

d) Transformateurs pour le transport et l'interconnexion

Ils ont des puissances de 2 000 kVA à 1 350 MVA.

e) Transformateurs spéciaux

Ce sont les transformateurs pour les postes de soudure à l'arc, les fours à induction, les transformateurs de mesure, etc.

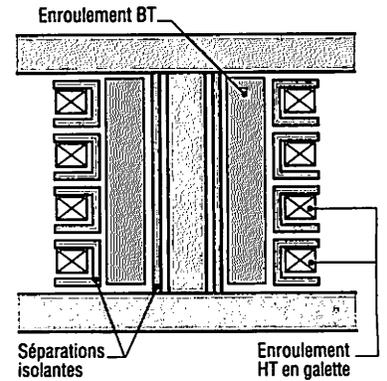


Fig. 3 : Disposition des enroulements sur une colonne de transformateur.

2) Caractéristiques des transformateurs

Un transformateur de distribution est défini par ses caractéristiques électriques et ses caractéristiques de construction.

2.1. Caractéristiques électriques

a) Puissance assignée

C'est la puissance appelée par l'utilisation, qu'un transformateur peut effectivement fournir, sans échauffement anormal. On l'appelle aussi **puissance nominale**.

Gamme de puissance : 25 - 50 - 100 - 160 - 250 - 400 - 630 - 800 - 1 000 - 1 250 - 1 600 - 2 000 - 2 500 kVA.

b) Tensions assignées

Il faut préciser qu'en général les transformateurs de distribution sont abaisseurs, c'est-à-dire qu'ils sont alimentés en HTA et qu'ils délivrent une basse tension en 230/400 V.

Exemples de tension :

- Primaires : tension assignée : 15 kV ou 20 kV.
- Secondaires : tension assignée : 230/410 V.

c) Fréquences

Elles sont de 50 Hz ou 60 Hz (normes anglo-saxonnes).

d) Prises de réglage (fig. 5)

Ce sont des prises manœuvrables hors tension agissant sur la haute tension, pour adapter le transformateur de la tension d'alimentation.

e) Pertes

On distingue les **pertes à vide**, lorsque le transformateur est sous tension, mais le secondaire ne débite pas, et les **pertes en charges** définies à pleine charge du transformateur. Ces pertes sont dissipées en chaleur, et sont facturées par le distributeur (EDF).

f) Courant assigné

C'est le courant que le transformateur peut débiter à pleine charge, on l'appelle aussi **courant nominal**.

Exemple : transformateur 400 kVA, courant assigné secondaire 563 A.

g) Tension de court-circuit (fig. 6)

C'est la tension à laquelle on alimente le transformateur, pour effectuer un essai en mettant le secondaire en court-circuit et en faisant

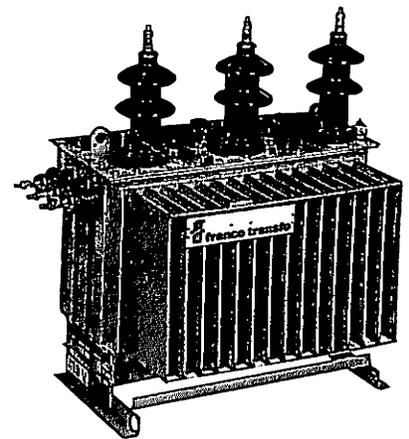


Fig. 4 : Transformateur immergé sur poteau 100 kVA-20 kV/410 V (France Transfo).

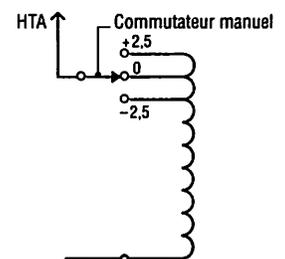


Fig. 5 : Réglage de la tension à $\pm 2,5$ % autour de la tension assignée côté HTA. Ce réglage est fait à la mise en service.

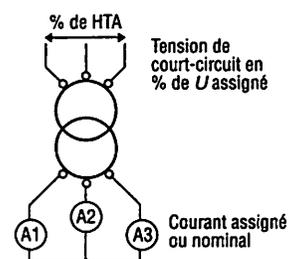


Fig. 6 : Schéma d'un essai en court-circuit.

débiter le courant nominal (ou assigné) au secondaire. La valeur de la tension de court-circuit permet d'effectuer des calculs de rendements.

Exemple (fig. 7)

Pour un transformateur de 400 kVA, 20 kV : la tension de court-circuit est de 6 % soit : $20\,000\text{ V} \times 0,06 = 1\,200\text{ V}$.

2.2. Caractéristiques de construction

Deux types de refroidissements sont employés actuellement :

- les transformateurs **immergés** dans une cuve contenant de l'huile qui assure le transfert des calories entre le transformateur et la cuve munie d'ailettes (voir fiche de documentation p. 31) ;
- les transformateurs **à refroidissement dans l'air** : les bobinages sont imprégnés de résines synthétiques et en contact avec l'air ambiant. Ils sont destinés à remplacer les transformateurs au pyralène (page 30).

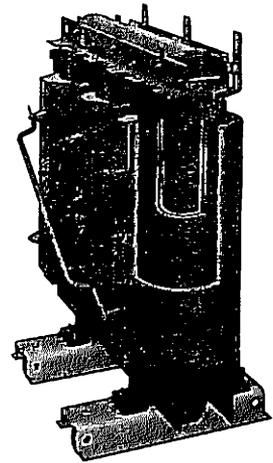


Fig. 7 : Transformateur 400 kVA à refroidissement dans l'air (Alsthom).

3 Couplage des transformateurs

Pour des raisons de continuité de service, ou de variations journalières ou saisonnières de consommation d'énergie, il est intéressant de pouvoir coupler deux ou plusieurs transformateurs en parallèle.

3.1. Conditions de couplage

a) Puissance

Si deux transformateurs sont différents, la puissance du plus gros ne doit pas dépasser deux fois la puissance du plus petit.

b) Réseau

Les transformateurs sont alimentés par le même réseau.

c) Connexions et indices horaires

Mêmes longueurs de connexion. Même indice horaire de couplage.

d) Tensions

Tensions de court-circuit égales à 10 % près.

3.2. Couplage des enroulements

a) Couplage étoile (fig. 8)

Il permet la sortie du point neutre, très utile en BT. Deux tensions sont disponibles : tension simple et tension composée.

b) Couplage triangle (fig. 9)

c) Couplage zig-zag (fig. 10)

Chaque enroulement comprend deux demi-bobines placées sur des noyaux différents ; les sorties de la deuxième demi-bobine sont inversées.

Le couplage zig-zag donne une meilleure répartition des tensions en réseau BT déséquilibré.

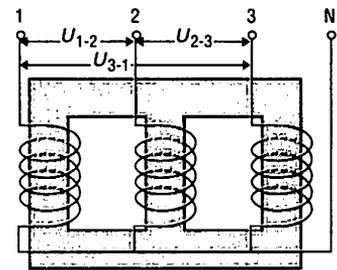


Fig. 8 : Couplage étoile d'un transformateur triphasé.

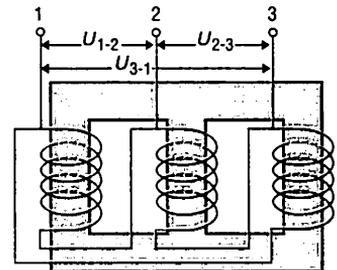


Fig. 9 : Couplage triangle d'un transformateur triphasé.

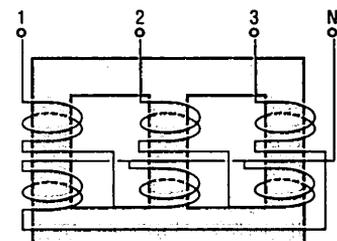


Fig. 10 : Couplage zig-zag d'un transformateur triphasé.

3.3. Désignation des couplages

Elle s'effectue par deux lettres et un nombre (exemple Dy 11).

Couplage des enroulements côté HT	Couplage des enroulements côté basse tension	Indice horaire du couplage
D : Triangle	d : Triangle	Chiffre de 0 à 11
Y : Étoile	y : Étoile	
Z : Zig-zag	z : Zig-zag	

3.4. Plaque signalétique (fig. 11)

C'est la plaque qui permet d'indiquer les principales caractéristiques et branchements du transformateur, plus particulièrement : les valeurs assignées de la puissance, des tensions primaires et secondaires, la fréquence d'emploi, les courants primaire et secondaire et le couplage des enroulements, la tension de court-circuit en %.

L'indication de couplage des enroulements permet d'effectuer le branchement en cas de mise en parallèle de plusieurs transformateurs.

MARQUE
TYPE
Tension primaire : 20 kV
Tension secondaire : 236/410
Puissance : 630 kVA
Couplage : Dy11
Courant primaire
Courant secondaire
Chute de tension

Fig. 11 : Plaque signalétique d'un transformateur de distribution.

4 Protection des transformateurs

Les perturbations dans le fonctionnement d'un transformateur peuvent provenir du réseau d'alimentation (HT), du fonctionnement interne du transformateur, du réseau basse tension (fig. 12).

4.1. Protection en amont

Les perturbations du réseau amont (HTA) sont surtout des surtensions dues à la foudre. La protection s'effectue en utilisant des limiteurs de surtensions. On emploie aussi des parafoudres (fig. 13), surtout pour les lignes aériennes. Des fusibles protègent contre les surcharges et les courts-circuits.

4.2. Protection du transformateur

La protection des transformateurs est différente selon que l'on a affaire à des transformateurs secs ou immergés.

a) Transformateurs secs

Pour les transformateurs secs, on se limite à contrôler la température à l'aide de sondes PTC (thermistance à coefficient de température positif). À 150 °C, une sonde donne l'alarme, puis à 160 °C, une autre sonde provoque le déclenchement du disjoncteur.

b) Transformateur immergé

On peut détecter trois types de défauts :

- l'élévation anormale de température du transformateur ;
- le dégagement de gaz : lorsqu'un transformateur est immergé, tout défaut d'isolement se manifeste par un arc électrique qui décompose l'huile et provoque un dégagement gazeux qui se porte au sommet de la cuve ;
- l'élévation de pression à l'intérieur de la cuve.

Un bloc relais de protection (DGPT) (fig. 14), permet de détecter les anomalies : élévation de pression, émission de gaz, élévation de température. Ce bloc donne l'alarme et provoque le déclenchement du disjoncteur (fig. 14).

Que le transformateur soit sec ou immergé, la protection doit tenir compte des surintensités importantes à la mise sous tension (10 fois l'intensité nominale). Les calibres des fusibles et réglages des protections sont en rapport avec ces valeurs.

4.3. Protection côté basse tension BT

Il s'agit surtout d'une protection contre les surcharges et les courts-circuits. Elle comporte un disjoncteur général avec relais magnéto-thermique le plus souvent temporisé.

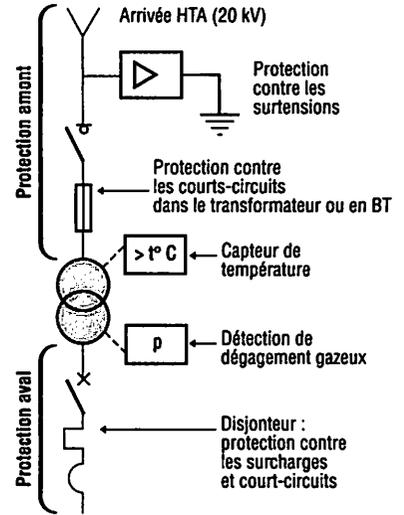


Fig. 12 : Principales protections d'un transformateur.

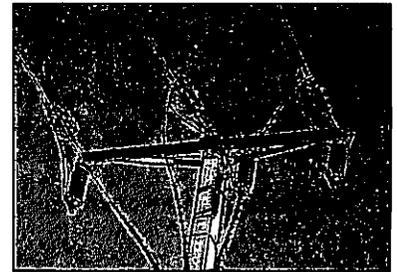


Fig. 13 : Parafoudre en extrémité de ligne 20 kV.

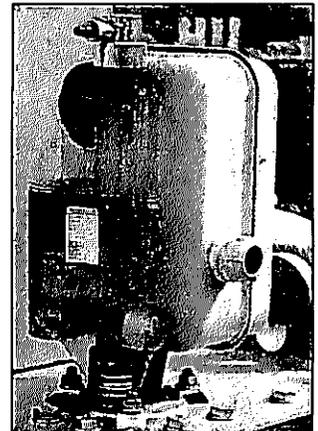


Fig. 14 : Bloc de protection DGPT2 (Merlin Gérin).

L'essentiel

- Les transformateurs de distribution ont pour fonction d'adapter la tension du réseau (HT) à la tension d'utilisation (BT).
- Le rapport de transformation est indépendant du courant débité, il dépend uniquement du nombre de spires.
- Un transformateur est constitué de trois parties :
 - un circuit magnétique qui canalise le flux ;
 - un circuit électrique qui comporte deux enroulements : le primaire et le secondaire ;
 - des organes accessoires qui permettent d'assurer les fonctions support, protection, manutention, refroidissement.
- Les transformateurs sont caractérisés par les grandeurs assignées qui sont : puissance, tensions primaire et secondaire, fréquence, couplage des enroulements.
- À chaque couplage des enroulements primaire et secondaire correspond un indice horaire (de 30° en 30°), soit 12 déphasages différents.
- Les transformateurs sont protégés contre les défauts internes par contrôle de la température, et pour les transformateurs immergés, par la mesure de pression.



VRAI OU FAUX ?

Parmi les affirmations suivantes, indiquez celles qui sont vraies.

1. Dans un transformateur, le rapport de transformation indique le rapport des tensions primaire et secondaire.
2. Le rapport du nombre de spires au primaire et au secondaire est le même que le rapport des tensions.
3. Le circuit magnétique d'un transformateur est réalisé en aluminium massif.
4. L'enroulement HT est placé le plus près possible du circuit magnétique.
5. Les transformateurs de distribution ont une puissance de 1 à 15 kVA.
6. Les transformateurs pôles interconnexion peuvent avoir des puissances de 1 000 MVA.
7. La puissance assignée d'un transformateur est la même que sa puissance nominale.
8. Un transformateur de distribution est toujours élévateur de tension.
9. Les pertes d'un transformateur de distribution d'une entreprise sont payées par le distributeur.
10. La tension de court-circuit est celle obtenue lorsque l'on exécute un court-circuit sur le primaire (côté HT).
11. Un transformateur immergé est un transformateur qui baigne dans l'eau.
12. Un transformateur à refroidissement dans l'air est dit transformateur sec.
13. On peut coupler en parallèle n'importe quels transformateurs.
14. Pour coupler deux transformateurs, il faut que leurs puissances soient voisines (puissances différentes dans un rapport maximum de 1 à 2).
15. Le couplage triangle du circuit basse tension permet d'obtenir un neutre.
16. Le couplage zig-zag permet d'obtenir une meilleure répartition des tensions en cas de réseau déséquilibré.
17. La plaque signalétique indique la date de baptême du transformateur.
18. Les fusibles protègent les transformateurs contre la foudre.
19. Les lettres DGPT signifient Détection Grande Puissance Tension.
20. Une sonde CTP est une sonde de mesure du Courant d'un Transformateur de Puissance.

RÉSOLUS

1. Sur la plaque signalétique d'un transformateur, on relève les indications suivantes :

400 kVA, 20 kV - 235/410 V, 50 Hz

Traduisez ces informations.

Solution :

- 400 kVA : puissance assignée que le transformateur peut transférer du réseau HT au réseau BT ;
- 20 kV : tension du réseau 20 000 V entre phases ;
- 235/410 V : tension secondaire 235 V entre phase et neutre et 410 V entre phase ($410 = 235 \sqrt{3}$) ;
- 50 Hz : c'est la fréquence de fonctionnement.

2. Sur le même transformateur on relève aussi les valeurs DY1 ; à quoi correspondent ces indications ?

Solution : Dy1 indique le couplage des enroulements primaires et secondaires du transformateur :

D : primaire en triangle - y : secondaire en étoile - 1 : déphasage de 30° entre tension primaire et secondaire.

3. Quelle protection doit-on prévoir sur un transformateur côté basse tension ?

Solution : Il faut protéger le transformateur électriquement contre les surcharges et courts-circuits par un disjoncteur réglé sur la valeur de l'intensité assignée, et

prévoir un contact à thermostat pour signaler tout échauffement anormal.

4. On vous demande de déterminer la puissance installée d'un atelier d'usinage, d'une surface de 250 m^2 . Prévoir l'éclairage ($h < 6 \text{ m}$) et le chauffage de cet atelier. Précisez la puissance du transformateur.

Type de distribution	Type d'exploitation	Puissance installée estimée en W/m^2
Éclairage (fluorescent)	bureaux	25
	ateliers ($h < 6 \text{ m}$)	15
	ateliers ($h < 9 \text{ m}$)	20
Chauffage	bureaux	23
	ateliers	23
Force motrice	usinage	300
	peinture	350
	traitements thermiques	700

Solution : La puissance installée pour cet atelier sera de :

- éclairage : $15 \times 250 = 3\,750 \text{ W}$

- chauffage : $23 \times 250 = 5\,750 \text{ W}$

- force motrice : $300 \times 250 = 75\,000 \text{ W}$

soit une puissance totale installée de : $84,5 \text{ kW}$.

Une puissance normalisée de 100 kW conviendra.

À RÉSOUDRE

1. Relevez les caractéristiques d'un transformateur 24 kV de 250 kVA et comparez-les à celles d'un transformateur de 2 500 kVA (voir p. 31) :

- a) pour les pertes à vide,
- b) pour les pertes en charge.

2. Sachant que le rendement d'un transformateur peut se calculer par la formule suivante :

$$\text{Rendement en \%} = \frac{\text{Puissance} \times 100}{\text{Puissance} + \text{Pertes}}$$

calculez le rendement en charge pour un transformateur de 250 kVA et pour un transformateur de 2 500 kVA.

3. On indique une tension de court-circuit de 4,5 % ; par rapport à quelle valeur est-elle prise ?

4. On relève sur la plaque signalétique d'un transformateur l'indication Y yn 6. Quelle est sa signification ?

5. On vous demande de déterminer la puissance installée d'un atelier de traitement thermique, d'une surface de 300 m^2 . Prévoir l'éclairage ($h < 6 \text{ m}$) de cet atelier. On utilisera le tableau des puissances installées, donné ci-dessus. Précisez la puissance normalisée du transformateur qui conviendrait.

6. Dans un poste de transformation, le disjoncteur côté BT déclenche, cela provient-il d'un défaut du transformateur ? Pourquoi ?

7. En observant les tableaux de caractéristiques de transformateurs secs et immergés (pages 30 et 31), comparez pour deux transformateurs de 630 kVA :

- a) les tensions de court-circuit,
- b) les pertes à vide (en W), et conclure.

Symboles des transformateurs

Symboles		Désignation
Forme 1	Forme 2	
		Transformateur à deux enroulements Transformateur à deux enroulements avec indicateurs des polarités instantanées des tensions
		Transformateur à trois enroulements
		Autotransformateur
		Inductance
		Transformateur de courant

Exemples de transformateur à enroulements séparés

Symboles		Désignation
Forme 1	Forme 2	
		Transformateur monophasé à deux enroulements avec écran
		Transformateur à prise médiane sur un enroulement
		Transformateur à couplage réglable
		Transformateur triphasé, couplage étoile-triangle
		Transformateur triphasé à quatre prises (non compris la prise principale) couplage étoile-étoile
		Groupe de trois transformateurs monophasés, couplage étoile-triangle
		Transformateur triphasé à prises multiples avec commutateur de prises pour manœuvre en charge, couplage étoile - triangle
		Transformateur triphasé couplage étoile zig-zag neutre sorti au secondaire

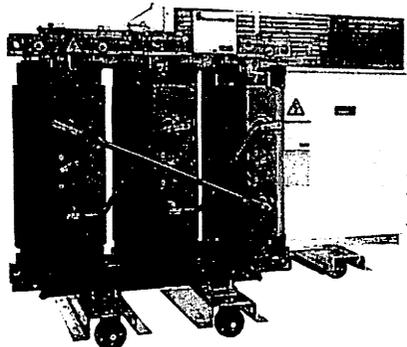
Exemples d'autotransformateurs

		Autotransformateur monophasé
		Autotransformateur triphasé, couplage étoile
		Autotransformateur monophasé à réglage progressif de la tension

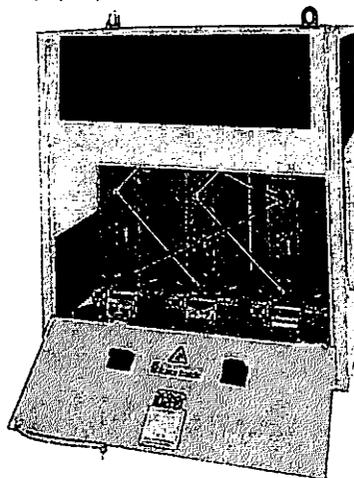
Transformateurs de mesure et d'impulsion

		Transformateur de tension
		Transformateur de courant sans primaire bobiné avec 5 passages du conducteur primaire
		Transformateur de courant à plusieurs primaires pour détection différentielle
		Transformateur d'impulsion avec indicateur de polarité instantanée des tensions

Transformateurs MT/BT pour réseaux jusqu'à 24 kV/410 V secs enrobés type « Trihal », 100 à 2500 kVA



Transformateur Trihal de 630 kVA, 20 kV/410 V sans enveloppe métallique (IP 00).



Transformateur Trihal de 630 kVA, 20 kV/410 V avec enveloppe métallique (IP 31). Ventilation forcée sur demande.

application

Les transformateurs MT/BT Trihal sont utilisés dans les postes de distribution MT/BT et conviennent parfaitement aux locaux où la protection des personnes est essentielle : immeubles d'habitation et de bureaux, zones à grande sensibilité face au risque d'incendie.

description

Cette gamme est constituée de transformateurs correspondant à la spécification suivante :

- type sec enrobé
 - classe thermique F
 - refroidissement naturel dans l'air type AN
 - enroulement BT bobiné en bande (fil méplat isolé pour les faibles puissances) imprégné avec le circuit magnétique, dans une résine
 - enroulement MT en fil ou méplat isolé, bobiné selon la méthode du bobinage continu à gradient linéaire sans entre-couche⁽¹⁾
 - enroulement MT enrobé et moulé sous vide dans une résine époxyde ignifugée par de l'alumine trihydratée¹ Al (OH)₃.
- Le transformateur Trihal existe en 2 versions :
- « nu sans enveloppe » (IP 00) ; les parties sous tension étant directement accessibles, l'installation doit être envisagée avec une protection contre les contacts directs⁽²⁾.

- version avec enveloppe métallique IP 31 en option, réalisant la protection contre les contacts directs avec les parties sous tension.

Chaque transformateur comporte :

- 4 galets de roulement plats orientables
- 4 anneaux de levage
- trous de halage sur châssis
- 2 emplacements pour mise à la terre
- une plaque signalétique (côté MT)
- une étiquette d'avertissement « danger électrique »
- barrettes de commutation, manœuvrables hors tension, agissant sur la plus haute tension, pour adapter le transformateur à la valeur réelle de la tension d'alimentation
- barres de couplage MT avec raccordement sur plages vers le haut
- 1 jeu de barres BT pour raccordement sur éclisses à la partie supérieure
- 1 procès-verbal d'essais individuels et 1 notice d'installation, de mise en service et de maintenance.

La version « enveloppe métallique IP 31 » est constituée du transformateur Trihal décrit ci-dessus complété par :

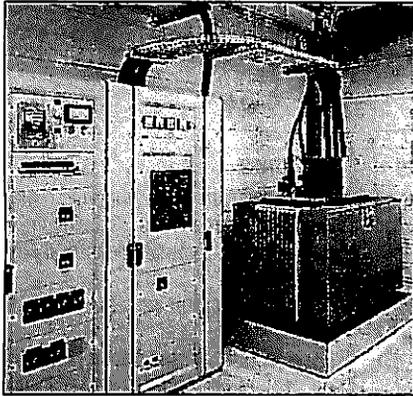
- une enveloppe métallique, non démontable, IP 31 (sauf le fond : IP 21).

caractéristiques électriques

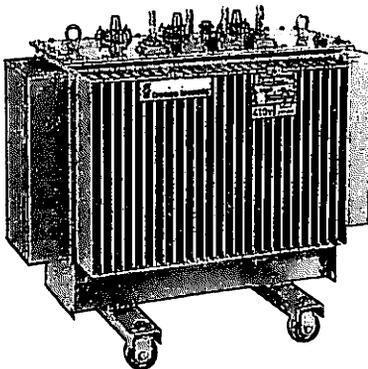
puissance assignée (kVA) ^{(1)*} tension primaire assignée ⁽¹⁾	160 20 kV	250	400	630	800	1 000	1 250	1 600	2 000	
niveau d'isolement assigné au primaire ⁽²⁾	24 kV pour 20 kV									
tension secondaire à vide ¹	410 V									
	entre phases									
	entre phase et neutre 237 V									
réglage (hors tension) ⁽¹⁾	± 2,5 % ⁽¹⁾									
couplage	Dyn 11 (triangle, étoile neutre sorti)									
pertes (W)	à vide	650	880	1 200	1 650	2 000	2 300	2 800	3 100	4 000
	dues à la charge	2 300	3 400	4 800	6 800	8 200	9 600	11 500	13 900	17 500
		à 75 °C	2 700	3 800	5 500	7 800	9 400	11 000	13 100	16 000
	à 120 °C									
tension de court-circuit (%)	6	6	6	6	6	6	6	6	6	
courant à vide (%)	2,3	2	1,5	1,3	1,3	1,2	1,2	1,2	1,1	
courant d'enclenchement	le/In valeur crête	10,5	10,5	10	10	10	10	10	9,5	
	constante de temps (s) 0,13	0,18	0,25	0,26	0,30	0,30	0,35	0,40	0,40	
bruit (dBA) ⁽³⁾ d'enclenchement	puissance acoustique LWA	62	65	68	70	72	73	75	76	78
	pression acoustique LPA (1m)	50	53	56	57	59	60	61	62	63
décharges partielle ⁽⁴⁾	≤ 10 pC à 1,1 Um									
transformateur IP 00 masses (kg)	830	1 050	1 380	1 840	2 130	2 600	2 900	3 630	5 160	
transformateur IP 31 masses (kg)	1 030	1 260	1 600	2 085	2 390	2 880	3 260	4 000	5 770	

* et renvois (1) à (4) : voir page suivante.

Transformateurs MT/BT pour réseaux jusqu'à 24 kV/410 V immersés type « cabine », 100 à 2500 kVA



Transformateur de 2 000 kVA/410 V.



Transformateur de 250 kVA, 20 kV/410 V.

application

Les transformateurs immergés de type « cabine » sont utilisés dans les postes de distribution MT/BT tertiaires et industriels, intégrés aux bâtiments ou extérieurs.

description

Cette gamme est constituée de transformateurs correspondant à la spécification suivante :

- transformateurs triphasés 50 Hz, pour installation à l'intérieur ou à l'extérieur (à préciser)
- immergés dans l'huile minérale³ (autre diélectrique sur demande)
- étanches à remplissage total (ERT)
- couvercle boulonné sur cuve
- refroidissement naturel de type ONAN
- traitement et revêtement anti-corrosion standard
- teinte gris RAL 7033.

Chaque transformateur comporte :

- 1 commutateur de réglage cadenasable situé sur le couvercle (manœuvrable hors tension) ; ce commutateur agit sur la plus haute tension, pour adapter le transformateur à la valeur réelle de la tension d'alimentation
- 3 parties fixes embrochables HN 52 S 61, 250 A, 24 kV, côté MT
- 4 traversées porcelaine BT 250 A, pour 100 kVA et 160 kVA
- 4 passe-barres BT à partir de 250 kVA
- 2 emplacements de mise à la terre sur le couvercle
- 4 galets de roulement plats orientables (à partir de 160 kVA)

- 2 anneaux de levage et de décuivage
- 1 plaque signalétique installable sur les 4 faces
- 1 orifice de remplissage, et un dispositif de vidange
- indice de protection IP 00.

options

En option, il peut être prévu les accessoires complémentaires suivants :

- 3 traversées porcelaine MT
- 4 traversées porcelaine BT, pour $P \geq 250$ kVA
- système de verrouillage des parties mobiles embrochables (serrure non fournie)
- capot BT plombable (possible uniquement avec prises embrochables côté MT et avec passe-câbles côté BT)
- dispositifs de contrôle et de protection : thermomètre, thermostat, relais DGPT2, etc.

Nota : les options ci-dessus évoquent les cas usuels et ne sont pas limitatives. Pour des compléments éventuels, nous consulter.

normes

Ces transformateurs sont conformes aux normes¹ :

- NF C 52-100 (août 1990) harmonisée avec le document HD398-1 - 398-5 du CENELEC
 - NF C 52-113 harmonisée avec le document HD428-1 du CENELEC.
- Par ailleurs, ils sont fabriqués suivant un système de qualité certifié par l'AFAQ selon ISO 9001.

caractéristiques électriques

puissance assignée (kVA) ^{(1)*}	100	160	250	400	630	800	1 000	1 250	1 600	2 000	2 500	
tension assignée	primaire 15 ou 20 kV											
	secondaire à vide 410 V entre phases, 237 V entre phase et neutre											
niveau d'isolement assigné ⁽²⁾	primaire 17,5 kV pour 15 kV 24 kV pour 20 kV											
réglage (hors tension)	± 2,5 % ⁽¹⁾											
couplage	Dyn 11 ⁽¹⁾ (triangle - étoile neutre sorti)											
pertes (W)	à vide	210	460	650	930	1 300	1 220	1 470	1 800	2 300	2 750	3 350
	dues à la charge ⁽³⁾	2 150	2 350	3 250	4 600	6 500	10 700	13 000	16 000	20 000	25 500	32 000
tension de court-circuit (%)	4											
bruit (dBA) ⁽⁴⁾	49	62	65	68	70	67	68	70	71	74	76	

* La puissance assignée est définie en refroidissement naturel dans l'air (AN). Pour des contraintes particulières, elle peut être augmentée de 40 % par adjonction de ventilation forcée (AF). Nous consulter.

(1) Autres possibilités sur demande. Nous consulter.

(2) Rappel sur les niveaux d'isolement :

niveaux d'isolement assignés (kV)	7,2	12	17,5	24
kV eff. 50 Hz - 1 mm	20	28	38	50
kV choc 1,2/50 µs	60	75	95	125

(3) Mesures selon IEC 551.

(4) Mesures selon IEC 270.

4

Les régimes de neutre

Une distribution d'énergie électrique est caractérisée par la nature du courant, le nombre de conducteurs actifs et les liaisons entre le conducteur neutre, les masses et la terre, c'est ce que l'on appelle les **régimes de neutre**.

Les dispositions prises permettant d'assurer la protection des personnes contre les **contacts indirects** par **coupure automatique de l'alimentation** dépendent du type de régime de neutre.

1 Définitions

1.1. Types de réseaux

Les réseaux de distribution en basse tension les plus courants sont réalisés en fonction de l'alimentation des récepteurs, soit en courant continu (*fig. 1*), soit en courant alternatif monophasé (*fig. 2*) ou triphasé (*fig. 3*).

1.2. Notion d'isolement

Tout réseau électrique est plus ou moins bien isolé par rapport aux masses métalliques et à la terre. On peut représenter les fuites de courant à la terre par une succession de résistances en parallèle entre chaque phase et la terre ; ces résistances schématisent la résistance des isolants des câbles et isolateurs (*fig. 4*).

Ce schéma (*fig. 4*) peut être remplacé par un schéma fictif équivalent de trois impédances ponctuelles Z_1 , Z_2 , Z_3 (*fig. 5*). Enfin, étant donné que les courants passant par la terre se referment en passant par le neutre, on peut remplacer ces impédances ponctuelles par une seule impédance ramenée entre le neutre et la terre (*fig. 6*).

1.3. Codification des régimes de neutre

La norme C.15-100 définit trois régimes de neutre qui sont caractérisés par deux lettres :

– **1^{re} lettre** : elle représente la situation du neutre de l'alimentation par rapport à la terre :

T : liaison du neutre avec la terre ;

I : isolation de toutes les parties actives par rapport à la terre, ou liaison à travers une impédance.

– **2^e lettre** : elle représente la situation des masses de l'installation par rapport à la terre :

T : masses reliées directement à la terre ;

N : masses reliées au neutre de l'installation, lui-même relié à la terre.

Remarque : Une troisième lettre S ou C indique si les conducteurs neutre et de protection sont séparés (S) ou forment un seul conducteur (C).

OBJECTIFS

La connaissance des différents règlements et normes relatifs aux régimes de neutre doit vous permettre d'être capable :

- de décoder un schéma d'installation,
- de justifier le choix des dispositifs de protection dans les installations électriques.

SAVOIR TECHNOLOGIQUE S 1.2

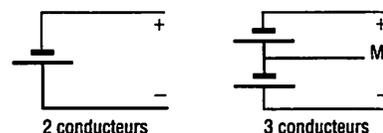


Fig. 1 : Distribution en courant continu.

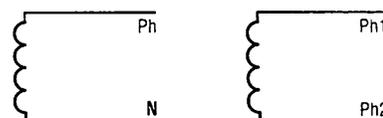


Fig. 2 : Courant alternatif monophasé.

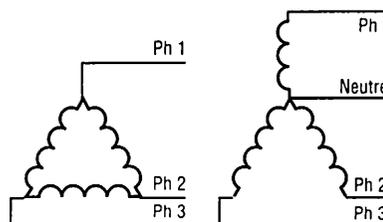


Fig. 3 : Courant alternatif triphasé.

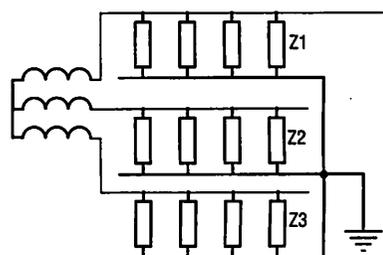


Fig. 4 : Représentation par des impédances Z des fuites à la terre.

On a défini trois régimes de neutre différents qui sont :

a) Neutre à la terre : TT (fig. 7)

Le neutre de l'alimentation est relié à la terre. Les masses de l'installation sont aussi reliées à la terre. C'est cette disposition qui est mise en œuvre par EDF pour les réseaux de **distribution d'abonnés** afin de faciliter les modifications d'installation.

b) Mise au neutre : TN (fig. 8)

Le neutre de l'alimentation est relié à la terre et les masses sont reliées au neutre. Cette disposition est employée dans des **réseaux industriels** pour une économie d'appareillage.

c) Neutre isolé : IT (fig. 9)

Le neutre est isolé ou relié à la terre, mais par une forte impédance, les masses sont reliées entre elles et à la terre. Cette disposition est surtout utilisée lorsque l'on veut une **grande continuité de service**.

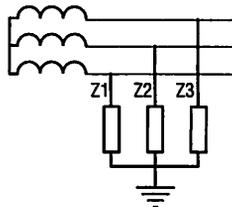


Fig. 5 : Représentation des trois impédances de ligne Z1, Z2, Z3.

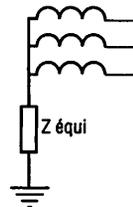


Fig. 6 : Impédance équivalente ramenée au neutre

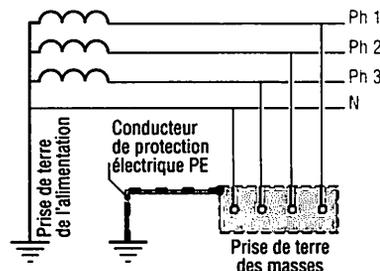


Fig. 7 : Neutre à la terre : TT.

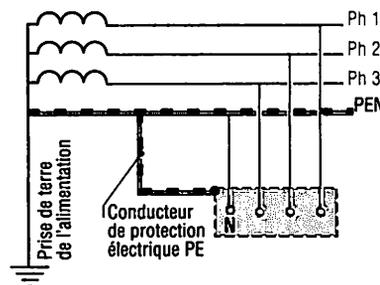


Fig. 8 : Mise au neutre TN.

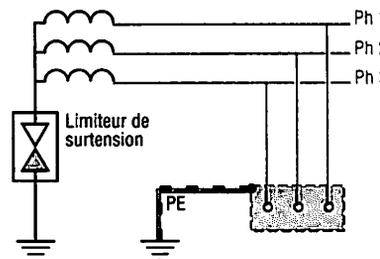


Fig. 9 : Neutre isolé IT.

2 Neutre à la terre

2.1. Principe (fig. 10)

Dans ce régime de neutre, le neutre de la source d'alimentation est mis à la terre, les masses sont reliées entre elles et mises à la terre.

Exemple : soit le réseau TT de distribution (fig. 10).

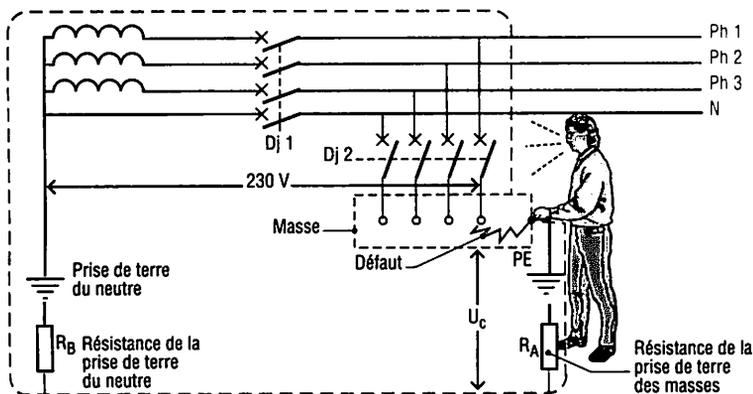


Fig. 10 : Réseau triphasé + neutre, tension 230/400 V régime TT, circuit en cas de défaut.

Lorsqu'une phase touche la masse, il y a élévation du potentiel de cette masse.

soit : R_d = résistance du défaut = 0,1 Ω ;

R_b = résistance de la prise de terre du neutre = 10 Ω ;

R_a = résistance de la prise de terre des masses = 20 Ω.

Il s'établit dans le circuit en pointillé rouge un courant qui parcourt cette boucle de défaut dont la valeur est :

$$I_d = \frac{230}{R_d + R_b + R_a} = \frac{230}{0,1 + 10 + 20} = 7,64 \text{ A}$$

La tension de la masse par rapport à la terre est donnée par la loi d'Ohm.

(U_c = tension de contact).

$$U_c = R_a \times I_d = 20 \times 7,30 = 146 \text{ V}$$

C'est une tension mortelle

En conclusion, lorsque dans un réseau TT survient un défaut d'isolement, il y a une élévation dangereuse du potentiel des masses métalliques, qui normalement sont à un potentiel nul (0 volt).

Remarque : À partir d'une certaine extension (environ 1 km), un réseau triphasé présente des résistances de fuite et des capacités par rapport à la terre non négligeables.

2.2. Règles de protection

1^{re} règle

Coupure automatique de l'alimentation : en cas de défaut, il doit y avoir coupure automatique du circuit alimentant l'appareil où s'est produit un défaut (mise à la masse) dans le temps conventionnel prévu par la norme et fonction de la tension du réseau.

Le temps de coupure ne doit jamais être supérieur à 5 s.

2^e règle

Toutes les masses des matériels électriques, protégées par un même dispositif de protection, doivent être interconnectées avec les conducteurs de protection et reliées à une même prise de terre.

3^e règle

La condition suivante doit être satisfaite :

R_A = résistance de la prise de terre des masses
 I_a = courant de fonctionnement du dispositif de protection
 U_L = tension limite de contact, selon les conditions elle peut être de 50 V, 25 V, ou 12 V selon les locaux

$$R_A \times I_a \leq U_L$$

2.3. Dispositif de protection

Dans les schémas TT, on assure la protection par un dispositif à courant différentiel résiduel (voir tome 1, page 102). Dans ce cas, le courant I_a est égal au courant différentiel résiduel du disjoncteur.

a) Sensibilité du différentiel $I_{\Delta n}$

La sensibilité d'un interrupteur différentiel résiduel est indiquée par le symbole $I_{\Delta n}$ (tableau 1). Dans le cas où l'on veut aussi assurer la protection contre les courts-circuits, on emploie un disjoncteur magnéto-thermique muni d'un relais différentiel.

b) Emplacement des dispositifs différentiels

– Toute installation TT doit être protégée au moins par un dispositif différentiel résiduel à l'origine de l'installation (fig. 11).

– Dans le cas où l'on doit protéger différents départs avec des dispositifs différentiels de différentes sensibilités on peut utiliser le schéma (fig. 12) qui évite la coupure générale de l'installation en cas de défaut.

Remarque : La tendance est de disposer d'un maximum d'interrupteurs ou de disjoncteurs différentiels. On risque alors d'avoir des déclenchements intempestifs, qui iraient à l'encontre de la continuité de service.

2.4. Résumé

- Régime de neutre type TT : neutre à la terre et masses à la terre.
- Protection par dispositif différentiel résiduel.
- Condition de protection :

$$U_L \leq R_A I_{\Delta n}$$

Tableau 1 : Valeur maximale de la résistance de la prise de terre $U_L = 50$ V

Courant différentiel résiduel du DR ($I_{\Delta n}$)	Résistance de la prise de terre des masses (ohms)
20 A	2,5
10 A	5
5 A	10
3 A	17
Moyenne sensibilité	
1 A	50
500 mA	100
300 mA	167
100 mA	500
Haute sensibilité	
30 mA	> 500
12 mA	
6 mA	

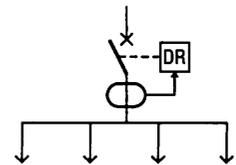


Fig. 11 : Il faut au moins un disjoncteur différentiel à l'origine de l'installation.

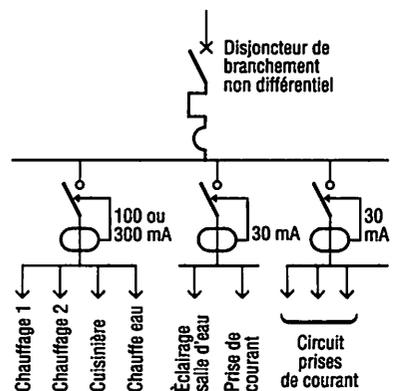


Fig. 12 : Disjoncteur général, non différentiel, mais tous les départs protégés par DR.

3 Justification d'un régime de neutre

Sur le plan de la protection des personnes, les trois régimes de neutre sont équivalents, à condition de respecter les règles d'installation.

3.1. Cas où le régime de neutre est imposé

La législation impose le régime du neutre (*tableau 2*).

3.2. Cas où la continuité de service est primordiale

C'est le régime de neutre IT qui est le plus adapté (pas de coupure au premier défaut), mais il exige un personnel de surveillance capable de réparer les défauts dès qu'ils apparaissent.

3.3. Nature du réseau ou des récepteurs

Dans le cas d'un réseau étendu, en zone orageuse, ou comportant beaucoup de lignes aériennes, on évitera le régime IT.

Attention aux récepteurs qui ont un mauvais isolement (fours électriques, thermo-plongeurs) s'ils sont fixes ou mobiles, s'ils sont sensibles aux grands courants de défaut. Le régime de neutre sera le plus souvent du type TN dans l'industrie et du type TT dans les habitations et les bureaux.

Le *tableau 3* ci-dessous indique le régime de neutre, ou de mise à la terre, qui convient le mieux.

Tableau 2 : Textes officiels ou recommandations concernant le régime de neutre.

Type d'installation	Régime de neutre	Exemple
Bâtiment alimenté par un réseau de distribution publique	TT	Boulangerie Habitation
Établissement d'enseignement avec locaux de travaux pratiques	TT	Collège LP LT
Salle d'opération ou d'anesthésie	IT	Bloc opératoire
Circuit de sécurité	IT	Éclairage de secours
Mines et carrières	IT ou TT	Alimentation d'engins

Tableau 3 : Justification d'un régime de neutre (d'après Merlin Gérin).

	Définitions du réseau ou des récepteurs	Conseillé	Possible	Déconseillé	Observations
Réseau	Réseau très étendu avec prises de terre des masses d'utilisation (10 Ω maxi)		TT TN IT		Pour limiter les risques, on a intérêt à fragmenter le réseau et à avoir le régime de neutre adapté à chaque cas.
	Réseau perturbé (zone orageuse)	TN	TT	IT	Si régime IT retenu, bien surveiller les déclenchements au 2 ^e défaut.
	Réseau avec courants de fuite importants (> 500 mA)	TN	IT TT		Risque de déclenchement intempestif des DR en TT.
	Réseau avec lignes aériennes extérieures	TT	TN	IT	Isolement incertain en IT.
Récepteurs	Récepteurs sensibles aux grands courants de défaut	IT	TT	TN	Un défaut phase masse en TN risque d'endommager un moteur définitivement.
	Récepteurs à faible isolement (fours électriques)	TN	TT	IT	Il est conseillé de séparer ces récepteurs du reste de l'installation.
	Nombreux récepteurs monophasés (phase-neutre)	TT TNS		IT TNC	En cas de baisse d'isolement, la protection type TT est la meilleure (DDR).

■ Tous les régimes de neutre permettent de protéger les personnes et le matériel contre les contacts indirects, par coupure automatique de l'alimentation.

■ On distingue trois régimes de neutre ou mise à la terre du neutre différents :

- neutre à la terre TT ;
- mis au neutre TN ;
- neutre isolé IT.

■ Dans le régime du neutre à la terre, le neutre de la source d'alimentation est mis à la terre, les masses sont reliées entre elles et mises à la terre. C'est la disposition mise en œuvre par EDF, pour les réseaux de distribution d'abonnés.

■ La condition de protection est donnée par la relation (neutre à la terre, TT) :

$$R_A \times I_a < U_L.$$

■ La protection est réalisée par le disjoncteur différentiel, dont la sensibilité dépend de la résistance de la prise de terre.

■ Le choix d'un régime de neutre est fonction des conditions suivantes : soit le neutre est imposé par la loi, soit la continuité des services est primordiale ; enfin le choix dépend aussi de l'installation et de la nature des récepteurs.



VRAI OU FAUX ?

Parmi les affirmations suivantes, indiquez celles qui sont vraies.

1. Les liaisons entre conducteurs neutre, masse et terre s'appellent les régimes de neutre.
2. Un réseau électrique est toujours parfaitement isolé de la terre.
3. La codification d'un régime de neutre s'effectue à l'aide des chiffres et des lettres.
4. La première lettre présente la situation des masses par rapport à la terre.
5. La deuxième lettre présente la situation des phases par rapport à la terre.
6. Le régime TT indique neutre à la terre, masses de l'installation reliées à la terre.
7. On indique par TN le régime où le neutre est séparé de la terre.
8. Un régime à neutre isolé IT est un régime où le neutre est isolé de la terre et les masses sont reliées à la terre.
9. On appelle R_A la résistance de la prise de terre des masses.
10. On appelle R_A la résistance de la prise de terre du neutre.

11. En cas de contact d'une phase avec une masse, le courant se referme par la terre (régime TT).
12. En cas de contact d'une phase avec une masse, la masse est portée à un potentiel dangereux.
13. En régime TT, toutes les masses sont interconnectées et reliées à la terre.
14. En cas de défaut, il doit y avoir coupure automatique du circuit d'alimentation de l'appareil (régime TT).
15. Ce sont les fusibles qui effectuent la coupure automatique (régime TT).
16. Une installation de type TT doit être protégée par au moins un dispositif différentiel résiduel.
17. Dans certains cas, le régime de neutre est imposé par la législation.
18. Dans le cas où la continuité du service est primordiale, on adoptera un régime TN.
19. Dans une salle d'opération chirurgicale, on utilise le régime IT.
20. Dans un réseau important avec de forts courants de fuite, on utilise un régime TT.

RÉSOLUS

1. À l'arrivée de votre installation électrique de régime de neutre TT, vous notez la présence d'un disjoncteur différentiel de 650 mA. La tension de sécurité étant de 50 V, quelle doit être la valeur maximale de la résistance de terre de cette installation ?

Solution :

On applique la relation :

$$R_A \times I_{\Delta n} \leq U_L$$

Avec U_L tension de sécurité = 50 V,

$I_{\Delta n}$ = sensibilité du différentiel résiduel d'où résistance de terre maximale :

$$R_A = \frac{U_L}{I_{\Delta n}} = \frac{50}{0,65} = 76,9 \Omega$$

2. Dans une installation à neutre à la terre, le moteur d'un lave-linge, alimenté en 230 V monophasé, se met en court-circuit (contact entre phase et la masse $R = 0$). Connaissant la résistance du neutre, 20 ohms, et de la prise de terre, 34 ohms, calculez :

a) le courant de défaut,

b) la tension de contact.

Solution :

a) Le courant dans le circuit en défaut est donné par la formule :

$$I_d = \frac{230}{R_d + R_n + R_A} = \frac{230}{20 + 34} = 4,25 \text{ A}$$

b) La tension de contact est :

$$U_c = R_A \times I_d = 34 \times 4,25 = 144,8 \text{ V}$$

Tension mortelle.

À RÉSOUDRE

1. À l'arrivée d'une installation électrique en neutre TT, on a placé un disjoncteur 320 mA (dispositif différentiel résiduel). Donnez la valeur de la résistance maximale de la prise de terre pour une tension de sécurité de 24 V.

2. Dans un sol rocheux on est parvenu à réaliser une prise de terre de 80 Ω pour être protégé en régime TT avec une tension de 24 volts. Quelle doit être la sensibilité du différentiel résiduel du disjoncteur ?

3. Dans une boulangerie, réseau TT, la résistance de la prise de terre est de 40 Ω , le disjoncteur à l'arrivée du secteur a une sensibilité du différentiel résiduel de 0,5 A. Quelle sera la tension à laquelle seront portées les masses en cas de défaut ?

4. Une piscine nécessite une pompe pour son installation de filtrage d'eau. La résistance de la prise de terre étant de 150 Ω , quelle doit être la sensibilité du différentiel de protection ?

5. Dans une installation à neutre à la terre, le moteur d'une pompe, alimenté en 230 V monophasé, se met en

court-circuit (contact entre une phase et la masse $R = 0$). Connaissant la résistance du neutre, 8 ohms, et de la prise de terre, 15 ohms, calculez :

a) le courant de défaut,

b) la tension de contact.

6. Dans une installation à neutre à la terre, la résistance d'un four, alimentée en 230 V monophasé, se met en court-circuit (contact une phase et la masse $R = 5$). Connaissant la résistance du neutre, 6 ohms, et de la prise de terre, 14 ohms, calculez :

a) le courant de défaut,

b) la tension de contact.

7. À votre avis, quel est le régime de neutre conseillé pour un circuit de sécurité avec éclairage de secours ?

8. Dans le cas d'un réseau électrique comportant des lignes aériennes extérieures, quel sera le régime de neutre à conseiller ?

9. Dans une entreprise comportant de nombreux fours électriques à faible isolement, quel sera le régime de neutre conseillé ?

5

Mise au neutre Neutre isolé

1 Mise au neutre : TN

1.1. Principe

Le neutre de l'alimentation est mis à la terre et les masses sont reliées au neutre ; dans ces conditions, tout défaut d'isolement est transformé en un défaut entre phase et neutre, ce qui se traduit par un court-circuit entre phase et neutre, d'où le fonctionnement de la protection contre les courts-circuits.

a) Schéma électrique (fig. 1)

On distingue trois représentations :

- TN-C : le conducteur de protection et le neutre sont **confondus** en un seul conducteur PEN : protection électrique + neutre.
- TN-S : le conducteur neutre est **séparé** du conducteur de protection électrique PE.

Attention : on n'a pas le droit de réaliser un schéma TN-C après un schéma TN-S.

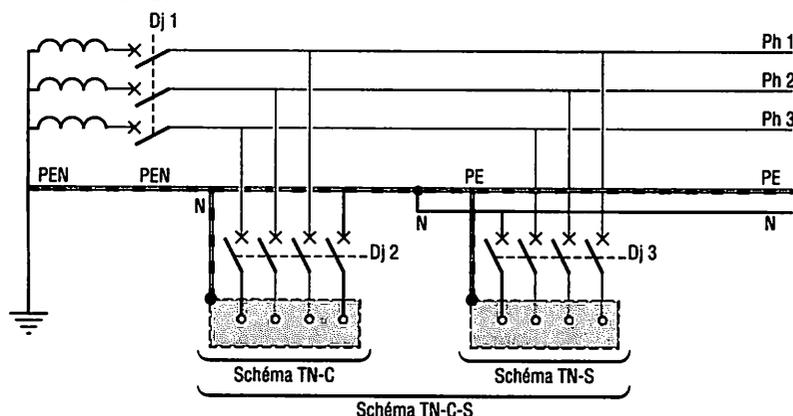


Fig. 1 : Différentes dispositions du schéma TN. Attention : si le fil neutre doit être coupé, on ne coupe jamais un conducteur PE ou PEN.

b) Boucle de défaut (fig. 2)

Les prises de terre du neutre et des masses sont interconnectées. En cas de défaut (contact phase masse), un courant I_d équivalent à un court-circuit, circule dans le conducteur PE ou PEN. Il n'y a aucune élévation de potentiel des masses, seule la résistance de la boucle limite le courant dans le circuit, la résistance du défaut est en général très faible (court-circuit).

1.2. Règles de protection pour le régime TN

1^{re} règle

S'il se produit dans un endroit quelconque un défaut d'isolement, entre phase et masse, ou phase et neutre, la coupure automatique doit être

OBJECTIFS

La connaissance des différents règlements et des différentes normes relatives aux mises à la terre du neutre doit permettre :

- de décoder un schéma d'installation ;
- de justifier le choix des dispositifs de protection.

SAVOIR TECHNOLOGIQUE

S 1.2

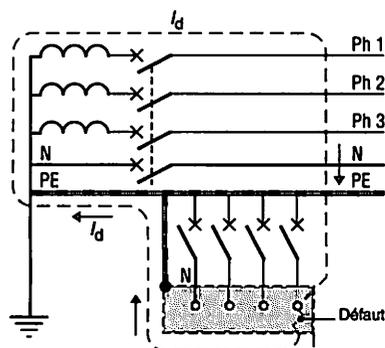


Fig. 2 : Représentation du courant circulant dans la boucle de défaut.

effectuée dans un temps précisé au **tableau 1** qui donne les temps de coupure maximaux en fonction de la tension U_0 entre phase et terre.

2^e règle

La coupure automatique en cas de défaut doit satisfaire à la condition suivante :

$$Z_s \times I_a \leq U_0$$

Z_s = impédance de la boucle de défaut (Ω)
 I_a = courant assurant le fonctionnement du dispositif de protection (A)
 U_0 = tension nominale entre phase et terre (V)

Cette règle permet d'éviter que la tension de défaut dépasse la tension limite U_L .

Remarque : Les temps de coupure du tableau s'appliquent aux circuits terminaux. On admet pour les circuits de distribution des temps de coupure pouvant aller jusqu'à une valeur inférieure à 5 s.

Conséquences :

Il faut connaître l'impédance de boucle pour savoir si les conditions de coupure automatique sont bien remplies ; on peut le faire par le calcul ou par mesure de l'impédance de boucle.

Tableau 1 : Temps de coupure maximum, selon la tension du réseau (régime TN).

Tension nominale U_0 (volts)	Temps de coupure t_0 (s)	
	$U_L = 50$ V	$U_L = 25$ V
120, 127	0,8	0,35
220, 230	0,4	0,2
380, 400	0,2	0,06
> 400	0,1	0,02

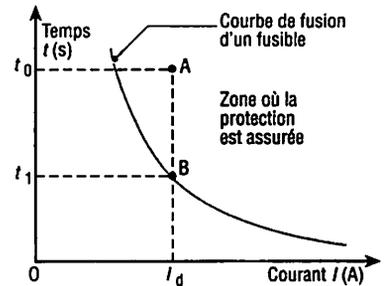


Fig. 3 : La partie supérieure de la courbe indique que la protection contre les contacts indirects est bien assurée.

2 Dispositifs de protection

Le défaut d'isolement étant transformé en un court-circuit entre phase et neutre, ou phase et PE, on vérifie par le calcul que le courant dans la boucle de défaut est suffisant pour actionner le dispositif de protection contre les courts-circuits et pour provoquer l'ouverture du circuit dans le temps prévu par la norme C 15-100 (**tableau 1**).

2.1. Protection par fusible (fig. 3)

Le courant de défaut I_d doit provoquer la fusion du fusible.

- Courbe de fusion d'un fusible : $t = f(I)$
- t_1 = temps de fusion du fusible pour le courant de défaut I_d ;
- t_0 = temps de coupure prescrit en fonction de la tension nominale de l'installation (**tableau 1**).

- Remarque* : Si le courant de défaut n'est pas suffisant on doit :
- soit prévoir une protection par dispositif à courant différentiel ;
 - soit prévoir des liaisons équipotentielles entre les masses pour réduire l'impédance de défaut et augmenter le courant de défaut ;
 - soit augmenter les sections des conducteurs PE.

2.2. Protection par disjoncteur (fig. 4)

Il suffit de s'assurer que le courant de défaut I_d est au moins égal au plus petit courant, I_m assurant le fonctionnement instantané du disjoncteur.

$$I_d \geq I_m$$

I_d = courant de défaut
 I_m = courant de déclenchement du relais magnétique du disjoncteur

En effet, les temps de déclenchement des disjoncteurs sont généralement inférieurs aux temps prescrits.

Dans le cas où I_d est inférieur à I_m (disjoncteurs d'usage général) on peut modifier le réglage de I_m sur le disjoncteur, ou bien on est ramené aux deuxième et troisième cas des fusibles.

Protection par fusibles

Trois cas possibles :

- $t_1 \leq t_0$: la protection est assurée.
- $t_0 < t_1 < 5$ s : la protection n'est assurée que si le circuit est en distribution terminale.
- $t_1 > 5$ s : la protection n'est pas assurée (voir remarque).

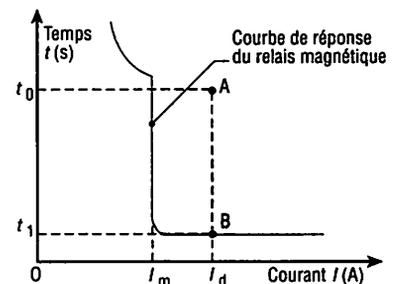


Fig. 4 : Protection par disjoncteur. I_m = intensité de déclenchement du relais magnétique du disjoncteur.

2.3. Calcul simplifié

On peut calculer le courant de défaut de I_d par la formule :

$$I_d = 0,8 \frac{U_0}{R_a + R_{PE}}$$

U_0 = tension simple, phase neutre (V)
 R_a = résistance d'un conducteur de phase
 R_{PE} = résistance du conducteur PE

0,8 signifie qu'en cas de défaut, la tension à l'origine du circuit n'est que de 80 % de la tension nominale.

a) Hypothèses simplificatrices

- Les conducteurs de phase et le conducteur PE sont disposés à proximité immédiate (même conduit ou câble).
- On néglige les réactances des conducteurs (*self* ou capacité).

b) Tableaux des résultats

Connaissant les courbes de fonctionnement des fusibles et disjoncteurs, on a déterminé pour chaque calibre d'appareil et en fonction de la section des conducteurs, les longueurs maximales de canalisations triphasées protégées en cas de contact indirect pour le régime TN (fiches documentation pp. 44 et 45).

Remarque : Lorsque les conducteurs sont en aluminium au lieu d'être en cuivre, il faut multiplier les longueurs par 0,62.

3 Régime IT

3.1. Principe

Dans le régime du neutre isolé (*fig. 5*)

- le neutre est isolé de la terre, ou relié à la terre par une impédance ;
- les masses sont reliées à une prise de terre.

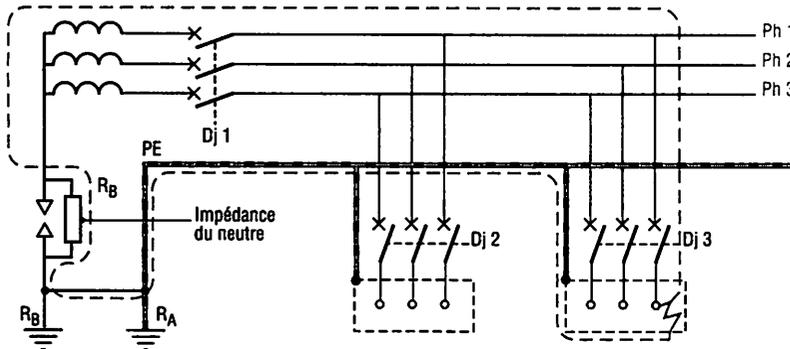


Fig. 5 : Régime de neutre à neutre isolé IT.

3.2. Règles de protection en régime IT

a) Premier défaut

En cas de défaut d'une phase, à la masse ou à la terre, le courant de défaut est faible. Le défaut est signalé.

Un contrôleur permanent d'isolement doit indiquer l'apparition d'un premier défaut, il doit le signaler par un signal sonore ou visuel.

b) Deuxième défaut

Le deuxième défaut est analogue à un court-circuit entre 2 phases.

Après l'apparition d'un premier défaut la coupure est obligatoire au deuxième défaut. Les conditions de coupure de l'alimentation au deuxième défaut sont les suivantes :

- lorsque les masses sont interconnectées (conducteur PE) on applique les règles du schéma TN ;

Exemple (fig. 5)

$Z_n = 2\,200 \, \Omega$,
 $R_{\text{défaut}} = 2 \, \Omega$,
 $R_B = 10 \, \Omega$,
 $R_A = 10 \, \Omega$.

Courant de défaut :

$$I_d = \frac{V}{Z_{\text{total}}}$$

$$I_d = \frac{230}{2\,200 + 2 + 10 + 10}$$

$I_d = 0,1 \, \text{A}$

Tension de défaut :

$$U_c = R_A \times I_d$$

$$= 10 \times 0,1 = 1 \, \text{V}.$$

Le potentiel est inoffensif.

– lorsque les masses sont mises à la terre séparément (cas de bâtiments différents), on applique les règles du schéma TT.

4 Dispositif de protection

4.1. Contrôleur permanent d'isolement (CPI) (fig. 6 et 7)

– Cet appareil permet de contrôler en permanence l'isolement général d'un réseau à neutre isolé (IT). Son principe de fonctionnement est basé sur l'injection d'une tension continue entre le réseau et la terre. Cette tension crée un courant de fuite correspondant à la résistance d'isolement.

– **Fonctionnement (fig. 8)** : en l'absence de défaut, aucun courant ne circule dans le réseau. Dès qu'un défaut survient, un faible courant indique la valeur d'isolement, ce courant amplifié actionne les alarmes. Cet appareil permet de signaler l'apparition d'un premier défaut.

4.2. Déclenchement au deuxième défaut

En cas d'un défaut double, on est alors en présence d'un fort courant de court-circuit et d'une tension de contact dangereuse.

Exemple : soit la distribution alimentant deux départs (fig. 9) avec un défaut sur la phase 1, l'autre sur la phase 3.

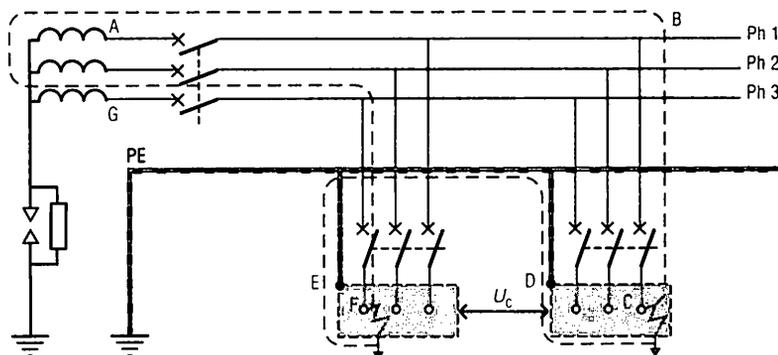


Fig. 9 : Cas de deux défauts différents ou défaut double.

4.3. Protection au deuxième défaut

– Lorsque les masses sont mises à la terre par groupes ou individuellement, on protège le circuit par un disjoncteur différentiel comme en régime TT (voir chapitre 4).

– Lorsque les masses sont interconnectées, on applique les règles du régime TN en précisant les conditions particulières :

$$I_d = 0,5 \frac{U'}{Z_s}$$

I_d = courant de défaut
 U' = tension entre phases
 Z_s = impédance de la boucle de défaut

Le coefficient 0,5 indique une répartition égale de la tension entre phases à l'endroit du défaut.

Les installations monophasées sont considérées comme des installations à neutre distribué.

Les temps de coupures sont définis dans le **tableau 2** selon les tensions limites de 50 ou 25 V.

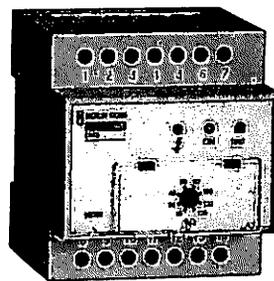


Fig. 6 : Vigilohm EM 9 (Merlin-Gérin).

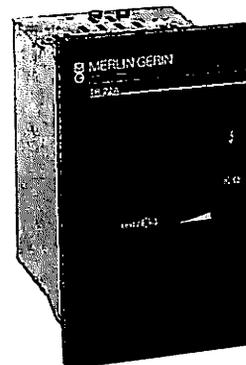


Fig. 7 : Vigilohm TR 22 (Merlin-Gérin).

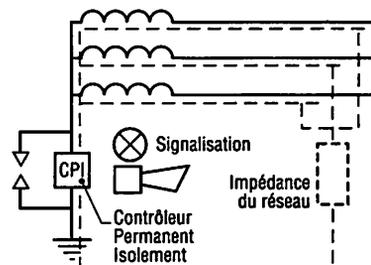


Fig. 8 : Branchement d'un contrôleur permanent d'isolement (CPI).

Tableau 2 : Temps de coupure en régime IT.

Tension nominale de l'installation U/U ₀ (V)	U _L = 50 V	U _L = 25 V
Neutre non distribué		
127/220	0,8	0,4
230/400	0,4	0,2
400/690	0,2	0,06
580/1 000	0,1	0,02
Neutre distribué		
127/220	5	1
230/400	0,8	0,5
400/690	0,4	0,2
580/1 000	0,2	0,08

L'essentiel

■ Tous les régimes de neutre permettent de protéger les personnes, le matériel contre les contacts indirects par coupure automatique de l'alimentation.

Désignation	Règles	Protection
Neutre à la terre TT et masses à la terre	Coupure automatique au 1 ^{er} défaut $U_L \leq R_a I_{\Delta n}$	Assurée par disjoncteur différentiel
Mise au neutre TN Masses reliées au neutre et neutre à la terre	Coupure automatique au 1 ^{er} défaut Boucle de défaut $Z_s I_a \leq U_0$	Défait transformé en court-circuit, phase-neutre, protection par fusible ou disjoncteur
Neutre isolé IT Masses à la terre	<ul style="list-style-type: none"> • Surveillance par CPI • Coupure au 2^e défaut • $I_a = 0,5 \frac{U}{Z_s}$ 	Avertissement au premier défaut par CPI, contrôleur permanent isolement



■ Le régime de neutre TT est surtout utilisé dans la distribution publique d'énergie. La mise au neutre TN est surtout employée dans l'industrie. Le neutre isolé IT est installé pour des raisons de continuité de fonctionnement.

VRAI OU FAUX ?

Parmi les affirmations suivantes, indiquez celles qui sont vraies.

1. Le régime TN s'appelle aussi mise au neutre.
2. En régime TN, on considère que tout défaut d'isolement est transformé en un court-circuit phase neutre.
3. La protection en régime TN s'effectue par un détecteur de surtensions.
4. L'indication PEN signifie qu'il s'agit d'un conducteur Puissance Électrique Négative.
5. L'indication TN-C indique que le conducteur de protection PE et le conducteur neutre sont confondus.
6. L'indication TN-S indique l'absence de conducteur neutre.
7. En cas de défaut en régime TN, la coupure doit être automatique.
8. En cas de défaut en régime TN, il y a établissement d'une boucle de défaut qui se referme par le conducteur PE.
9. Pour vérifier le bon fonctionnement des protections, il faut faire un court-circuit.
10. L'indication IT signifie Isolement Temporisé.
11. En régime IT, dès qu'un défaut apparaît il doit y avoir coupure automatique.
12. En cas de premier défaut phase neutre, la phase en défaut et le neutre sont au même potentiel.
13. Le régime IT nécessite un contrôleur permanent d'isolement.
14. En cas de deuxième défaut en régime IT, il doit y avoir coupure automatique.
15. En régime IT, lorsque les masses sont interconnectées, la protection est assurée par un disjoncteur différentiel.
16. En régime IT, lorsque les masses sont séparées, la protection est assurée par un disjoncteur différentiel.
17. Un deuxième défaut est appelé défaut double.
18. Les lettres CPI signifient Canalisations Protection Isolement.
19. À l'apparition d'un premier défaut, on doit attendre le deuxième défaut pour intervenir.
20. Le régime IT permet de maintenir le courant, même en cas de défaut d'isolement.

RÉSOLUS

1. Dans une scierie, l'installation électrique est faite en régime TN, triphasé 400 V. Un monorail est alimenté par un départ en câble de 10 mm² et le disjoncteur a son relais magnétique sur 125 A. Sachant que le moteur du monorail est à 70 m, est-ce que ce moteur est bien protégé contre les contacts indirects ?

Solution :

En régime TN, la protection contre les contacts indirects est assurée par le disjoncteur.

Pour une liaison en câble 10 mm² avec un courant de $I_m = 125$ A, la longueur de la canalisation peut être de 273 m, ce qui est bien supérieur aux 70 m demandés.

2. Étant donné le schéma de la figure 9 page 41, montrant le déclenchement au deuxième défaut, calculez le courant de défaut I_d et la tension de contact U_c dans le cas de la boucle A, B, C, D, E, F, G. On prendra le cas d'un réseau $U' = 400$ V et l'impédance de la boucle de défaut $Z_s = 0,135 \Omega$.

Solution :

Le courant de défaut est

$$I_d = 0,5 \times (400/0,135) = 1\,481 \text{ A.}$$

La tension de contact est :

$$U_c = 0,5 \times 400 = 200 \text{ V,}$$

ce qui est une tension dangereuse.

3. Une installation électrique est alimentée en triphasé 230/400 V avec un régime de neutre TN. Un départ est protégé par des fusibles gG de 63 A, qui alimentent une ligne de section 6 mm². Indiquez la longueur maximale de la canalisation pour avoir une protection contre les contacts indirects.

Solution :

D'après le tableau 1 page 44, pour une section de 6 mm² et un calibre fusibles de 63 A, la longueur protégée contre les contacts indirects est de 37 m.

À RÉSOUDRE

1. Dans une station d'épuration (régime TN) une pompe triphasée est alimentée par un câble de 35 mm² et elle est distante de 300 m du tableau de distribution. On vous demande de déterminer quel doit être le courant assigné avec un disjoncteur de type C (voir tableau p. 45).

2. Considérons la pompe de l'exercice précédent ; on remplace le disjoncteur de départ par des fusibles type aM, quel sera le courant assigné pour assurer la protection contre les contacts indirects en régime TN (voir tableau p. 44).

3. Un départ d'une installation en régime TN alimente un moteur dont le courant absorbé est de 80 A, le moteur est alimenté en 400 V triphasé par un câble 3 ph + PE de 25 mm² (section des phases = section du neutre). Ce moteur sera alimenté par un disjoncteur. Quel sera le type employé pour assurer la liaison la plus longue tout en étant protégé contre les contacts indirects ?

4. Dans une installation électrique à neutre isolé (IT), sachant qu'elle est alimentée en triphasé 400 V, l'impédance de boucle est de 2 500 ohms avec une résistance

de défaut de 5 ohms, résistance de terre du neutre 10 ohms, résistance de terre des masses 20 ohms. Calculez le courant de défaut, I_d , ainsi que la tension de défaut.

5. Étant donné le schéma de la figure 9, page 41 montrant le déclenchement au deuxième défaut, calculez le courant de défaut I_d et la tension de contact U_c dans le cas de la boucle A, B, C, D, E, F, G. On prendra le cas d'un réseau $U' = 400$ V et l'impédance de la boucle de défaut $Z_s = 0,67 \Omega$.

6. Indiquez la valeur du temps de coupure d'un disjoncteur dans le cas d'une installation électrique alimentée en régime IT et un réseau 230/400 V, dans le cas où le neutre est distribué, et dans le cas où il n'est pas distribué.

7. Pour un départ en câble de 35 mm², d'une longueur de 125 m, vérifiez que la coupure sera bien réalisée au deuxième défaut, par un disjoncteur de type C, courant assigné 100 A, dans le cas d'une installation à neutre isolé (IT), alimentée en triphasé 400 V, avec une impédance de boucle de défaut de 0,345 ohm, et lorsque toutes les masses sont interconnectées.

Longueurs protégées par fusible

Tableaux des longueurs maximales (en mètres) des canalisations triphasées 230/400 V ou monophasées en schéma TN protégées contre les contacts indirects par des coupe-circuits à fusibles (section de la phase = section PE).

Tableau I : Fusibles gG

Section nominale des conducteurs (mm ²) cuivre	Courant assigné (en ampères)																		
	16	20	25	32	40	50	63	90	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000
1,5	35	31	23	18	15	11	9	7	5,5	4	3								
2,5	59	51	39	30	25	19	15	12	9	7	5,5	4	3						
4	95	82	62	49	40	30	25	19	15	11	9	7	5	4	3				
6	142	123	94	73	60	45	37	29	22	17	13	10	8	6	4,5	3			
10	237	206	156	122	100	75	62	49	37	29	22	17	13	9,5	8	5,5	4		
16	379	329	250	195	160	120	99	78	59	46	36	27	21	15	12	9	6	5	4
25	592	515	391	305	250	188	155	122	93	72	56	42	32	24	19	13	10	8	6
35	830	720	547	428	350	263	217	171	130	101	78	59	46	34	27	19	13	11	8,5
50	1185	1029	782	611	501	376	310	244	186	145	112	85	65	48	39	27	19	15	12
70	1660	1440	1095	855	702	526	434	342	260	203	156	119	91	67	55	38	27	22	17
95	2250	1955	1486	1161	953	714	590	464	354	275	212	161	124	92	74	52	37	30	23
120	2845	2470	1877	1466	1203	902	745	586	447	348	268	204	156	116	94	65	29	37	29
150			2127	1662	1364	1023	844	665	506	394	304	231	177	131	106	74	53	42	33
185				1809	1484	1113	919	723	551	429	331	251	193	143	116	80	57	46	36
240					1805	1354	1117	880	670	521	402	306	235	174	140	98	70	56	44
300						1579	1303	1027	782	608	469	357	274	203	164	114	82	66	51

Tableau II : Fusibles aM

Section nominale des conducteurs (mm ²) cuivre	Courant assigné (en ampères)																		
	16	20	25	32	40	50	63	90	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000
1,5	28	23	18	14	11	9	7	6	4,5										
2,5	47	38	30	24	19	15	12	9	7,5	6	5								
4	75	60	48	38	30	24	19	15	12	10	7,5	6	5						
6	113	90	72	56	45	36	29	22	18	14	11	9	7	6	4,5				
10	188	150	120	94	75	60	48	37	30	24	19	15	12	9,5	7,5	6	5		
16	300	240	192	150	120	96	76	59	48	38	30	24	19	15	12	10	7,5	6	
25	470	376	300	235	188	150	119	93	75	60	47	38	30	24	19	15	12	9,5	7,5
35	658	526	421	329	263	210	167	130	105	84	66	53	42	33	26	21	17	13	10
50	940	752	602	470	376	300	238	186	150	120	94	75	60	48	38	30	24	19	15
70	1316	1053	842	658	526	421	334	260	210	168	132	105	84	67	53	42	33	26	21
95	1780	1429	1143	893	714	572	453	354	286	229	179	143	114	91	71	57	45	36	29
120		1805	1444	1128	902	722	572	447	361	289	226	180	144	115	90	72	57	45	36
150			1636	1279	1023	818	649	506	409	327	256	205	164	130	102	82	65	51	41
185				1391	1113	890	706	551	445	356	278	223	178	141	111	89	70	56	45
240					1354	1083	858	670	541	433	338	271	217	172	135	108	86	68	54
300						1579	1264	1002	782	632	505	395	316	253	200	158	126	100	79

Longueurs protégées par disjoncteur

Tableaux des longueurs maximales des canalisations (en mètres) triphasées 230/400 V ou monophasées en schéma TN protégées contre les contacts indirects par disjoncteurs (section phase = section PE).

Tableau III : Disjoncteurs de type B

SPH mm ²	Courant assigné (A)														
	4	6	8	10	13	16	20	25	32	40	45	50	63	80	100
1,5	307	204	153	123	94	77	61	49	38	31	27	25	19	15	12
2,5	511	341	256	204	157	128	102	82	64	51	45	41	32	28	20
4	818	545	409	327	252	204	164	131	102	82	73	65	52	41	33
6		818	613	491	377	307	245	196	153	123	109	98	78	61	49
10			1022	818	629	511	409	327	256	204	182	164	130	102	82
16					1006	818	654	523	409	327	291	262	208	164	131
25							1022	818	639	511	454	409	325	258	204
35									894	716	636	572	454	358	288
50												777	617	485	388

Tableau IV : Disjoncteurs de type C

SPH mm ²	Courant assigné (A)														
	4	6	8	10	13	16	20	25	32	40	45	50	63	80	100
1,5	153	102	77	61	47	38	31	25	19	15	14	12	10	8	6
2,5	256	170	128	102	79	64	51	41	32	26	23	20	16	13	10
4	409	273	204	164	126	102	82	65	51	41	36	33	26	20	16
6	613	409	307	245	189	153	123	98	77	61	55	49	39	31	25
10	1022	681	511	409	315	256	204	164	128	102	91	82	65	51	41
16			818	654	503	409	327	262	204	164	145	131	104	82	65
25				1022	786	639	511	409	319	256	227	204	162	128	102
35						894	716	572	447	358	318	286	227	179	143
50								777	607	485	431	389	309	243	194

Tableau V : Disjoncteurs de type D ou MA

SPH mm ²	Courant assigné (A)																
	4	6	6,3	8	10	12,5	13	16	20	25	32	40	45	50	63	80	100
1,5	110	73	70	53	44	35	34	27	22	18	14	11	10	9	7	5	4
2,5	183	122	116	88	73	58	56	46	37	29	23	18	16	15	12	9	7
4	292	195	186	141	117	93	90	73	58	47	37	29	26	23	19	14	12
6	438	292	279	211	175	140	135	110	88	70	55	44	39	35	28	21	18
10	730	487	465	352	292	234	225	183	146	117	91	73	65	58	46	35	29
16		779	743	564	467	374	359	292	234	187	146	117	104	93	74	58	47
25				881	730	584	562	456	365	292	228	183	162	146	116	88	73
35					1022	818	786	639	511	409	319	258	227	204	162	123	102
50								867	692	558	432	347	308	277	220	174	139

Tableau VI : Disjoncteurs d'usage général

Section nominale des conducteurs (mm ²)	Courant de fonctionnement instantané ou court retard I _m (en ampères)																				
	50	63	80	100	125	160	200	250	320	400	500	560	630	700	800	875	1000	1120	1250	1600	2000
1,5	103	81	64	51	41	32	25	20	16	13	10	9	8	7	6	6	5				
2,5	171	136	107	85	66	53	42	34	26	21	17	15	13	12	10	10	8	8	7	5	
4	274	217	171	137	109	85	68	54	43	34	27	24	21	19	17	16	14	12	11	8	7
6	410	326	256	205	164	126	102	82	64	51	41	36	32	29	25	23	20	18	16	13	10
10			427	342	273	214	171	137	107	85	68	61	54	49	42	39	34	30	27	21	17
16					436	342	274	219	171	137	109	97	87	78	68	62	55	49	44	34	27
25						428	342	267	213	171	152	135	122	107	98	85	76	68	53	43	43
35							479	374	299	239	214	190	171	150	136	120	107	96	75	60	60
50									406	325	290	258	232	203	185	162	145	130	101	81	81
70										479	427	380	342	299	274	239	214	191	150	120	120
95													464	406	371	325	290	260	203	162	162
120															469	410	366	328	256	205	205

6

Appareillage de commande et de contrôle

La distribution d'énergie en haute tension, comme en basse tension, exige de répartir, de protéger, d'optimiser l'utilisation de l'énergie électrique. Pour assurer ces fonctions, il faut des appareils qui assurent le contrôle, la commande et la protection des circuits.

1 Classification de l'appareillage

L'appareillage électrique est l'ensemble du matériel situé entre le lieu de production de l'énergie et le point où elle est utilisée, à l'exception des canalisations électriques et des transformateurs.

L'appareillage électrique assure les fonctions de : sectionnement, commande, protection, mesure et contrôle, et réglage (**tableau 1**).

À chacune de ces fonctions correspondent des appareils qui sont assez différents selon la tension et l'intensité.

OBJECTIFS

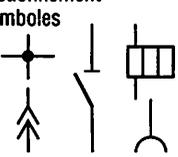
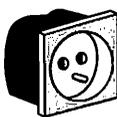
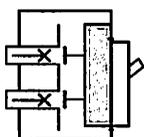
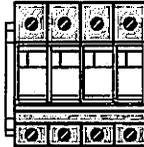
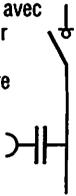
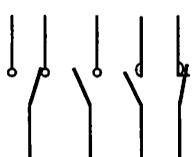
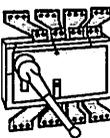
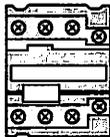
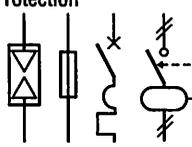
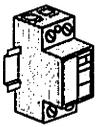
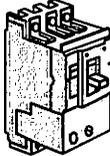
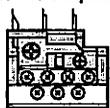
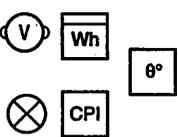
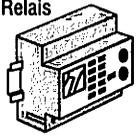
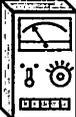
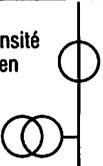
Un tableau de distribution BT constitue un équipement électrique, formé d'appareils de commande et de contrôle. L'électricien doit être capable :

- d'effectuer le montage et le raccordement de l'appareillage,
- de contrôler les valeurs, des prises de terre, et des résistances d'isolement et le $\cos \varphi$.

SAVOIR TECHNOLOGIQUE

S 1.3

Tableau 1 : Réalisation des fonctions de l'appareillage électrique.

Fonctions et symboles	Appareillage terminal	Appareils de distribution BT	Appareillage d'automatisme	Appareillage haute tension
Connection sectionnement Symboles 	Jonction - Boîte de dérivation  - Douilles - Prise de courant - Sectionneur à fusible	Appareils débrochables (en général disjoncteurs) 	Sectionneurs d'équipement 	Cellule d'arrivée avec inter-sectionneur et sectionneur de mise à la terre 
Commande 	- Interrupteurs lumière  Inverseur - Télérupteur - Boutons-poussoirs	Interrupteur ou interrupteur à fusibles 	Contacteurs tripolaires 	Cellule de commande de moteur HT avec sectionneur et contacteur en 7 ou 12 kV 
Protection 	- Fusible - Disjoncteurs modulaires 	Disjoncteur de 100 à 3 200 A 	Relais thermiques  Relais magnétique et magnéto-thermique	Cellule de protection par disjoncteur 400 à 1 250 A de 12 à 30 kV 
Contrôle Mesure 	Voyants - Relais Jour/Nuit  Relais, EJP, délestage	Mesure Tension - courant puissance $\cos \varphi$  Contrôle d'isolement relais spécialisés	Capteurs de position  Capteurs de grandeurs physiques	Mesure d'intensité et de tension en 12 à 20 kV 

2 Appareils de manœuvre et de coupure

Il s'agit principalement des interrupteurs, sectionneurs et contacteurs.

2.1. La fonction contact

a) Principe du contact électrique

Lorsque deux pièces métalliques conductrices sont en contact, le courant peut passer soit par conduction, soit par disruption (fig. 1).

Le contact peut être permanent (connexion fixe), semi-permanent (connexion démontable), temporaire (contact d'appareillage de coupure).

La fonction contact électrique est fondamentale dans tout l'appareillage et le matériel électrique, en particulier pour les interrupteurs et les contacteurs.

b) L'interrupteur électrique

C'est un appareil mécanique de connexion qui est capable d'établir ou d'interrompre un circuit électrique (fig. 2). Il possède deux positions de repos : l'ouverture et la fermeture. Le plus souvent, il est à commande manuelle.

Exemple (fig. 3) : Interrupteur interpack (Merlin Gerin), 100 A.

2.2. La fonction coupure de l'arc

À la séparation d'un contact électrique, il y a création d'un arc. Cet arc est dû à la présence d'un fort champ électrique qui se crée au moment de la séparation de deux pièces sous tension. La coupure d'un circuit est effective lorsque l'arc est coupé.

Le soufflage de l'arc peut s'effectuer selon plusieurs procédés.

a) Par auto-ventilation (fig. 4)

Chaque pôle de coupure est coiffé par un boîtier isolant en forme de cheminée. Lorsque l'arc jaillit, à cause de sa température, il échauffe l'air ambiant qui s'élève et s'échappe à la partie supérieure. De l'air frais revient à la partie inférieure et souffle l'arc.

b) Par fractionnement de l'arc (fig. 5)

L'intérieur de la cheminée est muni d'ailettes perpendiculaires à l'arc, qui provoquent son fractionnement, ce qui facilite la coupure de l'arc.

c) Soufflage magnétique (fig. 6)

Lorsque le contact mobile se sépare du contact fixe, la bobine est parcourue par le courant à couper. Elle crée un champ magnétique qui, selon la règle des trois doigts, provoque une force de bas en haut (F) sur le courant arc (I).

L'arc va s'élever d'autant plus vite que le courant à couper sera plus important. La cheminée de soufflage favorise le phénomène.

2.3. Notion d'isolement

Un appareillage électrique basse tension est prévu pour une tension d'isolement de 1 000 V en courant alternatif, ce qui correspond à des distances d'isolement et à des lignes de fuite entre les différentes polarités.

a) Tension d'isolement

C'est la valeur de la tension qui exprime les conditions d'essai et la tension limite d'utilisation.

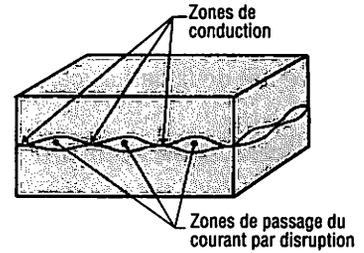


Fig. 1 : Contact électrique.

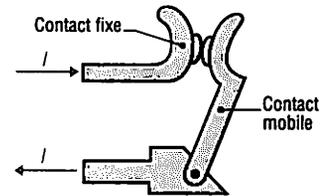


Fig. 2 : Contact électrique à pression d'un interrupteur de puissance en basse tension.

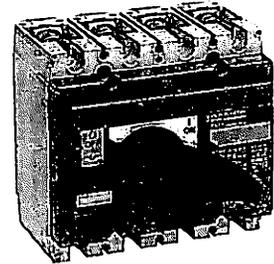


Fig. 3 : Interrupteur Interpack (Merlin Gerin).

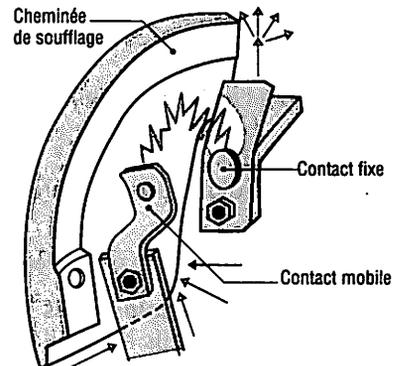


Fig. 4 : Soufflage par auto-ventilation.

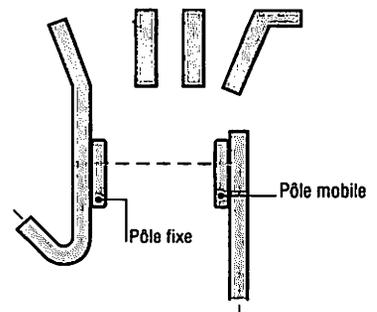


Fig. 5 : Soufflage par fractionnement de l'arc.

b) Ligne de fuite

C'est la distance la plus courte le long de la surface d'une matière isolante entre deux parties conductrices (fig. 7).

2.4. Pouvoir de coupure

Le pouvoir de coupure est la valeur du courant coupé par un appareil de commande ou de protection sous une tension donnée et dans les conditions d'emploi prescrites.

Le pouvoir de coupure s'exprime en kilo-ampère ou en volts-ampère.

Exemple : Pouvoir de coupure d'un disjoncteur : 15 kA.

2.5. Caractéristiques des appareils de coupure

Les contacteurs, interrupteurs, éventuellement les sectionneurs et les disjoncteurs qui sont munis de pôles de coupure, sont caractérisés par :

- la **tension assignée**, en liaison avec la tension d'isolement (par exemple 1 000 V) ;
- l'**intensité assignée** qui est l'intensité normale de fonctionnement (exemple 125 A) ;
- le **pouvoir de coupure** de l'appareil ;
- l'**endurance électrique et mécanique** (millions de manœuvres).

Ces caractéristiques sont communes à tous les appareils de manœuvre et de coupure.

Exemple (fig. 8) : Contacteur LC1 D115 Schneider Télémécanique.

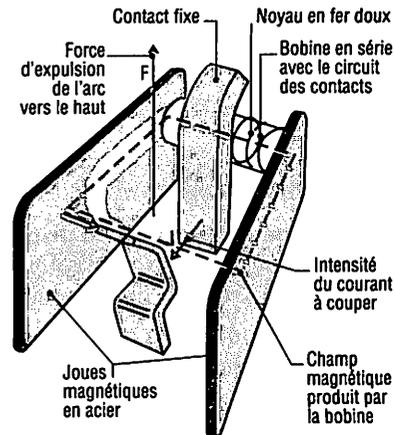


Fig. 6 : Soufflage magnétique.

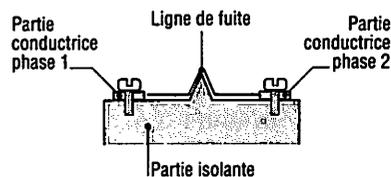


Fig. 7 : Ligne de fuite à la surface d'un isolant entre deux conducteurs.

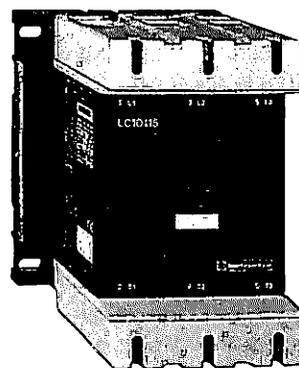


Fig. 8 : Contacteur tripolaire 115 A (Schneider TE).



Fig. 9 : Contrôleur universel (ITT Métrix).



Fig. 10 : Symbole d'appareils de mesure.

3 Appareils de mesure et contrôle

Afin de contrôler la conformité d'une installation avec le cahier des charges, ou en cas de dysfonctionnement, on est conduit à effectuer différentes mesures :

- tension à l'arrivée de l'installation ;
- courant absorbé sur chaque phase, puissance ;
- $\cos \varphi$ de l'installation ;
- résistance d'une prise de terre, résistance d'isolement.

3.1. Différents types de mesureurs

a) Les appareils analogiques

Ce sont des appareils à aiguille, ils sont caractérisés par leur principe de fonctionnement : magnéto-électrique ou à cadre mobile, ferromagnétiques, électrodynamiques.

b) Les appareils numériques

Ils ont un affichage digital et sont caractérisés par le nombre de points qu'ils peuvent afficher (5 000 à 20 000 points).

3.2. Mesure des tensions, intensités, résistances

On utilise des multimètres encore appelés contrôleurs universels (fig. 9), qui permettent de mesurer :

- des tensions en courant continu ou alternatif ;
- des intensités en courant continu ou en alternatif ;
- des résistances (symboles fig. 10).

Exemple : multimètre présentant les calibres :

- tension : 0,2 V - 2 V - 20 V - 200 V 1 000 V en CA et CC ;

- intensité : 2 mA, 20 mA, 200 mA, 2 A en CA et CC ;
- résistance : 200 Ω, 2 kΩ, 20 kΩ, 200 kΩ, 2 MΩ.

Remarque : La mesure de tension s'effectue entre 2 polarités (fig. 11). La mesure d'intensité s'effectue en série dans le circuit ou à l'aide de pinces ampèremétriques (fig. 12). La mesure de résistance nécessite une source d'alimentation (fig. 13).

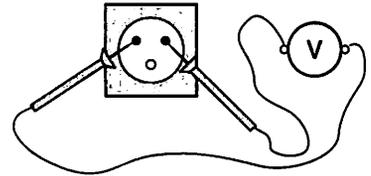


Fig. 11 : Mesure d'une tension.

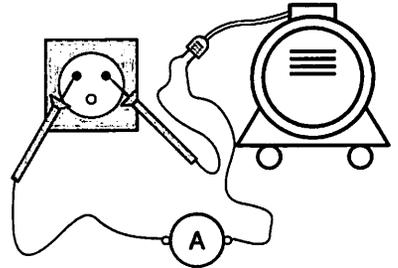


Fig. 12 : Mesure d'une intensité.

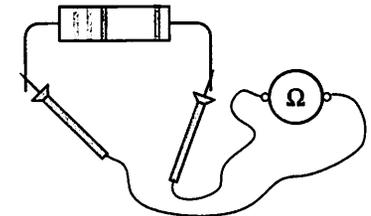


Fig. 13 : Mesure d'une résistance.

En savoir plus...

- Les multimètres peuvent recevoir des adaptateurs qui permettent d'effectuer des mesures :
 - de température (thermomètre) ;
 - de luminosité (luxmètre) ;
 - de fréquence (fréquence-mètre) ;
 - de capacité (capacimètre) ;
 - de bruit (sonomètre).
- Ils peuvent aussi être utilisés avec des sondes à effet Hall pour la mesure des intensités en courant continu.

3.3. Mesure de puissances et de $\cos \varphi$

a) Puissance

La mesure de puissance doit pouvoir être exécutée alors que l'installation est en fonctionnement normal. Les raccordements s'effectuent sur le circuit tension en triphasé et sur le circuit intensité au moyen de pinces ampèremétriques. La mesure peut s'effectuer soit par la méthode des deux wattmètres, soit sur une seule phase (fig. 14).

b) Facteur de puissance

La mesure du $\cos \varphi$ est analogue à une mesure de puissance, elle s'exécute avec un phasemètre.

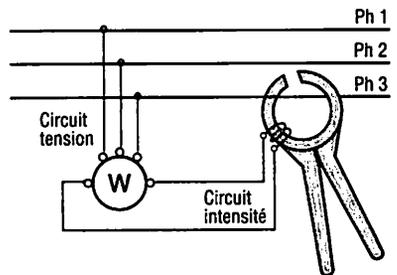


Fig. 14 : Mesure de puissance en triphasé.

3.4. Résistance d'isolement

Avant la mise sous tension d'une nouvelle installation, ou à la suite de défauts d'isolement, on est conduit à effectuer des mesures d'isolement.

a) Principe (fig. 15)

La mesure de résistance d'isolement s'effectue à l'aide d'un mégohmmètre dont la source de tension (500 V) est donnée soit par une magnéto, soit par une alimentation électronique à partir d'une pile.

b) Valeur de la résistance d'isolement

La résistance d'isolement d'une installation par rapport à la terre doit être au moins de 1 000 Ω par volt de tension assignée, sans être inférieure à 250 000 Ω sous une tension de 500 V.

c) Remarque importante

La mesure de la résistance d'isolement s'effectue sur l'installation électrique ; en cas de mesure entre phases, veillez à ce que tous les interrupteurs des appareils d'utilisation soient ouverts. Les récepteurs électroniques ne sont pas faits pour être soumis à une tension de 500 V.

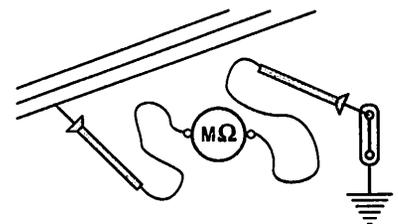


Fig. 15 : Mesure d'une résistance d'isolement d'une installation.

3.5. Mesure d'une résistance de terre

a) Principe

On utilise la méthode appelée « chute de potentiel ». À la prise de terre X, on associe deux électrodes auxiliaires Y et Z placées comme le

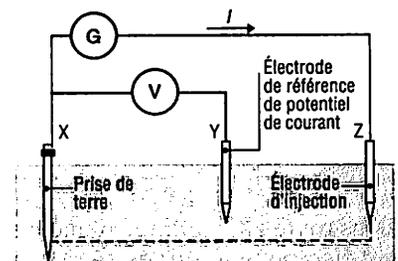


Fig. 16 : Principe du mesureur.

montre la **figure 16**. À l'aide d'un générateur G, on fait circuler un courant I dans le circuit Z, terre, X et on mesure la différence de potentiel V obtenue entre X et Y. La valeur de la résistance est donnée par la relation :

$$R_{(\Omega)} = \frac{I_{(A)}}{V_{(V)}} \quad R = \text{résistance de la prise de terre en ohms } (\Omega).$$

b) Mesureur de terre ou telluromètre (fig. 16 et 17).

C'est un appareil pour effectuer la mesure de la résistance de terre.

Le générateur G statique est alimenté par piles et fournit le courant de mesure I . Sa fréquence est comprise entre 85 et 250 Hz. La tension entre X et Y est comparée à une tension réglable prise entre le point A et le curseur R d'un potentiomètre alimenté par le transformateur T. La différence de ces tensions, après filtrage (élimination de 50 Hz) est appliquée à un amplificateur dont le signal de sortie est envoyé à un voltmètre à zéro central.

La mesure consiste à égaliser ces deux tensions par action sur le curseur R, de façon à amener l'aiguille du voltmètre à 0. La résistance mesurée X est lue sur le cadran du potentiomètre. Le transformateur comporte trois prises permettant d'obtenir trois calibres 10, 100, 1 000 ohms (fig. 18).

c) Distance entre les piquets

Les piquets X et Y doivent être assez éloignés de la prise de terre X, une distance de 10 à 20 m du piquet Z de X semble valable dans la plupart des cas. Le piquet Y de prise de potentiel étant placé à un point situé à 62 % de la distance entre X et Z (fig. 19).

4 Comptage de l'énergie

Les compteurs enregistrent la consommation d'énergie et permettent la facturation.

a) Principe de fonctionnement (fig. 20)

Les compteurs d'énergie fonctionnent sur le principe des moteurs d'induction, et comportent des enroulements parcourus par l'intensité I et par la tension U . Le nombre de tours d'un disque est proportionnel à l'énergie consommée dans le circuit.

b) Branchement d'un compteur triphasé (fig. 21)

L'énergie active et l'énergie réactive sont mesurées selon les mêmes principes que les mesures de puissances actives et réactives en triphasé. Pour les intensités supérieures à 64 A, on dispose de transformateurs d'intensité.

c) Alimentation en haute tension

Au-delà de 1 250 kVA de puissance installée, le comptage doit s'effectuer sur la haute tension. Dans ces conditions, des transformateurs de tension et de courant alimentent les compteurs d'énergie active et réactive ; le tableau de comptage prend en compte aussi les changements de tarifs en fonction des heures de la journée et des saisons (été-hiver).

5 Compensation du facteur de puissance

Dans toute alimentation d'une installation en courant alternatif, l'énergie électrique absorbée se décompose en énergie active (kWh) transformée en énergie mécanique, ou en chaleur, et en énergie réactive

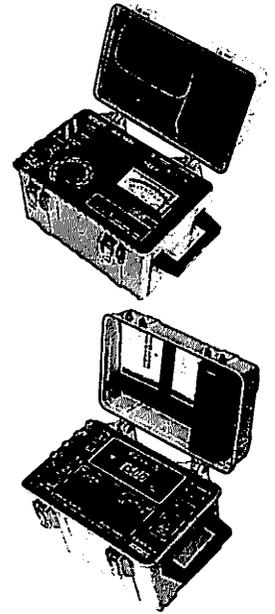


Fig. 17 : Appareils de mesure, résistance de terre/résistance d'isolement. (Chauvin-Arnoux)

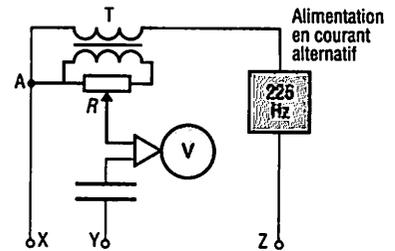


Fig. 18 : Mesure de terre.

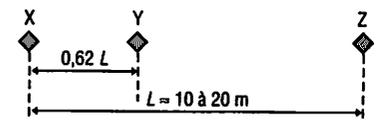


Fig. 19 : Disposition des piquets par rapport à la prise de terre.

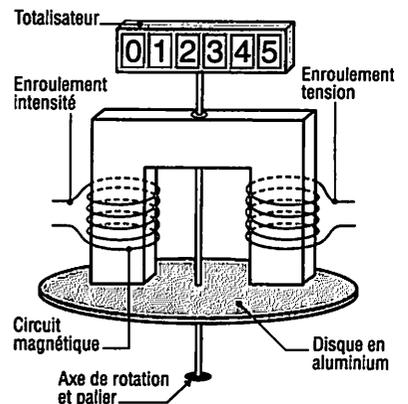


Fig. 20 : Disposition interne d'un compteur d'énergie.

(kVArh) nécessaire à l'excitation magnétique des récepteurs inductifs, transformateurs, moteurs, postes de soudure, etc.

5.1. Rappels d'électrotechnique

a) Facteur de puissance : $\cos \varphi$

C'est l'écart angulaire entre les vecteurs représentant la tension et l'intensité ; on le désigne par le cosinus de l'angle ($\cos \varphi$). Le $\cos \varphi$ est toujours compris entre 0 et 1 (fig. 22).

b) Puissances en triphasé

$$P = UI\sqrt{3} \cos \varphi$$

$$Q = UI\sqrt{3} \sin \varphi$$

On peut tracer le triangle des puissances (fig. 23) qui sont liées par la relation :

$$S^2 = P^2 + Q^2$$

5.2. Inconvénients d'un mauvais $\cos \varphi$

a) Augmentation de l'intensité en ligne (fig. 24)

Pour une même puissance transportée, le courant en ligne I_2 est plus important lorsque le $\cos \varphi$ est faible et il diminue lorsque le $\cos \varphi$ tend vers 1.

Exemple : pour transporter 20 kW avec $\cos \varphi = 1$, l'intensité en ligne est :

$$I_1 = \frac{P}{\sqrt{3} U \cos \varphi} = \frac{20\,000}{400 \times \sqrt{3} \times 1} = 28,86 \text{ A}$$

Pour transporter 20 kW avec $\cos \varphi = 0,5$, l'intensité sera de :

$$I_2 = \frac{20\,000}{400 \times \sqrt{3} \times 0,5} = 57,73 \text{ A}$$

Pour une même puissance utilisée, l'intensité en ligne a doublé.

b) Quelques valeurs de $\cos \varphi$ de récepteurs

Le tableau 2 indique des valeurs moyennes de $\cos \varphi$.

c) Facturation de l'énergie réactive

Pour les abonnés relevant du tarif jaune ou du tarif vert, lorsque l'énergie réactive consommée est trop importante, le distributeur facture la surconsommation d'énergie réactive.

Ce seuil correspond à $\tan \varphi = 0,4$ soit un $\cos \varphi = 0,93$.

$$\text{Si } \tan \varphi \geq 0,4 \text{ ou } \cos \varphi < 0,93 = \text{Pénalités}$$

5.3. Compensation du facteur de puissance

Pour relever le cosinus φ d'une installation à 0,93, on doit fournir de la puissance active au réseau à l'aide de condensateurs. Le calcul de la puissance réactive à installer s'effectue de deux façons.

a) À partir de la puissance électrique

Le calcul s'effectue en partant de la puissance active de l'installation et du facteur de puissance. On applique la formule suivante :

$$Q_c = P_a (\tan \varphi - \tan \varphi')$$

Q_c = puissance de la batterie de condensateurs à installer en kvar.

P_a = puissance de l'installation en kW.

$\tan \varphi$ = tangente de l'angle de déphasage de l'installation.

$\tan \varphi'$ = tangente de l'angle de déphasage après installation de la batterie de condensateurs.

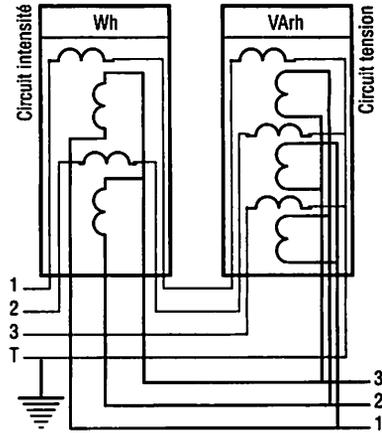


Fig. 21 : Schéma interne de compteurs d'énergie active et réactive alimentés par transformateurs d'intensité.

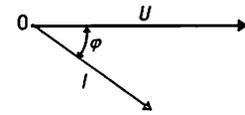


Fig. 22 : Déphasage entre tension et courant d'un angle φ .

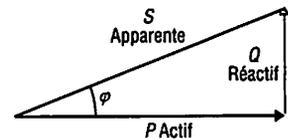


Fig. 23 : La somme vectorielle de P et Q donne la puissance apparente.

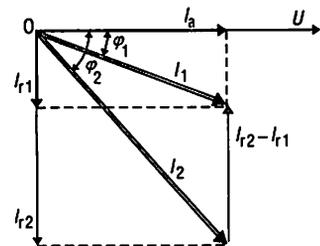


Fig. 24 : Composition des intensités actives (I_a) et réactives I_r .

Tableau 2 : Valeur moyenne du $\cos \varphi$.

Récepteurs	Cos φ
Éclairage incandescence	1
Éclairage fluorescence	0,55
Chauffage par résistance	1
Four à induction	0,85
Four à arc	0,80
Soudure à l'arc	0,50
Moteur asynchrone :	
- à vide	0,3
- en charge	0,85

On peut aussi utiliser le tableau 3 donnant le coefficient k en appliquant la relation :

$$Q_c = k P_a$$

Il suffit de connaître la $\tan \varphi$ ou le $\cos \varphi$ de l'installation existante et la $\tan \varphi'$ ou $\cos \varphi'$ que l'on veut obtenir, d'où k .

Tableau 3 : Détermination de la puissance réactive Q_c des condensateurs pour passer de $\tan \varphi$ à $\tan \varphi'$.

Avant compensation		Valeur de k pour relever le $\cos \varphi$ ou la $\tan \varphi$ à une valeur donnée						
$\tan \varphi$	$\cos \varphi$	$\tan \varphi'$	0,59	0,46	0,40	0,33	0,25	0,14
		$\cos \varphi'$	0,86	0,91	0,93	0,95	0,97	0,99
2,29	0,40		1,691	1,832	1,895	1,959	2,037	2,146
1,98	0,45		1,384	1,532	1,592	1,659	1,737	1,846
1,73	0,50		1,232	1,276	1,337	1,403	1,481	1,590
1,52	0,55		0,918	1,063	1,124	1,190	1,268	1,377
1,33	0,60		0,733	0,878	0,939	1,005	1,083	1,192
1,17	0,65		0,569	0,713	0,774	0,840	0,918	1,007
1,02	0,70		0,420	0,564	0,625	0,691	0,769	0,878
0,88	0,75		0,282	0,426	0,487	0,553	0,631	0,740
0,75	0,80		0,150	0,294	0,355	0,421	0,499	0,608
0,62	0,85		0,020	0,164	0,225	0,291	0,369	0,478
0,48	0,90			0,031	0,089	0,155	0,234	0,341

b) À partir de l'énergie réactive facturée

Connaissant l'énergie réactive R (kvar · h) facturée, et la durée de fonctionnement de l'installation, on obtient la puissance des condensateurs par la relation :

$$Q_c = \frac{R(\text{kvar} \cdot \text{h})}{t(\text{h})}$$

Q_c = puissance réactive de la batterie condensateurs en kvar.

R = énergie réactive facturée.

t = durée de fonctionnement de l'installation en heures.

6 Modes de compensation

a) Compensation globale

La batterie de condensateurs est installée au niveau du tableau général basse tension (fig. 25).

b) Compensation partielle

C'est une compensation par secteur, dans le cas où il existe plusieurs ateliers différents, les condensateurs seront installés dans les tableaux secondaires (fig. 26).

c) Compensation individuelle

Les condensateurs sont installés aux bornes des récepteurs tels que moteurs ou transformateurs dont la puissance est importante par rapport à la puissance totale.

d) Compensation automatique

Les condensateurs peuvent être branchés en permanence ou régulés dans le temps (fig. 27). On enclenche par paliers ou en gradins, différentes batteries de condensateurs pour compenser la baisse du $\cos \varphi$, le contrôle s'effectue par un relais de $\cos \varphi$.

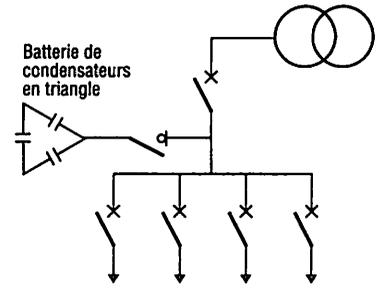


Fig. 25 : Condensateurs branchés au départ du tableau général BT (TGBT).

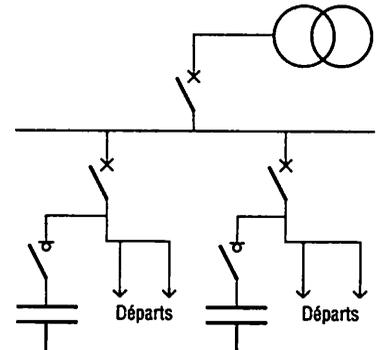


Fig. 26 : Compensation par secteur.

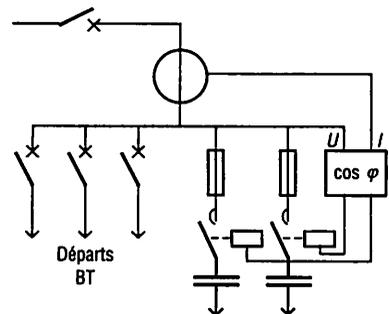


Fig. 27 : Ajustement de la puissance réactive fournie par relais de $\cos \varphi$ ou varemétrique à plusieurs paliers.

L'essentiel

■ L'appareillage électrique peut être classé par fonctions : connexion, sectionnement, commande, protection, mesure, réglage, ou par catégories d'utilisation : appareillage terminal, distribution BT, automatique, haute tension.

■ Les interrupteurs et contacteurs permettent de commander un circuit c'est-à-dire d'établir, d'interrompre et de supporter un courant dans les conditions normales ou de surcharge. Ils peuvent provoquer une coupure et sont munis de dispositifs de soufflage de l'arc électrique.

■ La conduite d'un réseau de distribution ou sa surveillance implique d'effectuer des mesures de tension, d'intensité, de puissance et d'énergie. À la mise en service ou périodiquement, on est conduit à effectuer des mesures de résistance d'isolement et de résistance de prise de terre. Dans le cas des mesures de tension, intensité, puissance, on effectue ces mesures lorsque le réseau est sous tension. Dans le cas des résistances de prises de terre et d'isolement, ces mesures doivent être effectuées avec le réseau hors tension.

■ Le facteur de puissance ($\cos \varphi$) d'une installation est lié à l'importance des récepteurs ayant une réactance de self (moteurs, inductances, transformateurs). Le distributeur d'énergie exige un $\cos \varphi$ de 0,93 ou une $\text{tg } \varphi$ de 0,4. Pour éviter un mauvais rendement de l'installation et des pénalités du distributeur, on compense la consommation d'énergie réactive en branchant des condensateurs sur l'installation électrique.



VRAI OU FAUX ?

Parmi les affirmations suivantes, indiquez celles qui sont vraies.

1. Une prise de courant est un appareil de connexion.
2. Un sectionneur est un appareil de protection.
3. Un disjoncteur est un appareil de contrôle.
4. La fonction commande peut être assurée par un contacteur.
5. La fonction protection peut être assurée par un fusible.
6. Dans un contact, le courant passe par disruption et par conduction.
7. Un arc électrique se produit au moment de la séparation de deux pièces sous tension.
8. Un champ magnétique peut déplacer un arc électrique.
9. Une ligne de fuite est une ligne électrique reliée à la terre.
10. Un appareil de mesure avec une aiguille est un appareil numérique.
11. Un mégohmmètre est un appareil de mesure de résistance du corps humain.
12. Une pince ampèremétrique fonctionne sur le principe d'un transformateur.
13. Un telluromètre est un appareil de mesure des circuits de télécommande.
14. Un compteur d'énergie fonctionne sur le principe d'un voltmètre.
15. Un mauvais $\cos \varphi$ (facteur de puissance) permet d'économiser de l'énergie.
16. Le mauvais $\cos \varphi$ est dû à la présence de résistances dans un circuit.
17. Pour relever le facteur de puissance ($\cos \varphi$) on utilise des condensateurs.
18. Pour ne pas avoir de pénalités, le $\cos \varphi$ doit être supérieur à 0,86.
19. Un poste de soudure à l'arc a un très bon $\cos \varphi$.
20. Un moteur asynchrone a un mauvais $\cos \varphi$.

RÉSOLUS

1. Vous relevez sur un tableau général de distribution BT (TGBT) les valeurs suivantes données par les appareils de mesure (Transfo 400 kVA).

Tension entre phases 400 V, intensité par phase 510 A.
Cos $\varphi = 0,87$.

Calculez la puissance active et la puissance réactive.

Solution :

$$P_w = UI\sqrt{3} \cos \varphi = 400 \times 510 \times 1,73 \times 0,85 = 299\,982 \text{ W}$$

d'où : $P = 300 \text{ kW}$

$$\text{Puissance réactive : } Q = UI\sqrt{3} \sin \varphi$$

À cos $\varphi = 0,85$ correspond un sin $\varphi = 0,52$

$$Q = 400 \times 510 \times 1,73 \times 0,52 = 183\,518 \text{ soit : } 183,5 \text{ kvar.}$$

2. Étant donné les valeurs relevées de l'exercice précédent, on vous demande d'indiquer quelle serait la puis-

sance de la batterie de condensateurs à installer pour obtenir un cos φ de l'installation de 0,93.

Solution : Le cos φ actuel étant de 0,85 pour parvenir à un cos φ de 0,93 on détermine à l'aide du tableau 3 p. 52 la valeur de cos $\varphi = 0,85$, cos $\varphi' = 0,93$ d'où : $k = 0,225$.

La puissance de la batterie de condensateurs sera de :

$$Q = kP_o = 0,225 \times 300 = 67,5 \text{ kvar.}$$

3. On a relevé sur les factures des 6 derniers mois d'une entreprise, une moyenne d'énergie réactive de 27 580 kvarh. Sachant que cette entreprise fonctionne 176 h par mois, calculez la puissance de la batterie de condensateurs à installer.

Solution : La puissance de la batterie de condensateurs à installer est donnée par la relation :

$$Q_c = R (\text{kvarh})/t (\text{heures}) = 27\,580/176 = 160 \text{ kvar.}$$

À RÉSOUDRE

1. Vous relevez sur les appareils de mesure d'un tableau TGBT les valeurs suivantes : tension 390 V, intensité 850 A, cos $\varphi = 0,83$.

Sachant que le transformateur a une puissance de 630 kVA, calculez la puissance absorbée et précisez si elle est correcte.

2. Avec les données de l'exercice précédent, calculez la puissance réactive absorbée par l'installation sachant qu'à cos $\varphi = 0,83$ correspond sin $\varphi = 0,54$.

3. On souhaite relever la valeur de cos $\varphi = 0,83$ à une valeur de 0,928 pour une puissance active de 520 kW ; déterminez la puissance de la batterie de condensateurs à installer.

4. Une installation présente un cos φ de 0,70 ; on souhaite obtenir un tan φ de 0,4 (cos $\varphi = 0,93$). Déterminez le coefficient k , et la puissance de la batterie de condensateurs, sachant que la puissance active de l'installation est de 250 kW.

5. On a relevé sur les factures des 6 derniers mois d'une entreprise, une moyenne d'énergie réactive de 18 400 kvarh. Sachant que cette entreprise fonctionne 157 h par mois, calculez la puissance de la batterie de condensateurs à installer.

6. Un moteur électrique a une puissance nominale de 180 kW, cos φ de 0,8, tan $\varphi = 0,75$. Calculez la puissance réactive des condensateurs à installer pour obtenir un tan φ de 0,4.

7. On vous demande de contrôler une résistance de prise de terre et vous mesurez une valeur de 22 Ω . Sachant que l'installation comporte un disjoncteur différentiel de sensibilité 650 mA, cette valeur de résistance convient-elle si on exige une tension de sécurité de 24 V ?

8. Vous faites des mesures de résistances d'isolement sur une installation et vous trouvez les valeurs suivantes :

- phase 1 - Terre : 450 000 Ω
- phase 2 - Terre : 520 000 Ω
- phase 3 - Terre : 15 000 Ω

À votre avis, que se produit-il sur l'installation ?

7

Protection des installations

Les principales perturbations sur les installations ont été analysées précédemment (Tome 1, ch. 10). Nous nous proposons d'étudier plus en détail les **surintensités**, que ce soient des **surcharges** ou des **courts-circuits**.

La protection s'applique à des lignes de distribution d'énergie, et nous serons conduits à déterminer la section des conducteurs de la ligne pour assurer une protection.

1 Protection contre les surcharges

On appelle surcharge une augmentation faible de l'intensité, au-delà de 20 à 30 % de l'intensité nominale, et cela pendant une durée très longue de plusieurs minutes.

1.1. Règles de protection contre les surcharges

Ces règles assurent la coordination entre les sections des conducteurs et les dispositifs de protection par fusibles ou par disjoncteurs.

a) Protection par fusibles (fig. 1)

La norme C 15-100 précise deux conditions à respecter.

1^{re} condition : $I_B \leq I_n$

2^e condition : $I_2 \leq 1,45 I_2$ ou $I_n \leq \frac{I_2}{k_3}$

I_B = courant d'emploi ; fonction de récepteurs alimentés ;

I_n = courant assigné du dispositif de protection (fusible) ;

I_2 = courant de fonctionnement du fusible dans le temps conventionnel (courbe de fusion) ;

I_2 = courant admissible dans la canalisation, fonction de sa section et du mode de pose ;

k_3 = rapport entre le courant I_2 assurant effectivement le fonctionnement du fusible et le courant nominal I_n (voir **tableau 1**).

Exemple :

Une partie d'installation nécessite un courant d'emploi $I_B = 90$ A. Il faudra un fusible de $I_n = 100$ A, qui peut protéger une section de 35 mm^2 . Par ailleurs, nous savons qu'à une section de 25 mm^2 correspond un I_2 de 110 A. Les règles sont respectées.

$I_B \leq I_n$ donne : $90 < 100$

$I_n \leq \frac{I_2}{k_3}$ donne : $100 \leq \frac{110}{1,10}$ soit $100 \leq 100$

OBJECTIFS

Dans le cas où un défaut survient dans une installation électrique, il faut que les appareils de protection coupent la partie de l'installation défectueuse.

Il faut être capable de :

- rechercher la cause du dysfonctionnement ;
- contrôler la sélectivité des appareils et éventuellement remplacer l'organe, ou l'appareil défectueux pour éliminer le défaut.

SAVOIRS TECHNOLOGIQUES

S 1.2 et S 3.1

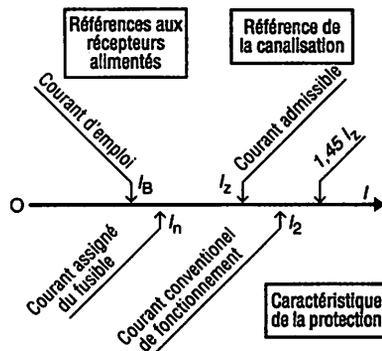


Fig. 1 : Protection par fusible.

Tableau 1 : Valeurs de k_3 pour les fusibles gG.

I_n	k_3
≤ 10 A	1,31
$10 < I_n \leq 25$ A	1,21
$I_n > 25$ A	1,10

b) Protection par disjoncteur (fig. 2)

Les conditions de la norme C 15-100 sont plus simples.

$$I_B \leq I_n \quad I_n \leq I_z$$

- I_B = courant d'emploi ;
- I_n = courant assigné du dispositif de protection du disjoncteur ;
- I_z = courant admissible dans la canalisation ;
- I_r = courant de réglage du disjoncteur.

En ce qui concerne les disjoncteurs, on considère deux catégories :

- les petits disjoncteurs divisionnaires (Dd) ;
- les disjoncteurs pour usage général (Dg) pour lesquels I_n est remplacé par I_r dans les relations ci-dessus. Les disjoncteurs d'usage général commencent à $I_n = 125$ A (fig. 3).

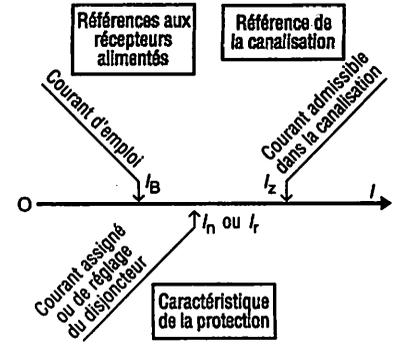


Fig. 2 : Protection par disjoncteur.

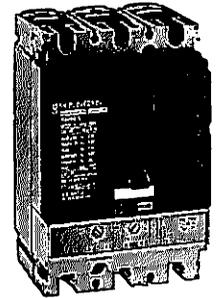


Fig. 3 : Disjoncteur compact NS 250 L (Merlin Gerin).

1.2. Application des règles

Afin de pouvoir appliquer les règles précédentes il nous faut connaître les différents paramètres suivants :

- I_B = le courant d'emploi est fonction des récepteurs à alimenter par la distribution (voir paragraphe 2) ;
- I_z = le courant admissible dans une canalisation dépend de la section des conducteurs, de la composition de la canalisation et des modes de pose (voir calcul de section paragraphe 4, chap. 8) ;
- I_n, I_r, I_z : intensités liées aux dispositifs de protection qui peuvent être des fusibles ou des disjoncteurs (voir fiches de documentation).

2 Courant d'emploi I_B

Le courant d'emploi des récepteurs est :

- soit fourni directement par le constructeur ;
- soit calculé à partir de la puissance nominale et de la tension.

2.1. Cas général

Le courant d'emploi est le courant correspondant à la plus grande puissance transportée en service normal.

En monophasé : $I_B \leq \frac{P}{U \cos \varphi}$ En triphasé : $I_B \leq \frac{P}{U \sqrt{3} \cos \varphi}$

- U = tension entre conducteurs actifs (230 ou 400 V) ;
- P = puissance transportée en watt ;
- I_B = courant d'emploi en ampère.

2.2. Cas de l'éclairage

- Éclairage à incandescence : $\cos \varphi = 1$.
- Éclairage par fluorescence non compensé : $\cos \varphi = 0,6$.
- Éclairage par fluorescence compensé : $\cos \varphi = 0,86$.

2.3. Moteurs

Le courant d'emploi est fonction de la puissance et du rendement.

Le **tableau 2** donne les valeurs de $\cos \varphi$ et du rendement en fonction de la puissance des moteurs.

Tableau 2 : $\cos \varphi$ et rendement des moteurs.

Puissance des moteurs	$\cos \varphi$	Rendement R
Jusqu'à 600 W	0,5	-
De 1 à 3 kW	0,7	0,7
De 4 à 40 kW	0,8	0,8
Plus de 50 kW	0,9	0,9

2.4. Facteurs de correction

Selon les applications, on corrige le courant d'emploi I_b théorique par des facteurs de correction.

a) Facteur d'utilisation : K_1

Dans une installation industrielle, ce facteur peut varier entre 0,3 et 0,9. En l'absence de précision, on adopte un facteur de 0,75 pour les moteurs, et de 1 pour l'éclairage et le chauffage par résistance.

b) Facteur de simultanéité : K_2

Selon les conditions d'exploitation, tous les appareils ne fonctionnent pas simultanément (voir *tableau 3*).

c) Facteur de prévision d'extension : K_3

Selon les conditions prévisibles d'évolution de l'installation, on recommande une valeur de 1 à 1,2 du facteur d'extension.

Tableau 3 : Facteur de simultanéité K_2

Utilisation	K_2
Éclairage	1
Chauffage	1
Prises de courant	0,1 à 0,2
Ascenseurs. Monte-charge	
– le moteur le plus puissant	1
– le moteur suivant	0,75
– les autres moteurs	0,60

2.5. Intensité admissible retenue

La valeur calculée par la formule de la puissance est corrigée par des valeurs des coefficients.

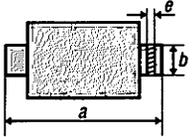
$$I_b = I_b \text{ théorique} \times K_1 \times K_2 \times K_3$$

3 Fusibles

3.1. Constitution

Les cartouches cylindriques existent jusqu'à 125 A (étudiées dans le tome 1). Au-delà de ce calibre, on emploie des cartouches à couteau (*fig. 4*) qui peuvent comporter ou non un témoin percuteur en cas de fusion du fusible. Ces cartouches sont montées sur des socles qui sont munis de contacts à mâchoires (*fig. 5* et *tableau 4*).

Tableau 4 : Calibre et dimensions des cartouches fusibles.

Cartouche à couteaux	Taille	Socle	Calibre * (A)	a	b	e
	00	100 A	10 à 160 A	75	15	6
	0		40 à 200 A	125	15	6
	1		80 à 250 A	135	21	6
	2		125 à 400 A	150	28	6
	3		500-630 A	150	36	6
	4		630 à 1 250 A	200	60	8

* Calibres : 10 - 16 - 25 - 32 - 35 - 40 - 50 - 63 - 80 - 100 - 125 - 160 - 200 - 250 - 315 - 355 - 400 - 500 - 500 - 630 - 800 - 1 000 - 1 250.

3.2. Caractéristiques

- **Tension nominale ou assignée** : 250 - 400 - 500 ou 600 V ;
- **courant nominal ou assigné** ; c'est le calibre du fusible ;
- **pouvoir de coupure** : c'est le courant nominal qu'un fusible peut couper en cas de court-circuit, par exemple 100 kA ;
- **courant de fusion** : c'est la valeur du courant qui provoque la fusion du fusible avant la fin du temps conventionnel ;
- **classe des fusibles** : on retient les classes : gG, aM.

3.3. Choix d'un fusible

En fonction de l'utilisation du fusible, on le choisira de classe gG ou aM. Le calibre est fonction des règles de protection : $I_b < I_n < I_z$.

Enfin, il faut préciser sa forme (*fig. 5*) et ses dimensions.

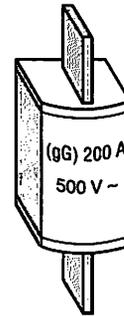


Fig. 4 : Cartouche à couteaux de fusible industriel.

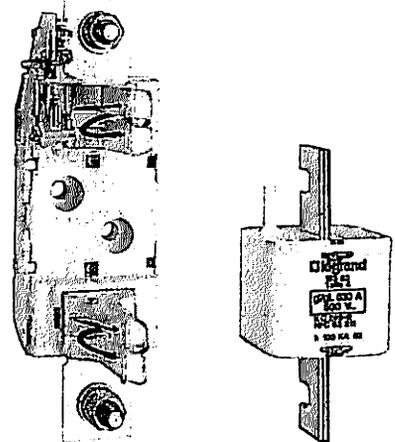


Fig. 5 : Support et cartouche fusible à couteaux.

Exemple de désignation : cartouche fusible à couteaux type aM calibre 160 A, 500 V taille 1 (Legrand).

3.4. Courbes de fusion

Elles donnent le temps de fusion en fonction de l'intensité qui parcourt le fusible au moment du défaut dans un circuit. Elles sont différentes pour les fusibles gG et aM (fig. 6 et 7).

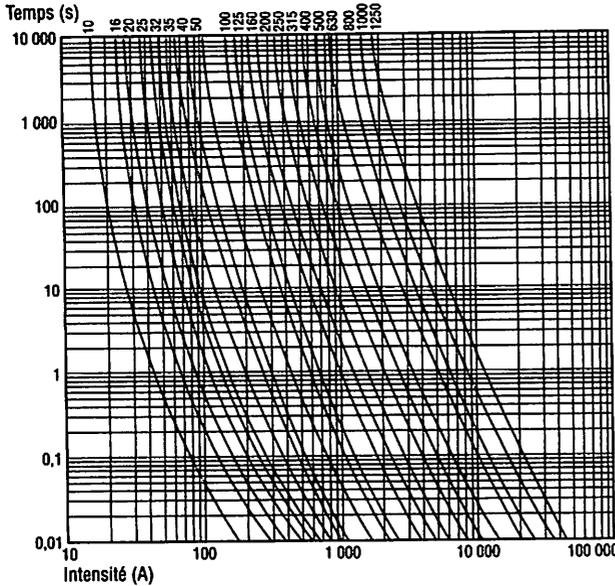


Fig. 6 : Courbes de fusion des cartouches type gG (Legrand).

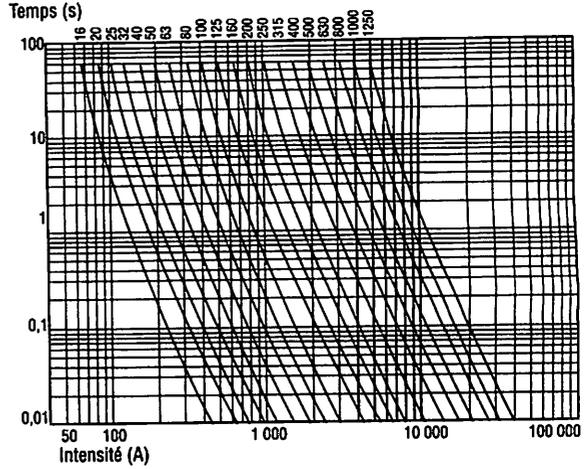


Fig. 7 : Courbes de fusion des cartouches type aM (Legrand).

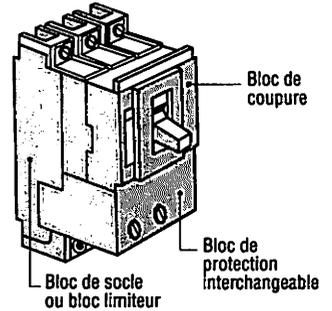


Fig. 8 : Disjoncteur de distribution formé de blocs fonctionnels.

4 Disjoncteurs

4.1. Rappels

Les disjoncteurs de distribution ont été étudiés en BEP 1 (chap. 10). Nous nous proposons de compléter cette étude.

4.2. Construction (fig. 8)

Les disjoncteurs sont compensés d'un certain nombre de blocs fonctionnels réalisés dans les boîtiers isolants moulés :

- bloc de coupure qui comporte 2, 3 ou 4 pôles ;
- bloc de protection contre les surcharges, les courts-circuits, la protection différentielle, temporisée ou non ;
- bloc limiteur permettant d'augmenter le pouvoir de coupure ;
- bloc de télécommande adaptable pour la commande à distance ;
- contacts auxiliaires encliquetables pour le contrôle, la signalisation.

4.3. Courbes de déclenchement (fig. 9)

Elles indiquent l'intensité de déclenchement du disjoncteur en fonction du temps. Pour les disjoncteurs d'usage général, cette intensité est réglable (fig. 9) ; pour les disjoncteurs de distribution terminale, on a différentes courbes B, C, D...

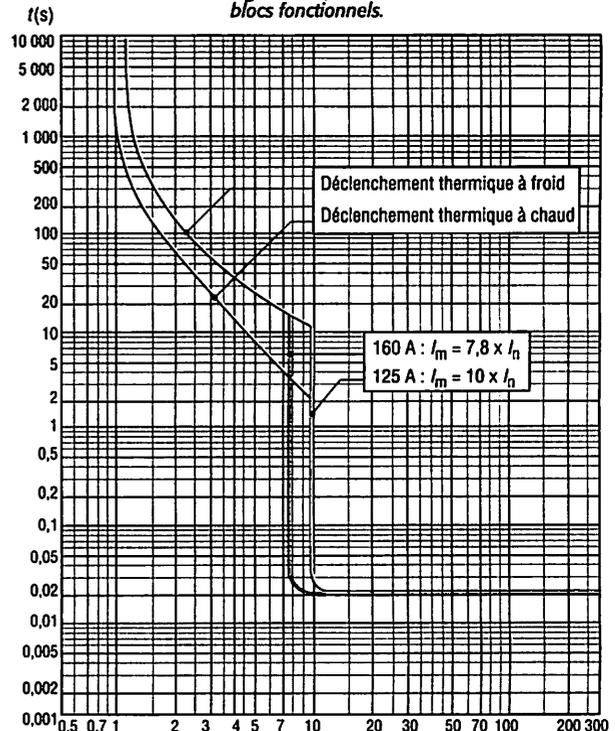


Fig. 9 : Courbes de déclenchement des disjoncteurs d'usage général. Calibres 125 et 160 A (Merlin Gerin) ; $I_m = 1$; déclenchement magnétique.

a) Courbe B (remplace la courbe L) (fig. 10)

Elle est adaptée à la protection des personnes dans les régimes IT et TN. Plage de réglage de 3 à 5 I_n .

b) Courbe C (remplace la courbe U) (fig. 11)

Courbe pour les utilisations courantes : domestique, tertiaire et industrielle. Plage de réglage de 5 à 10 I_n .

c) Courbe D (fig. 12)

Elle autorise les forts courants d'appel de récepteurs tels que moteurs ou transformateurs (plage de 10 à 20 I_n).

Courbe B

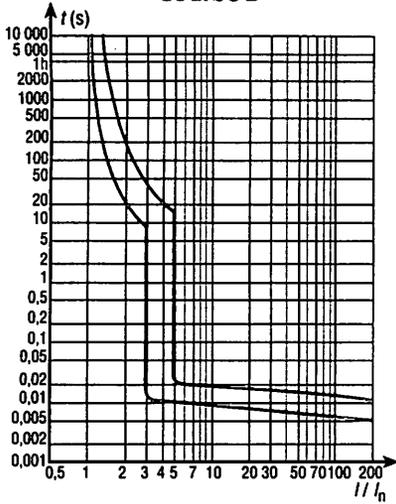


Fig. 10 : Courbe B : $3 I_n < I_m \leq 5 I_n$ (remplace la courbe L).

Courbe C

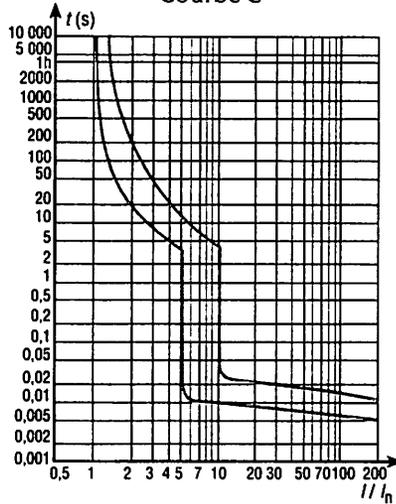


Fig. 11 : Courbe C : $5 I_n < I_m \leq 10 I_n$ (remplace la courbe U).

Courbe D

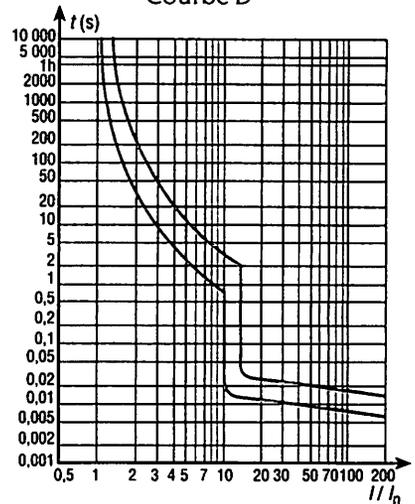


Fig. 12 : Courbe D : $10 I_n < I_m \leq 14 I_n$

4.4. Différents types de disjoncteurs

Selon leur niveau de performance, en particulier le pouvoir de coupure, les constructeurs présentent différents appareils.

Exemple : disjoncteur 125 N, ou 125 H, ou 125 L de Merlin-Gérin. N, normale ; H, pouvoir de coupure renforcé ; L, limiteur.

Le limiteur permet, dès que le court-circuit commence à se produire, d'ouvrir un contact en série avec le contact principal, qui limite le courant de court-circuit (fig. 13). Il a un très haut pouvoir de coupure.

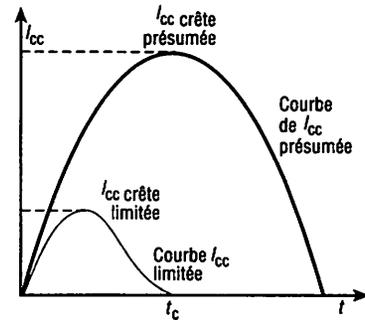


Fig. 13 : Courant présumé et courant limité réel.

5) Choix d'une protection contre les surcharges

Le guide pratique UTE C 15-105 donne une méthode pour la détermination des sections de conducteurs et le choix des dispositifs de protection.

Cette méthode est possible aux conditions suivantes :

- l'installation est alimenté en monophasé 230 V ou en triphasé 230/400 volts ;
- pour chaque valeur de courant, une section de conducteur usuelle est adoptée ;
- la température ambiante ne dépasse pas 30 °C ;
- les modes de pose correspondent aux méthodes de référence B, C, E et F (tableau 5).

Tableau 5 : Correspondance entre méthode de référence et mode de pose.

Méthode de référence	Mode de pose (cde)
B	1 à 5 21 à 51 71 à 74
C	11-12-18 52-53
D	61 à 63
E, F	13 à 17

Dans le **tableau I** (p. 63), pour chaque méthode de référence est indiquée la nature de l'isolant (PVC ou PR), ainsi que le nombre de conducteurs actifs (2 ou 3), ce qui détermine un coefficient de 1 à 9. Le **tableau II** (p. 63) donne les valeurs de courant admissible (I_2) ou de réglage des disjoncteurs d'usage général, ainsi que les courants assignés des fusibles gG et des petits disjoncteurs.

6 Sélectivité des protections

La sélectivité des protections doit améliorer la **continuité du service**, elle peut être réalisée sous plusieurs formes.

Dans une installation électrique comportant plusieurs niveaux de protection, il faut qu'en cas de défaut sur un départ, seul ce départ soit coupé sans qu'il y ait mise hors circuit de toute l'installation (**fig. 14**). Dans ce cas, on dit que la **sélectivité est totale**. Dans le cas d'un fort courant de court-circuit, les deux protections peuvent fonctionner simultanément, la **sélectivité est partielle**.

6.1. Sélectivité ampèremétrique (fig. 14)

Lorsque deux appareils de protection sont placés à des niveaux différents, le réglage des relais de protection doit être tel que les seuils de réglage en intensité ne se recouvrent pas.

6.2. Sélectivité chronométrique (fig. 15)

On retarde le déclenchement des disjoncteurs du niveau le plus bas (temporisation nulle) au niveau le plus haut (temporisation maxi).

7 Coordination des protections

Elle a pour but de coordonner les protections contre les surcharges, les courts-circuits, et les contacts indirects qui peuvent être associés à des interrupteurs, des contacteurs, des disjoncteurs.

7.1. Coordination fusible-disjoncteur (fig. 16)

Si sur un départ, on risque d'avoir un très fort courant de court-circuit, on place un fusible en amont du disjoncteur. Le fusible peut être commun à plusieurs départs.

7.2. Coordination fusible ou disjoncteur-contacteur (fig. 17)

Les contacteurs ou interrupteurs ont un pouvoir de coupure de 6 à 20 fois l'intensité nominale, il faut donc les protéger en cas de défaut de court-circuit. La protection contre les surcharges est assurée par le relais thermique, la protection contre les courts-circuits est assurée par le fusible ou le disjoncteur en série avec le contacteur.

7.3. Coordination avec un interrupteur différentiel

Dans les régimes de neutre TT ou IT, on peut être amené à prévoir une protection par interrupteur différentiel (contacts indirects). Dans ce cas, la protection contre les surcharges et les courts-circuits doit être assurée par des fusibles, ou un disjoncteur placé en amont.

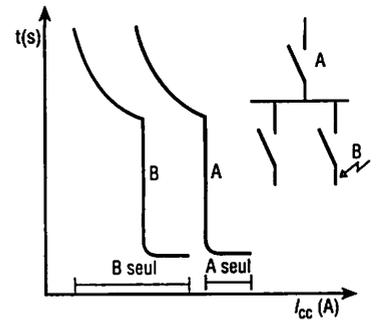


Fig. 14 : Sélectivité ampèremétrique.

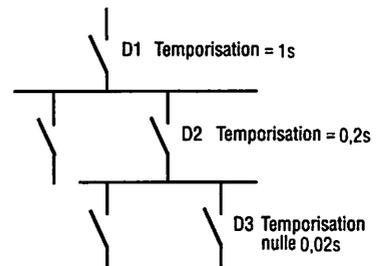


Fig. 15 : Sélectivité chronométrique.

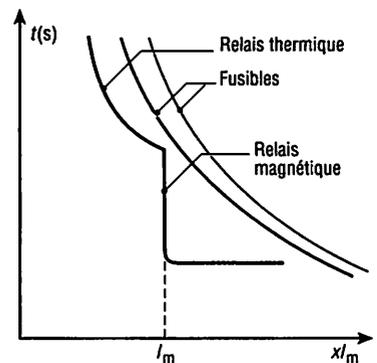


Fig. 16 : Coordination fusible disjoncteur.

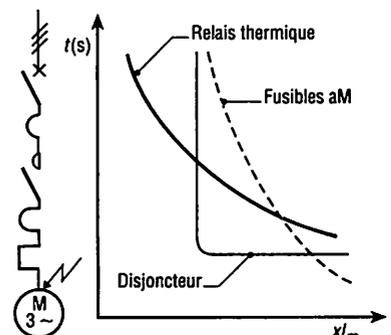


Fig. 17 : Coordination fusible ou disjoncteur et contacteur.

L'essentiel

■ La protection contre les surcharges ou les courts-circuits s'effectue avec les fusibles ou les disjoncteurs. Les règles générales de protections contre les surcharges sont :

$$I_B \leq I_n \quad \text{et} \quad I_B \leq I_2 ; \quad I_{cc} < \text{pouvoir de coupure (A)}$$



■ Les fusibles sont répartis en deux classes : aM (accompagnement moteur) et gG (usage général). Ils sont caractérisés par leur calibre, leurs dimensions, leur forme.

Les disjoncteurs sont caractérisés par leur calibre, leur pouvoir de coupure, et les relais de protection (thermique et magnétique). On distingue plusieurs courbes de déclenchement B, C (usage courant), D (fort courant d'appel) jusqu'à 100 A. Au-delà, les constructeurs définissent les courbes de déclenchement en fonction de la protection à assurer.

■ Le choix d'une protection contre les surcharges dans tous les cas usuels, peut être réalisé directement en fonction du courant d'emploi I_b par la méthode simplifiée.

■ On distingue plusieurs formes de sélectivité de protection : la sélectivité ampèremétrique, la sélectivité chronométrique.

La coordination des protections permet d'assurer la protection de l'appareillage de commande contre les courts-circuits, la filiation la complète.

VRAI OU FAUX ?

Parmi les affirmations suivantes, indiquez celles qui sont vraies.

1. Le courant d'emploi est représenté par I_b .
2. Le courant assigné de la protection est désigné par I_a .
3. I_2 désigne le courant de fonctionnement d'un fusible.
4. Le courant I_b doit être supérieur au courant assigné de la protection.
5. Le courant admissible dans une canalisation I_2 doit être supérieur au courant I_b .
6. On désigne par I_r le courant de réglage d'un disjoncteur.
7. Le courant de fonctionnement d'un fusible I_2 est égal au courant nominal I_n de ce fusible.
8. Le courant d'emploi est calculé à partir de la puissance des récepteurs.
9. Le courant d'emploi est diminué par l'application du rendement des récepteurs.
10. Le facteur de puissance d'un éclairage par fluorescence est de 1.

11. Le calibre d'un fusible correspond à son courant nominal ou assigné.

12. Une cartouche fusibles de type aM est destinée à protéger l'appareillage de mesure.

13. La courbe de fusion d'un fusible indique le temps de fusion en fonction du courant au moment du défaut.

14. La courbe B permet une plage de réglage de 10 à 20 I_n .

15. La courbe C permet une plage de réglage de 5 à 10 I_n .

16. À chaque section de conducteur correspond une intensité nominale de protection de la ligne.

17. La sélectivité des protections permet d'assurer la continuité du service.

18. Lorsqu'une protection amont fonctionne en même temps qu'une protection aval, on dit que la sélectivité est totale.

19. La sélectivité chronométrique est basée sur le retard au déclenchement de la protection amont par rapport à la protection aval.

20. La coordination des protections a pour but d'associer les fusibles ou disjoncteurs aux contacteurs et interrupteurs.

RÉSOLUS

1. Étant donné le schéma de l'installation de distribution d'une entreprise donné ci-dessous, calculez l'intensité absorbée par le moteur M1, courant d'emploi I_b .

Solution :

$$\text{Courant } I_b \text{ du moteur M1 : } I_b = \frac{P}{U \sqrt{3} \cos \varphi \times R}$$

$$I_b = \frac{75 \times 10^3}{400 \times \sqrt{3} \times 0,8 \times 0,85} = \frac{75\,000}{471,1} = 159,2 \text{ A}$$

2. Ce moteur est alimenté par un câble en cuivre PR avec 3 conducteurs actifs. Déterminez le calibre du disjoncteur et son type.

Solution : Le disjoncteur doit avoir un calibre supérieur au courant d'emploi I_b ; dans notre cas : $I_b = 160 \text{ A}$.

Le tableau de la page 63 indique pour la méthode simplifiée, l'emploi possible d'un disjoncteur Dg (usage général). Le courant d'emploi étant de 160 A, on pourra prendre un disjoncteur de calibre 160 A.

3. Le moteur de l'exercice 1 est alimenté par un câble en cuivre isolé au PRC avec 3 conducteurs actifs, la protection est assurée par des fusibles. Indiquez le calibre et le type de fusible ainsi que la section du câble.

Solution : Les fusibles de type gG auront un calibre de 160 A. Par la méthode simplifiée, la section du câble sera de 70 mm². On préférera des fusibles type aM, étant donné que la ligne alimente un moteur.

À RÉSOUDRE

1. Étant donné l'exemple d'installation (schéma ci-dessous), calculez le courant d'emploi pour les 20 luminaires par phase I_b .

2. Ayant déterminé le courant d'emploi I_b pour le circuit d'éclairage (exercice précédent), indiquez le calibre du disjoncteur D3 et la section de la ligne (câble C3).

3. Calculez le courant d'emploi du circuit du moteur M3 (schéma ci-dessous) et déterminez le calibre et la référence du fusible de protection de la ligne d'alimentation de ce moteur.

4. On décide de protéger la ligne d'alimentation du moteur M3 de l'exercice précédent par un disjoncteur ;

indiquez le calibre du disjoncteur et la section de la ligne correspondante.

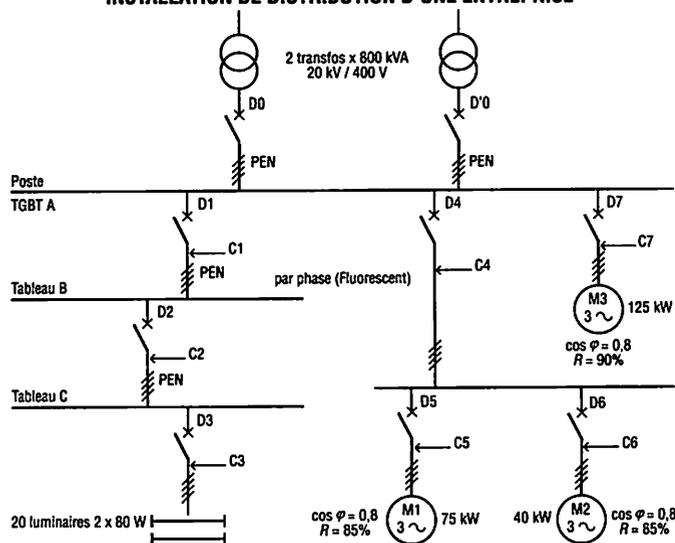
5. On vous demande de prévoir une sélectivité chronométrique des protections entre les disjoncteurs D0, D1, D2, D3. En quoi cela consiste-t-il ? Quels sont les ordres de grandeurs de durée à mettre en œuvre ?

6. Pour assurer le moins de perturbations en cas de défaut, on vous demande de réaliser une protection sélective entre les disjoncteurs D0, D4, D5, elle sera du type ampèremétrique. Sur quel appareil allez-vous opérer et comment ? Expliquez-vous à l'aide de courbes et de valeurs de courants.

Caractéristiques de l'Installation :
 Régime de neutre TN
 Distance transfo-disjoncteur D0 : 6 m
 Entre disjoncteurs 1 m de barre Cu
 Câbles en cuivre Température 25 °C

Repère	Long	Type	Réf. Pose
C1	40	PRC uni	12
C2	35	PRC multi	12
C3	80	PVC multi	31
C4	30	PRC multi	12
C5	50	PRC multi	3
C6	75	PRC multi	11
C7	10	PRC multi	11

INSTALLATION DE DISTRIBUTION D'UNE ENTREPRISE



D'après guide UTE C 15-105

Section des conducteurs et protections

Tableau I : Détermination des coefficients (1 à 9) selon la méthode de référence

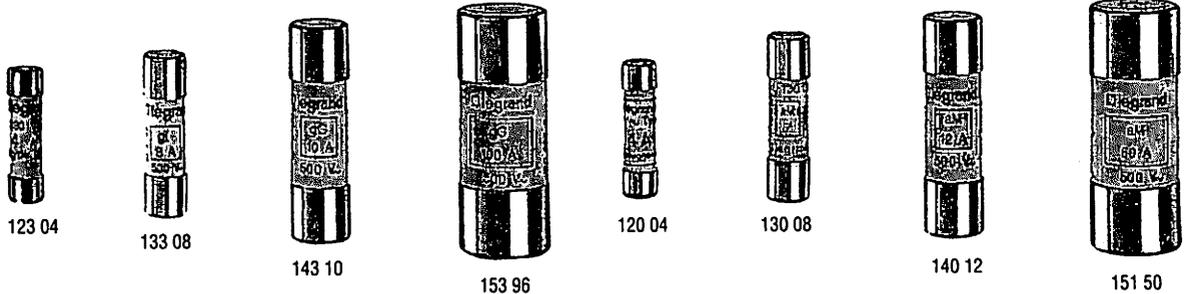
Méthode de référence	Isolant et nombre de conducteurs chargés									
	B	PVC 3	PVC 2		PR 3		PR 2			
C		PVC 3			PVC 2	PR 3		PR 2		
E			PVC 3			PVC 2	PR 3		PR 2	
F				PVC 3			PVC 2	PR 3		PR 2
Coefficient	1	2	3	4	5	6	7	8	9	

Tableau II : Section des conducteurs (cuivre) et choix des protections contre les surcharges en fonction du courant admissible I_z

Coefficients	1			2			3		
	I_z	Fus.	Disj.	I_z	Fus.	Disj.	I_z	Fus.	Disj.
1,5	15,5	10	16	17,5	10	16	18,5	10	16
2,5	21	16	20	24	20	20	25	20	25
4	28	20	25	32	25	32	34	25	32
6	36	32	32	41	32	40	43	40	40
10	50	40	50	57	50	50	60	50	63
16	68	50	63	76	63	80	80	63	80
25	89	80	80	96	80	100	101	80	100
35	110	100	100	119	100	125	126	100	125
50	134	100		144	125		153	125	
70	171	125		184	160		196	160	
95	207	160		223	200		238	200	
120	239	200		259	200		276	250	
150				299	250		319	250	
185				341	250		364	315	
240				403	315		430	315	
300				464	400		497	400	
Coefficients	4			5			6		
1,5	19,5	16	20	22	16	20	23	16	20
2,5	27	20	25	30	25	25	31	25	25
4	36	32	32	40	32	40	42	32	40
6	46	40	50	51	40	50	54	50	50
10	63	50	63	70	63	63	75	63	80
16	85	63	80	94	80	100	100	80	100
25	112	100	100	119	100	125	127	100	125
35	138	125	125	147	125		158	125	
50	168	125		179	160		192	160	
70	213	160		229	200		246	200	
95	258	200		278	250		298	250	
120	299	250		322	250		346	315	
150	344	315		371	315		399	315	
185	392	315		424	315		456	400	
240	461	400		500	400		538	400	
300	530	400		576	500		621	500	
Coefficients	7			8			9		
1,5	24	20	20	26	20	25			
2,5	33	25	32	36	32	32			
4	45	40	40	49	40	50			
6	58	50	50	63	50	63			
10	80	63	80	86	63	80			
16	107	80	100	115	100	100			
25	138	125	125	149	125	125			
35	171	125		185	160		161	125	
50	207	160		225	200		200	160	
70	269	160		289	250		242	200	
95	328	250		352	315		310	250	
120	382	315		410	315		377	315	
150	441	400		473	400		437	400	
185	506	400		542	400		504	400	
240	599	500		641	500		575	500	
300	693	630		741	630		679	500	
							783	630	

I_z = courant admissible et courant de réglage des disjoncteurs d'usage général. Fus. = courant assigné fusible gG. Disj. = courant assigné des petits disjoncteurs.

Cartouches industrielles



Cylindriques type gG

Conformes aux normes NF C 60-200 - EN 60269-1 - IEC 60269-1

Sans voyant	Avec voyant	Calibre (Ampères)	Tension ~ (Volts)	Pouvoir de coupure (Ampères)
		8,5 x 31,5		
123 01		1	400	20 000
123 02	124 02	2		
123 04	124 04	4		
123 06	124 06	6		
123 08		8		
123 10		10		
	124 10	10		
123 12		12		
123 16	124 16	16		

Conformes aux normes NF C 63-210/211 - EN 60269-1 et 2 CEI 60269-1, 2 et 2-1 NF C 63-213 (juillet 1995)
Agréées Bureau Véritas
HPC (Haut Pouvoir de Coupure)

Sans percuteur	Avec percuteur	Calibre (Ampères)	Tension ~ (Volts)	Pouvoir de coupure (Ampères)
		10 x 38		
133 94		0,5	500	100 000
133 01		1		
133 02	133 02	2		
133 04	134 04	4		
133 06	134 06	6		
133 08	134 08	8		
133 10	134 10	10		
133 12	134 12	12		
133 16	134 16	16		
133 20	134 20	20		
133 25	134 25	25		
		14 x 51		
143 02		2	500	100 000
143 04	145 04	4		
143 06	145 06	6		
143 10	145 10	10		
143 16	145 16	16		
143 20	145 20	20		
143 25	145 25	25		
143 32	145 32	32		
143 40	145 40	40		
143 50 ⁽¹⁾	145 50 ⁽¹⁾	50		
		22 x 58		
153 04		4	500	100 000
153 06		6		
153 10	155 10	10		
153 16	155 16	16		
153 20	155 20	20		
153 25	155 25	25		
153 32	155 32	32		
153 40	155 40	40		
153 50	155 50	50		
153 63	155 63	63		
153 80	155 80	80		
153 96	155 96	100		
153 97 ⁽¹⁾	155 97 ⁽¹⁾	125		

Cylindriques type aM

Conformes aux normes NF C 60-200 - EN 60269-1 - IEC 60269-1
Agréées Bureau Véritas

Sans percuteur	Avec percuteur	Calibre (Ampères)	Tension ~ (Volts)	Pouvoir de coupure (Ampères)
		8,5 x 31,5		
120 01		1	400	20 000
120 02		2		
120 04		4		
120 06		6		
120 08		8		
123 10		10		

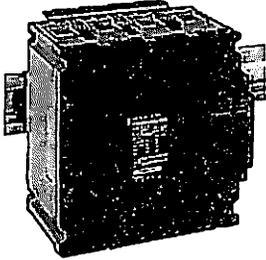
Conformes aux normes NF C 63-210/211 - EN 60269-1 et 2 CEI 60269-1, 2 et 2-1 NF C 63-213 (juillet 1995)
Agréées Bureau Véritas
HPC (Haut Pouvoir de Coupure)

Sans percuteur	Avec percuteur	Calibre (Ampères)	Tension ~ (Volts)	Pouvoir de coupure (Ampères)		
		10 x 38				
130 92		0,25	500	100 000		
130 95		0,50				
130 01		1				
130 02		2				
130 04		4				
130 06		6				
130 08		8				
130 10		10				
130 12		12				
130 16		16				
130 20 ⁽²⁾		20	400			
130 25 ⁽²⁾		25	400			
		14 x 51				
140 02	141 02	2	500	100 000		
140 04	141 04	4				
140 06	141 06	6				
140 08	141 08	8				
140 10	141 10	10				
140 12	141 12	12				
140 16	141 16	16				
140 20	141 20	20				
140 25	141 25	25				
140 32	141 32	32				
140 40	141 40	40	400			
140 45 ⁽¹⁾	141 45 ⁽¹⁾	45				
140 50 ⁽¹⁾	141 50 ⁽¹⁾	50				
		22 x 58				
150 16	151 16	16	500	100 000		
150 20	151 20	20				
150 25	151 25	25				
150 32	151 32	32				
150 40	151 40	40				
150 50	151 50	50				
150 63	151 63	63				
150 80	151 80	80				
150 96	151 96	100			400	
150 97	151 97	125				

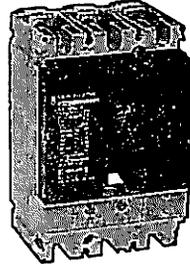
(1) Surcalibrage normalisé

(2) Surcalibrage non normalisé

Disjoncteurs Compact NS100 à NS630 (caractéristiques standard)



Compact NSA160 N sur rail symétrique



Compact NS250H

disjoncteurs Compact		NS100	NS125	NS160	NS250	NS400	NS630
nombre de pôles		2 (*), 3, 4	3, 4	2 (*), 3, 4	2 (*), 3, 4	3, 4	3, 4
caractéristiques électriques CEI							
courant assigné (A)	I_n (40 °C)	100	125	160	250	400	630
tension assignée d'isolement (V)	U_i	750	750	750	750	750	750
tension ass. de tenue aux chocs (kV)	$U_{imp.}$	8	8	8	8	8	8
tension assignée d'emploi (V) 50/60 Hz	U_e	690	500	690	690	690	690
CC		500	500	500	500	500	500
pouvoir de coupure ultime (kA eff) (CA)	N	N	N	N	N	N	N
	I_{cu}	85	25	85	85	85	85
	380/415 V	25	16	36	36	45	45
	440 V	25	10	35	35	42	42
	500 V	18	6	30	30	30	30
	525 V	18		22	22	22	22
	690 V	8		8	8	10	10
	250 V (1 pôle) 500 V (2 pôles série)	50 50		50 50	50 50		
pouvoir de coupure de service	I_{cs}	100 %	50 %	100 %	100 %	100 %	100 %**
catégorie d'emploi		A	A	A	A	A	A
aptitude au sectionnement		■	■	■	■	■	■
endurance (cycles F-O)		50000	10000	40000	20000	15000	15000
	440 V - $I_n/2$	50000	6000	20000	12000	8000	
	440 V - I_n	30000	6000	20000	10000	6000	4000
caractéristiques électriques							
pouvoir de coupure (kA) (selon Nema AB1)	240 V	85	5	100	100	100	100
	480 V	25	5	65	65	65	65
	600 V	10		35	35	35	35
protection							
protection contre les surintensités (A)		■	■	■	■	■	■
courant de réglage	I_r	12,5...100	12,5...125	12,5...160	12,5...250	160...400	250...630
protection différentielle	dispositif Vigi relais Vigirex	■	■	■	■	■	■
installation et raccordement							
fixe prises avant		■	■	■	■	■	■
fixe prises arrière		■	■	■	■	■	■
débrochable sur socle		■	■	■	■	■	■
débrochable sur châssis		■	■	■	■	■	■
auxiliaires de signalisation							
contacts auxiliaires		■	■	■	■	■	■
fonctions associées aux déclencheurs électroniques		■	■	■	■	■	■
indicateur de présence de tension		■	■	■	■	■	■
bloc transformateur de courant		■	■	■	■	■	■
bloc ampèremètre		■	■	■	■	■	■
bloc surveillance d'isolement		■	■	■	■	■	■
auxiliaires de commande							
déclencheurs auxiliaires		■	■	■	■	■	■
télécommande		■	■	■	■	■	■
commandes rotatives (directe, prolongée)		■	■	■	■	■	■
inverseur de source manuel/automatique		■	■	■	■	■	■

* 2P = 2 pôles en type N seulement.

8

Canalisations et section des conducteurs

La distribution de l'énergie électrique nécessite des canalisations électriques de plus en plus importantes qui doivent emprunter toutes sortes de chemins, à l'intérieur ou à l'extérieur de locaux, en aérien, ou en souterrain, parfois même immergés.

1 Canalisations aériennes

Les canalisations aériennes sont beaucoup plus économiques que les canalisations souterraines ; elles sont très utilisées pour la distribution d'énergie en haute et basse tension ainsi que pour l'éclairage public.

1.1. Constitution générale (fig. 1)

Les conducteurs nus ou le plus souvent isolés sont supportés par des poteaux qui assurent le dégagement du sol et l'inaccessibilité des personnes.

1.2. Conducteurs

Pour des raisons de sécurité et d'esthétique, les conducteurs nus posés sur isolateurs sont de plus en plus remplacés par des conducteurs isolés et torsadés, en particulier en basse tension (fig. 2).

Exemple : câble torsadé selon norme NF-C 33-209 (fig. 3).

Ce sont des câbles en faisceaux par torsadage avec un neutre porteur. Les dérivations par câbles s'effectuent sans couper les conducteurs avec des accessoires qui perforent l'isolant.

1.3. Pose des câbles torsadés

En zone rurale, la pose s'effectue en faisceaux tendus sur poteaux (fig. 4). En zone urbaine, le faisceau est posé en façade (fig. 5).

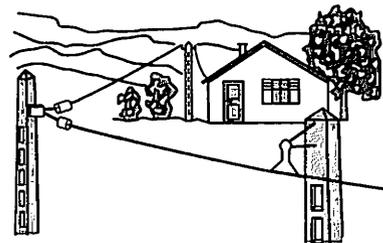


Fig. 4 : Réseau en câble torsadé sur poteaux.

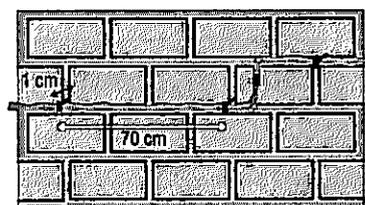


Fig. 5 : Faisceau posé à l'aide de colliers.

OBJECTIFS

Être capable de :

- décoder les plans de réalisation de modifications ;
- consulter les normes, tableaux, abaques et catalogues de constructeurs ;
- choisir les éléments d'une canalisation.

L'étude est limitée aux canalisations aériennes souterraines et préfabriquées.

SAVOIR TECHNOLOGIQUE

S 1.4

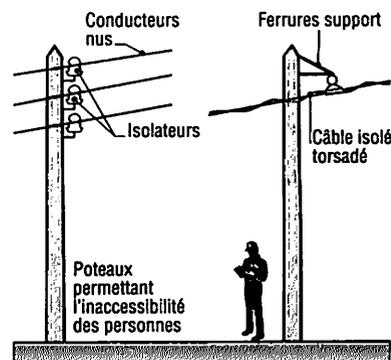


Fig. 1 : Ligne aérienne sur poteau bois ou ciment.

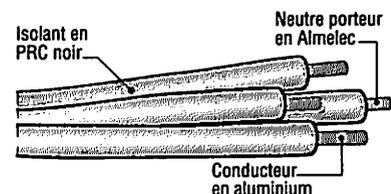


Fig. 2 : Câble torsadé pour distribution aérienne BT.

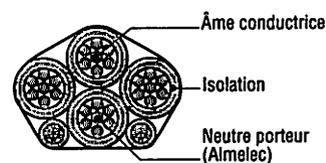


Fig. 3 : Coupe d'un câble torsadé à neutre porteur.

1.4. Lignes aériennes à conducteurs nus

Pour les tensions élevées, 20 kV ou plus, l'emploi de câbles exige la mise en œuvre d'isolateurs et de poteaux ou supports.

a) Poteaux ou supports

Ils sont en bois, ou en béton armé surtout en BT et en 20 kV ou métalliques surtout à partir de 63 kV.

b) Dimensions

La hauteur des poteaux est fonction de la distance minimale des conducteurs au-dessus du sol :

- 6 m pour les tensions jusqu'à 45 kV ;
- 8 m pour les tensions au-dessus de 45 kV.

c) Armement des supports

C'est l'ensemble constitué par les ferrures et les isolateurs avec les vis de fixation. Il existe différentes dispositions selon les pays (fig. 6).

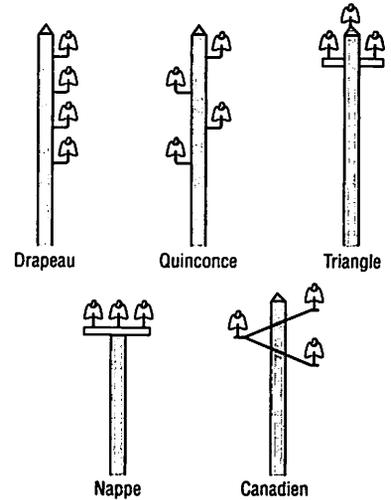


Fig. 6 : Différentes dispositions des conducteurs sur les lignes aériennes (armements).

2) Canalisations souterraines

La vulnérabilité des canalisations aériennes (orages et tempêtes de 1999) et leur manque d'esthétique amènent à réaliser la distribution d'énergie en canalisations souterraines, ce qui permet une meilleure continuité du service.

2.1. Règles de pose

Les canalisations sont disposées à une profondeur de 0,60 mètre et à 1 m sous les voies de circulation. Elles doivent être surmontées d'un dispositif avertisseur. Une distance de 0,20 m doit séparer deux canalisations dans une même tranchée (fig. 7). On distingue trois modes de pose différents des câbles :

- **référence 61** : dans des conduits ou dans des profilés enterrés (fig. 8) ;
- **référence 62** : enterrés sans protection mécanique (fig. 9) ;
- **référence 63** : enterrés avec protection mécanique (fig. 10).

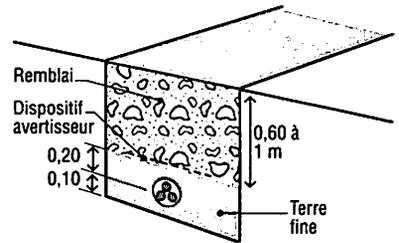


Fig. 7 : Dimensions des tranchées pour les canalisations enterrées.

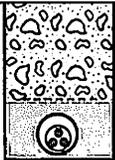


Fig. 8 : Câble dans des conduits ou des profilés (61).

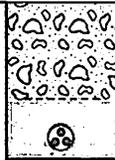


Fig. 9 : Câbles enterrés, directement (62).



Fig. 10 : Câble enterré avec protection mécanique complémentaire (63).

2.2. Câbles utilisables

Lorsque les câbles sont posés directement dans le sol, leur tension nominale d'isolement est au moins de 1 000 V.

- **Pose sans protection** : référence 62 ; ces câbles doivent comporter un revêtement métallique, par exemple : séries U-1000 RG PFV, U-1000 RVFV, série FRN 1 x 1...
- **Pose avec une protection mécanique**, référence 63 : les câbles qui ne comportent pas de revêtement métallique, par exemple : U-1000 R12 N, U-1000 R2V, FRN1 x 1 x 2 ou x 1-G1.
- **Pose sous conduits ou fourreaux** : tous les autres câbles, s'ils sont utilisables dans les conditions AD5 (voir tableau III page 34, tome I).

2.3. Courant admissible I_z

Le **tableau 1** donne les courants admissibles I_z en fonction de la section des conducteurs.

Tableau 1 : Courants admissibles I_z dans les canalisations enterrées.

Section* mm ²	Nombre de conducteurs et isolation			
	PCV3	PCV2	PR3	PR2
1,5	26	32	31	37
2,5	34	42	41	48
4	44	54	53	63
6	56	67	66	80
10	74	90	87	104
16	96	116	113	136
25	123	148	144	173
35	147	178	174	208
50	174	211	206	247
70	216	261	254	304
95	256	308	301	360
120	290	351	343	410
150	328	397	387	463
185	367	445	434	518
240	424	514	501	598
300	400	581	565	677

* Section des conducteurs cuivre. Multiplier I_z par 0,77 pour avoir les sections en aluminium.

3 Canalisations préfabriquées

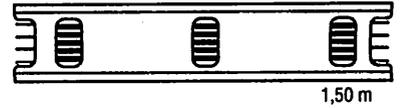


Fig. 12 : Élément droit de canalisation préfabriquée.

3.1. Constitution

Une canalisation préfabriquée est un système réalisé à base d'éléments associables et permettant un montage rapide d'une installation. Le système (fig. 11) comporte à la fois des éléments droits (fig. 12) de changement de direction, de dérivation, d'alimentation ainsi que des accessoires de fixation et de raccordement.

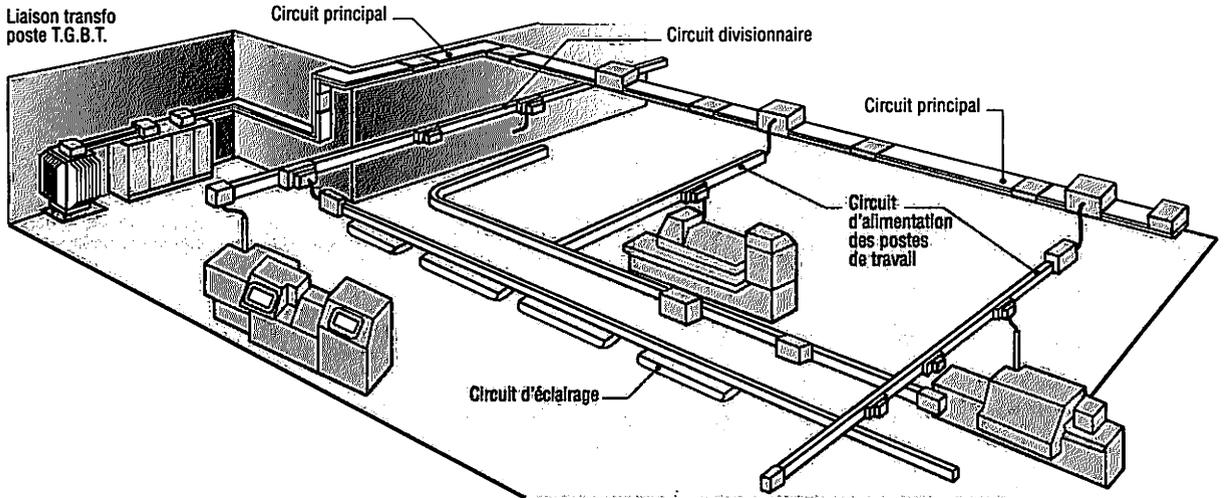


Fig. 11 : Exemple d'installation en canalisations préfabriquées.

3.2. Symboles et schémas de disposition (fig. 13)

Sur les symboles du **tableau 2**, on indique les références des éléments utilisés.

3.3. Caractéristiques des canalisations préfabriquées

Une canalisation préfabriquée est caractérisée par :

– l'intensité nominale qu'elle peut transporter ;

Exemple : canalis KB 25 et 40 A, KN 40, 63 et 100 A.

– le nombre de conducteurs actifs, le neutre et le PE ;

– les caractéristiques électriques : courants et tension assignés, fréquence, réactance, résistance, impédance moyenne, etc.

3.4. Protections électriques (fig. 14)

Une protection électrique est placée à l'origine de l'alimentation, et une protection à toutes les dérivations sauf si la longueur de câble de la dérivation ne dépasse pas 3 m.

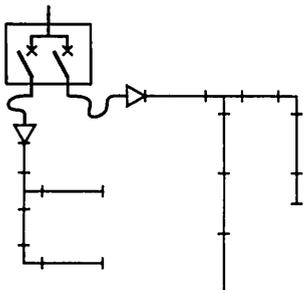


Fig. 13 : Schéma d'installation en canalisations préfabriquées.

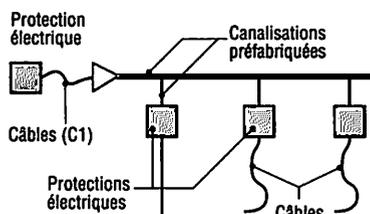


Fig. 14 : Schémas des protections.

Tableau 2 : Symboles des canalisations préfabriquées.

Symboles	Désignation
	Élément droit
	Coude
	Té
	Croix avec double dérivation
	Élément de dilatation
	Élément flexible
	Élément de réduction
	Coffret d'appareillage en ligne
	Élément d'alimentation en bout
	Coffret de dérivation fixe

4 Section des conducteurs

La section des conducteurs et le choix des dispositifs de protection sont effectués à l'aide des tableaux donnés par le guide pratique UTE C 15-105.

La méthode consiste à effectuer les opérations selon le diagramme de la *figure 15*.

4.1. Détermination du courant d'emploi (I_b)

Cette détermination a été effectuée au chap. 7, paragraphe 2, page 56.

4.2. Protection contre les surcharges

La section des conducteurs de phases et neutre chargé, ainsi que les dispositifs de protection contre les surcharges, sont données au chapitre 7, paragraphe 5, page 59, et les tableaux I et II, page 63.

4.3. Vérifications des chutes de tension

Les valeurs des chutes de tension normalisées sont données *tableau 3*. Pour déterminer la valeur de la chute de tension en pourcentage, on utilise le *tableau 4* et la relation suivante :

$$u \% = 6 \times \frac{L}{L_{\max}}$$

$u \%$ = chute de tension du circuit considéré
 L = longueur en mètres du circuit
 L_{\max} = longueur de référence pour une chute de tension de 6 %.

Le *tableau 4* qui donne les valeurs de longueurs maximales pour une chute de tension de 6 % ainsi que le rapport $6/L_{\max}$. Ces longueurs sont calculées d'après le courant nominal, ou de réglage des dispositifs de protection qui sont données dans le tableau II page 63.

Tableau 4 : Longueurs maximales de canalisations pour une chute de tension de 6 %, conducteurs en cuivre.

Section des conducteurs (mm ²)	Monophasé		Triphasé	
	230 V		400 V	
	L_{\max} (m)	$6/L_{\max}$	L_{\max} (m)	$6/L_{\max}$
1,5	32	0,18	65	0,092
2,5	40	0,15	80	0,075
4	50	0,12	100	0,060
6	55	0,11	110	0,054
10	65	0,092	130	0,046
16	80	0,075	160	0,037
25	90	0,067	180	0,033
35	100	0,060	200	0,030
50	100	0,060	200	0,030
70	100	0,060	210	0,028
95	120	0,050	240	0,025
120	120	0,050	250	0,024
150	120	0,050	240	0,025
185	120	0,050	250	0,024
240	130	0,046	260	0,023
300	130	0,046	270	0,022

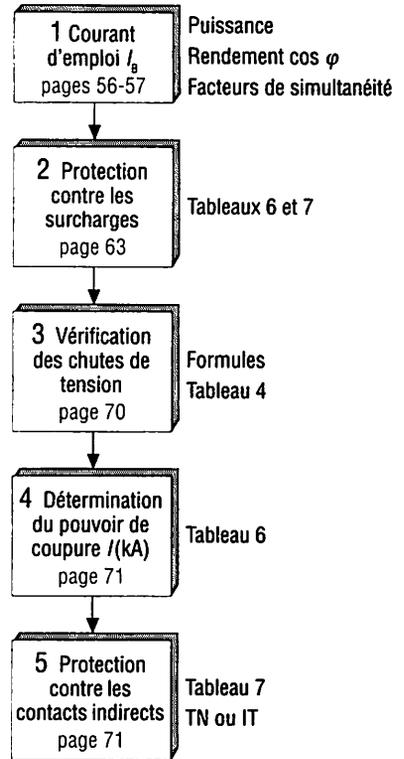


Fig. 15 : Méthode simplifiée de détermination de section.

Tableau 3 : Chutes de tensions admissibles normalisées.

Alimentation à partir :	Éclairage	Autres usages
- du réseau BT 230/400 V	3 %	5 %
- d'un poste de transformation HTA/BT	6 %	8 %

Exemple : Calcul de la chute de tension d'une ligne monophasée, de section 2,5 mm² et de longueur 30 mètres. Le tableau 3 nous donne le rapport $6/L_{\max}$ pour la section 2,5 mm² en 230 V, soit 0,15 pour une longueur de 40 m. La chute de tension sera : $u \% = 0,15 \times 30 = 4,5 \%$.

4.4. Détermination du pouvoir de coupure

La détermination du pouvoir de coupure des dispositifs de protection s'effectue en connaissant le courant de court-circuit à l'origine de l'installation. L'emploi du **tableau 5** permet de connaître le courant de court-circuit à l'extrémité d'une canalisation de section et de longueur données.

À la sortie d'un transformateur, le courant de court-circuit possible est donné en fonction de la puissance du transformateur (**tableau 5**).

Mode d'emploi du tableau 7 p. 71

Dans la partie supérieure du tableau, lire dans la colonne section la valeur appropriée, puis chercher horizontalement la longueur immédiatement inférieure à la valeur réelle. Ensuite, descendre dans la partie basse du tableau, dans la colonne I_{cc} , descendre jusqu'à la ligne correspondant à la valeur de courant de court-circuit amont à l'origine du circuit considéré (**fig. 16**). On obtient, au croisement de la ligne et de la colonne, le courant de court-circuit à l'extrémité de la canalisation de section et de longueur données.

4.5. Protection contre les contacts indirects

Dans les cas des schémas TN et IT, les longueurs des canalisations indiquées dans le **tableau 6** permettent d'assurer la protection contre les contacts indirects lorsque les dispositifs de protection sont choisis conformément au tableau I, page 63.

Ces longueurs sont applicables aux circuits terminaux. Il n'est pas nécessaire de vérifier ces longueurs lorsque les circuits sont protégés par des dispositifs à courant différentiel résiduel.

Les longueurs indiquées ne sont valables que si le conducteur de protection fait partie de la même canalisation que les conducteurs actifs.

Tableau 5 : Intensité de court-circuit à la sortie des transformateurs.

P(KVA)	I_{cc} (kA)
50	1,7
100	3,4
160	5,5
200	6,9
250	8,6
315	11
400	14
500	17
630	22
800	24
1 000	27
1 250	31
1 600	37
2 000	42

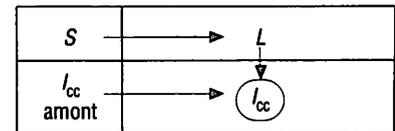


Fig. 16 : Mode d'emploi du tableau 6.

Tableau 6 : Longueurs maximales de canalisations (en mètres) protégées contre les contacts indirects.

Section des conducteurs (mm ²)		Schéma TN					Schéma IT neutre non distribué					Schéma IT neutre distribué				
Phase	Protection ou PEN	Fusibles		Petits disjoncteurs		Disjoncteurs d'usage général	Fusibles		Petits disjoncteurs		Disjoncteurs d'usage général	Fusibles		Petits disjoncteurs		Disjoncteurs d'usage général
		gI gG	aM	C	B		gI gG	aM	C	B		gI gG	aM	C	B	
1,5	1,5	90	37	50	120	50	75	38	47	100	44	55	27	27	60	26
2,5	2,5	75	49	70	160	60	65	42	60	140	55	45	30	36	80	32
4	4	100	60	90	210	80	85	50	80	180	70	60	38	46	100	41
6	6	90	55	100	250	85	80	50	90	210	75	55	35	50	120	44
10	10	120	75	120	280	100	100	65	100	240	85	75	47	60	140	50
16	16	150	75	150	350	120	130	65	130	300	100	90	47	75	170	60
25	25	150	95	190	440	140	120	85	160	380	120	90	55	95	220	70
35	25	110	75	150	350	110	95	65	130	300	100	65	47	75	170	55
50	25	110	80			100	100	70			90	70	49			50
70	35	120	70			110	110	60			95	75	44			55
95	50	140	100			130	120	90			110	85	60			65
120	70	140	110			150	120	100			130	85	70			75
150	70	110	90			140	100	75			120	70	55			70
185	70	65	100			140	55	85			110	40	60			70
240	95	130	110			160	120	95			130	80	65			80
300	150	190	120			190	160	100			160	110	75			95
2 x 120	120	150	100			150	130	85			130	90	60			75
2 x 150	150	150	120			170	130	100			140	90	75			85
2 x 185	150	100	95			140	90	80			120	60	55			70
3 x 120	185	130	120			170	110	100			140	75	70			85
3 x 150	185	130	95			150	110	80			120	75	55			75
3 x 185	240	120	120			170	110	100			140	75	75			85

L'essentiel

- La distribution d'énergie électrique fait appel à des canalisations aériennes, souterraines et parfois immergées. Dans l'industrie, les canalisations préfabriquées permettent une adaptation de la distribution aux modifications d'implantation.
- Les canalisations aériennes en basse tension s'effectuent à l'aide de câbles torsadés, sur lesquels on crée des dérivations à l'aide de raccords permettant les branchements sous tension par perforation des isolants.
- Le passage des canalisations en souterrain nécessite l'emploi de câbles qui peuvent être posés dans des conduits, ou des profilés, ou enterrés directement avec ou sans protection.
- Un système de canalisations préfabriquées est constitué par différents éléments droits, de dérivations, d'angles, de raccordements qui sont raccordés entre eux par des connexions vissées.
- La section des canalisations électriques est liée à l'intensité admissible dans la canalisation, laquelle dépend du mode de pose, de la méthode de référence, de la nature des isolants et du nombre de conducteurs de la canalisation électrique.
- La section des conducteurs est également liée à la protection contre les surcharges, à la chute de tension, à l'intensité de court-circuit, et à la protection contre les contacts indirects.



VRAI OU FAUX ?

Parmi les affirmations suivantes, indiquez celles qui sont vraies.

1. Une canalisation aérienne est plus chère qu'une canalisation souterraine.
2. On remplace, dans une canalisation aérienne, les conducteurs nus par des conducteurs isolés en torsades.
3. Les dérivations sur les câbles torsadés sont effectuées par perforation de l'isolant.
4. La distance des conducteurs au sol d'une canalisation aérienne est au minimum de 12 m.
5. On appelle armement d'une ligne aérienne, l'ensemble ferrures, vis et isolateurs.
6. Un câble peut être enterré directement dans le sol.
7. Une canalisation souterraine doit être posée au moins à une profondeur de 0,20 m.
8. La distance entre deux canalisations dans une même tranchée doit être de 0,4 m.
9. Un dispositif avertisseur doit être placé à 0,20 m au-dessus du câble enterré.
10. Une canalisation préfabriquée est l'association d'un ensemble d'éléments indissociables.
11. La caractéristique électrique d'une canalisation préfabriquée est la longueur d'un élément droit.
12. Une protection à toutes les dérivations est nécessaire, sauf si la longueur du câble de la dérivation ne dépasse pas 3 m.
13. Pour déterminer la section d'un conducteur, on doit calculer le courant d'emploi.
14. La protection contre les surcharges n'est pas nécessaire pour déterminer la section des conducteurs.
15. L'intensité du courant dans un circuit n'intervient pas pour le calcul de la chute de tension.
16. La chute de tension en basse tension pour l'éclairage est de 5 %.
17. La chute de tension à partir d'un poste de transformation est au maximum de 12 %.
18. Le pouvoir de coupure des appareils de protection doit être supérieur à l'intensité de court-circuit dans le circuit.
19. L'intensité de court-circuit dans une installation se détermine à partir du courant de court-circuit à la sortie du transformateur.
20. La protection contre les contacts indirects s'effectue en fonction de la longueur des canalisations.

RÉSOLUS

1. Pour alimenter un magasin en triphasé 230/400 V, on est amené à tirer un câble posé en tranchée ; le courant d'emploi étant de 160 A, déterminez la section de ce câble et sa référence.

Solution :

- Courant d'emploi $I_b = 160$ A impose $I_z \geq 160$ A.
- Mode de pose enterrée, méthode de référence D.
- Câble non protégé, d'où utilisation du câble armé U-1000 RVFV à 3 conducteurs + neutre, isolation PR.
- Section (voir tableau 1 page 67), pour 3 conducteurs chargés, colonne PR3, $I_z = 174$ A : section 35 mm^2 d'où utilisation d'un câble 4 G35 type U-1000 RVFV.

2. Déterminez le calibre et les références de la canalisation préfabriquée nécessaire pour alimenter la ligne A de machines de l'atelier de fabrication dont les intensités d'emploi sont les suivantes :

$$M_1 = 8 \text{ A}, M_2 = 12 \text{ A}, M_3 = 15 \text{ A}, M_4 = 10 \text{ A}, M_5 = 7 \text{ A}$$

Solution : Le courant d'emploi lorsque toutes les machines fonctionnent est :

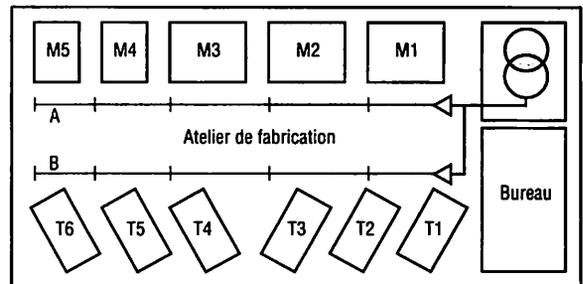
$$8 + 12 + 15 + 10 + 7 = 52 \text{ A}$$

On utilise une canalisation préfabriquée de calibre 63 A.

Les éléments utilisés seront, d'après la page 75 :

- 4 éléments droits de 3 m KNA-06EA 430,
- 1 élément droit de 2 m KNA-06ED 420,

- 1 alimentation en bout KNA-06 AB4,
- 5 coffrets de dérivation pour appareillage modulaire réf. : KNA-02 CM54.



3. Calculez l'intensité de court-circuit à l'origine des canalisations (ligne A) sachant que cette ligne est alimentée par un transformateur de 800 kVA, avec un câble triphasé de section 25 mm^2 et d'une longueur de 20 m.

Solution : L'intensité de court-circuit à la sortie du transformateur est donnée par le tableau 5 page 70, soit pour 800 kVA, $I_{cc} = 24 \text{ kA}$.

Le tableau 7 page 71 donne l'intensité de court-circuit, section 25 mm^2 Cu, longueur 20 m (21), $I_{cc} = 24 \text{ kA}$, (25), ce qui donne $I_{cc} = 8,5 \text{ kA}$.

À RÉSOUDRE

1. Pour alimenter un concasseur dans une carrière, on doit réaliser une canalisation enterrée. Déterminez la section, le mode de pose et le type de câble, sachant que le moteur absorbe une intensité nominale de 235 A en triphasé 230/400 V sans neutre avec PE.

2. Pour alimenter un laboratoire, on décide de réaliser une ligne aérienne en conducteur torsadé. Définissez la section et le nombre de conducteurs, le courant d'emploi étant de 85 A.

3. Dans l'atelier de fabrication représenté sur le dessin ci-dessus, on vous demande de déterminer le calibre de la canalisation préfabriquée nécessaire pour alimenter les machines de la ligne B dont les courants d'emploi sont en triphasés 400 V + PE.

$$T_1 = 20 \text{ A}, T_2 = 12 \text{ A}, T_3 = 16 \text{ A}, T_4 = 8 \text{ A}, \\ T_5 = 24 \text{ A}, T_6 = 16 \text{ A}.$$

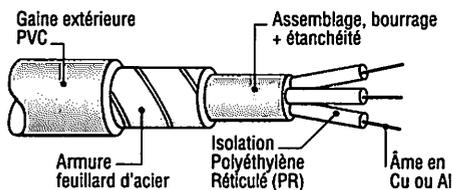
4. Précisez la section du câble d'alimentation de cette canalisation préfabriquée (pose sur chemin de câble) et les références du matériel de la canalisation définie à l'exercice 3.

5. Calculez l'intensité de court-circuit à l'origine des canalisations (ligne B) sachant que cette ligne est alimentée par un transformateur de 800 kVA, avec câble triphasé en cuivre de section 35 mm^2 et d'une longueur de 15 m.

6. Calculez l'intensité de court-circuit à l'origine des canalisations (ligne A) sachant que cette ligne est alimentée par un transformateur de 800 kVA, avec un câble triphasé en aluminium de section 35 mm^2 et d'une longueur de 20 m.

7. Calculez l'intensité de court-circuit à l'origine des canalisations (ligne B) sachant que cette ligne est alimentée par un transformateur de 400 kVA, avec un câble triphasé en aluminium de section 50 mm^2 et d'une longueur de 17 m.

Câble U-1000 RVFV

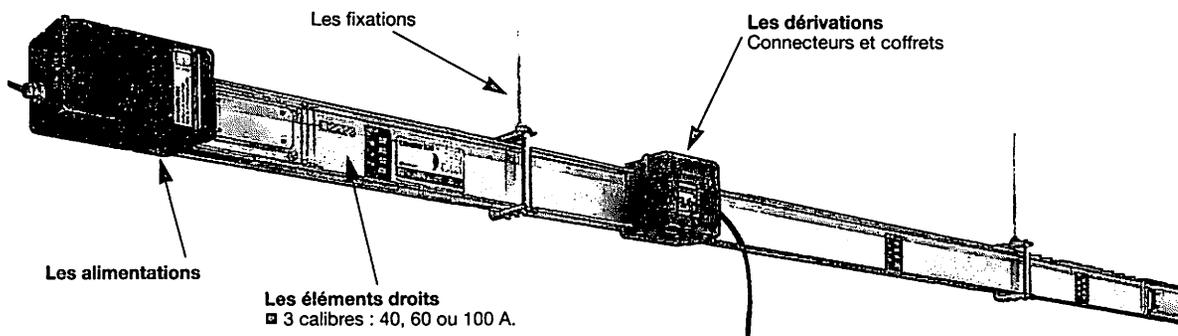


- Norme NF C 32-322
- Tension nominale 0,6/1 kV
- Température maximale sur l'âme 90 °C (250 °C en court-circuit).

Nombre de conducteurs Section (mm ²)	Intensité admissible (A)		ΔU (cos φ 0,8) (V/A/km)	\varnothing extérieur (mm)		Rayon de courbure (kg/km)	Masse
	Enterré	Air libre		Mini*	Maxi**		
2 CONDUCTEURS CUIVRE							
2 x 1,5	34	24	23,67	10,5	13,0	100	210
2 x 2,5	46	33	23,28	11,0	14,0	104	253
2 x 4	59	45	8,98	12,0	15,5	116	311
2 x 6	74	58	6,09	13,5	16,5	128	409
2 x 10	101	80	3,66	15,0	18,5	144	548
2 x 16	128	107	2,33	17,0	20,5	160	720
2 x 25	162	142	1,60	20,0	24,5	190	1 110
2 x 35	195	175	1,15	22,5	27,0	205	1 400
3 CONDUCTEURS CUIVRE							
3 G 1,5	29	22	20,50	11,0	13,5	104	240
3 G 2,5	40	30	12,37	11,5	14,5	108	295
Δ 3 G 4	51	40	7,78	12,5	16,0	120	365
Δ 3 G 6	64	52	5,28	14,0	17,5	132	491
Δ 3 G 10	88	71	3,17	16,0	19,0	148	665
Δ 3 G 16	111	96	2,02	17,5	22,0	168	898
Δ 3 G 25	141	127	1,38	21,0	26,0	200	1 320
3 x 35	170	157	1,00	23,5	29,0	220	1 700
3 x 50	204	190	0,78	27,0	32,5	245	2 195
3 x 70	252	242	0,57	32,0	37,5	280	3 015
3 x 95	302	293	0,43	36,5	33,5	320	4 300
3 x 120	345	339	0,36	40,5	47,5	350	5 250
3 x 150	386	390	0,31	45,0	53,0	390	6 480
3 x 185	435	444	0,27	49,5	58,0	425	8 020
3 x 240	504	522	0,23	56,0	65,5	470	10 170
3 x 300	571	595	0,20	61,0	72,0	520	12 171
4 CONDUCTEURS CUIVRE							
Δ 4 G 1,5	29	22	20,52	11,5	14,5	108	278
Δ 4 G 2,5	40	30	12,39	12,5	15,5	116	344
Δ 4 G 4	51	40	7,80	13,5	17,0	128	430
Δ 4 G 6	64	52	5,30	15,0	18,5	144	579
Δ 4 G 10	88	71	3,19	17,0	20,5	160	799
Δ 4 G 16	111	96	2,04	19,5	23,5	184	1 096
Δ 4 G 25	141	127	1,38	23,0	28,0	215	1 610
4 x 35	170	157	1,00	26,0	31,5	240	2 090
4 x 50	204	190	0,78	29,5	35,5	275	2 710
4 x 70	252	242	0,57	36,5	42,5	320	4 180
4 x 95	302	293	0,43	40,5	47,5	355	5 320
4 x 120	345	339	0,36	45,5	53,0	395	6 750
4 x 150	386	390	0,31	49,5	58,5	435	8 110
4 x 185	435	444	0,27	54,5	64,5	470	9 990
4 x 240	504	522	0,23	61,5	72,5	530	12 730
4 x 300	571	595	0,20	67,5	79,5	580	15 500

* Les diamètres minimaux ne s'appliquent pas aux câbles à âmes sectoriales.
 ** Les diamètres maximaux ne tiennent pas compte du matelas facultatif sous armure.
 □ Les intensités admissibles sont données pour des températures ambiantes de 20 °C dans le sol ou 30 °C dans l'air en régime permanent.
 Δ Ces câbles existent également sans conducteur V.V.

Canalisations Canalis KN de 40 à 100 A



Éléments droits - Tripolaires + N + PE

type de canalisation	calibre (A)	longueur (m)	nombre de dérivations	référence unitaire	masse (kg)	
	40	3	3	KNA-04EA430	5,600	
			6	KNA-04ED430	5,600	
		2	4	KNA-06ED420	4,100	
			3	3	KNA-06EA430	5,700
				6	KNA-06ED430	5,700
			4	2	KNA-06ED420	4,100
	63	3		3	KNA-10EA430	6,700
			6	KNA-10ED430	6,700	
		2	4	KNA-10ED420	4,800	
			3	3	KNA-10EA430	6,700
				6	KNA-10ED430	6,700
			4	2	KNA-10ED420	4,800
100	3	3		KNA-10EA430	6,700	
		6	KNA-10ED430	6,700		
	2	4	KNA-10ED420	4,800		

Alimentations avec embouts de fermeture

alimentation	calibre (A)	raccordement câble cuivre		référence unitaire	masse (kg)	
		type	section maxi (mm ²)			diamètre ext. maxi (mm)
en bout ⁽¹⁾ montage à gauche ou à droite	63 (40)	sur blocs de jonction	16	30	KNA-06AB4	0,580
	100	par cosses (vis M8)	35	40	KNA-10AB4	1,120
centrale ⁽²⁾ montage en cours de ligne	63 (40)	sur blocs de jonction	16	24	KNA-06BT4	1,470
	100	par cosses (vis M8)	35	30	KNA-10BT4	2,940

Éléments de complément

désignation	calibre (A)	longueur développée (m)	référence unitaire	masse (kg)
coudes cintrables sur chant (pour angle intérieur ou extérieur variable de 80° à 180°)	63 (40)	0,355	KNA-06LFA	1,200
	100	0,355	KNA-10LFA	1,300
éléments cintrables sur chant (pour contournement d'obstacle ou ajustement de longueur)	63 (40)	1	KNA-06EFA	2,100
	100	1	KNA-10EFA	2,300

Fixations (pour toutes canalisations KN)

désignation	lot de (3)	référence unitaire	masse (kg)
fixation universelle pour tous types de montage (mural, plafond, suspendu sur la tige filetée, pendard, etc.)	10	KNA-10ZA1	0,130
fixation murale pour montage en allège	10	KNA-10ZA2	0,040
étrier de suspension pour goulotte complémentaire (largeur maximale de la goulotte 50 mm)	10	KNA-10ZG20	0,100

Pièces de rechange

désignation	calibre (A)	référence unitaire	masse (kg)
dispositif d'éclissage mécanique et électrique	63 (40)	KNA-06YA4	0,600
	100	KNA-10YA4	0,600

(1) Livrées avec 1 embout de fermeture.
 (2) Livrées avec 2 embouts de fermeture.
 (3) Unité d'emballage, vente par quantité indivisible.

Canalis KN de 40 à 100 A

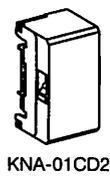
Connecteurs et coffrets de dérivation

schéma des liaisons à la terre de l'installation	TT - TNS	TT - TNS	TT
polarité de départ	Mono + N + PE ⁽¹⁾	Tri + N + PE ⁽¹⁾	Tri + Np ⁽²⁾ + PE

Connecteurs de dérivation monophasés + N + PE à section de phase

schéma de dérivation (exemple : protection par fusible)

calibre (A)	équipement	référence unitaire	référence	référence	masse (kg)
16	pour fusibles UTE : 8,5 x 31,5, type gG (gl) : 16 A maxi (non fourni)	KNA-01CF2	-	-	0,160
	avec disjoncteur Merlin Gerin, type C60N, 1 pôle, courbe C ⁽³⁾	KNA-01CD2	-	-	0,380



Coffret sectionneur de dérivation triphasé + N + PE⁽¹⁾

schéma de dérivation

calibre (A)	pour fusibles NF14 x 51 (non fournis)	référence	référence unitaire	référence unitaire	masse (kg)
32	type gG (gl) : 32 A maxi type aM (gl) : 40 A maxi		KNA-03SF4	KNA-03SF4 ⁽⁴⁾	1,380

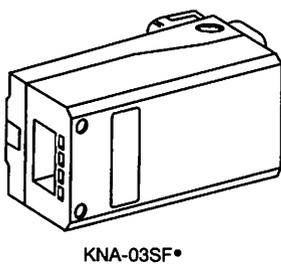
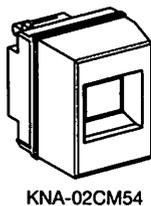


schéma des liaisons à la terre de l'installation	TT - TNS	TT
polarité de départ	Tri + N + PE ⁽¹⁾	Tri + Np ⁽²⁾ + PE

Connecteurs de dérivation pour appareillage modulaire (pas de 17,5 mm)

schéma de dérivation (exemple : protection par disjoncteur)

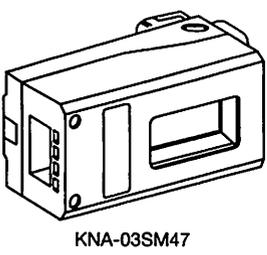
calibre (A)	nombre de modules	circuit télécommande	découpe du couvercle	référence unitaire	référence unitaire	masse (kg)
25	4	non	oui	KNA-02CM54	KNA-02CM54	0,600
			non	KNA-02CX54	KNA-02CX54	0,600
		oui	oui	KNT-02CM54	KNT-02CM54	0,600
			non	KNT-02CX54	KNT-02CX54	0,600



Coffrets sectionneurs de dérivation pour appareillage modulaire (pas de 17,5 mm)

schéma de dérivation (exemple : protection par disjoncteur)

calibre (A)	nombre de modules	circuit télécommande	découpe de la porte	référence unitaire	référence unitaire	masse (kg)
40	7	avec KNT-03AZ01	oui	KNA-03SM47	KNA-03SM47	1,180
			non	KNA-03SX47	KNA-03SX47	1,180
	2 x 7	avec KNT-03AZ01	oui	KNA-03SM42X7	KNA-03SM42X7	1,350
			oui	KNA-03SM416	KNA-03SM416	1,500
				non	KNA-03SX416	KNA-03SX416
			16	avec KNT-03AZ01	oui	KNA-03SM416
non	KNA-03SX416	KNA-03SX416			1,500	



(1) Convient également pour dérivation Tri + PE (N non distribué), tous schémas TT, TNS, IT.
 (2) Np : Neutre protégé. Références bleues : articles de grandes diffusion.
 (3) Unité d'emballage, vente par quantité indivisible.

9

Machines électriques à courant alternatif

Les moteurs asynchrones représentent 80 % des moteurs électriques utilisés soit en monophasé, soit en triphasé. La raison de ce succès est due à leur grande simplicité de construction qui leur donne une robustesse à toute épreuve ; enfin, la simplicité de démarrage facilite leur emploi aussi bien dans l'industrie que dans les usages domestiques (fig. 1).

OBJECTIFS

Pour mettre en œuvre des machines électriques à courant alternatif, il faut être capable de :

- repérer les circuits internes ;
- effectuer et exploiter les mesures à vide et en charge sur les grandeurs électriques.

SAVOIR TECHNOLOGIQUE
S 2.4

1 Principe de fonctionnement

1.1. Création d'un champ tournant en triphasé (fig. 2)

Trois bobines identiques placées à 120° sont alimentées par une tension alternative triphasée.

- Une aiguille aimantée placée au centre est entraînée en rotation, il y a donc création d'un champ tournant.
- Un disque métallique, en aluminium ou en cuivre, est entraîné dans le même sens que l'aiguille aimantée.
- Si on inverse deux des trois fils de l'alimentation triphasée, l'aiguille ou le disque tournent en sens inverse.

Explication

Les trois champs alternatifs, produits par les bobines alimentées en courant triphasé, se composent pour former un champ tournant.

Le champ magnétique tournant crée des courants induits dans le circuit du rotor. D'après la loi de Lenz, ceux-ci s'opposent à la cause qui leur a donné naissance et provoquent une force magnétomotrice qui entraîne le rotor en rotation.

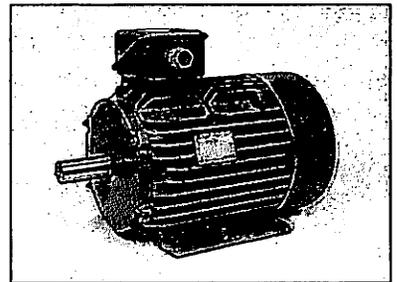


Fig. 1 : Moteur asynchrone triphasé type LS construction fermée IP 55 d'après Leroy-Somer.

1.2. Relations d'électrotechnique

Le moteur asynchrone transforme l'énergie électrique apportée par le courant alternatif en énergie mécanique (fig. 3).

a) Grandeurs d'entrée

La puissance électrique absorbée par un moteur en alternatif est :

Monophasé : $P_a = UI \cos \varphi$ Triphasé : $P_a = UI\sqrt{3} \cos \varphi$

U = tension entre phases en volts

I = courant absorbé en ampères P_a = puissance absorbée

$\cos \varphi$ = cosinus de l'angle de déphasage entre tension et courant

b) Grandeurs de sortie

La puissance mécanique est celle obtenue sur l'arbre du moteur, c'est celle qui désigne la puissance nominale du moteur.

$P_u = T\omega$ P_u = puissance mécanique utile en watts
 T = couple moteur en newtons-mètres (Nm)

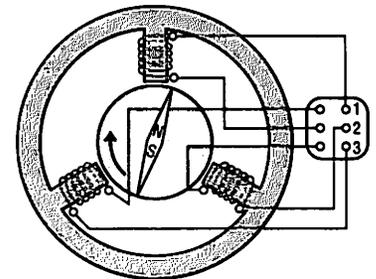


Fig. 2 : Disposition des bobines.

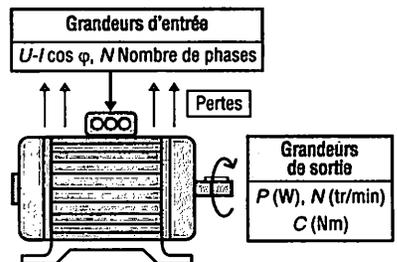


Fig. 3 : Machine transformatrice d'énergie électrique en énergie mécanique.

$$\omega = 2 \pi n$$

ω = vitesse angulaire en radians par seconde
 n = vitesse de rotation en tours par seconde

Tableau 1 : Vitesses de synchronisme (en tr/min).

Nombre de pôles	n à 50 Hz	n à 60 Hz
2	3 000	3 600
4	1 500	1 800
6	1 000	1 200
8	750	900
10	600	720
12	500	600

La vitesse de rotation de l'arbre moteur est :

$$n = \frac{f}{p}$$

f = fréquence du réseau en Hz
 p = nombre de paires de pôles par phase
 $p = 1$ pour 2 pôles, $p = 2$ pour 4 pôles

Les vitesses de synchronisme sont données au **tableau 1**.

2 Construction d'un moteur asynchrone

La structure d'un moteur asynchrone se compose de trois fonctions.

a) Fonctions mécaniques

- Transmission du couple : par arbre et palier.
- Fixation de la machine : soit par pattes, soit par flasques.
- Support des éléments : carcasses, flasques.
- Refroidissement : ventilation intérieure et extérieure.

b) Fonction magnétique

Elle assure la circulation du flux magnétique, c'est essentiellement le circuit magnétique statorique, le circuit rotorique et l'entrefer.

c) Fonction électrique

- Au stator, c'est l'enroulement ou bobinage relié au réseau.
- Au rotor, c'est l'enroulement induit, en général en court-circuit (cage d'écureuil) ou à rotor bobiné.

L'ensemble de ces organes est représenté sur les vues éclatées (**fig. 4 et 5**).

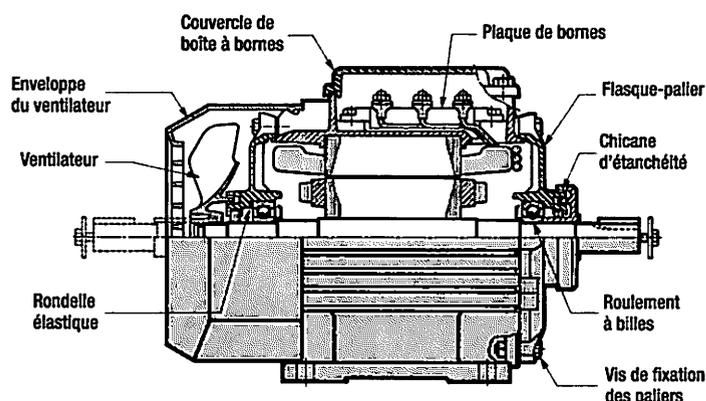


Fig. 5 : Moteur 63 L à 80 de hauteur d'axe en coupe (Leroy-Somer).

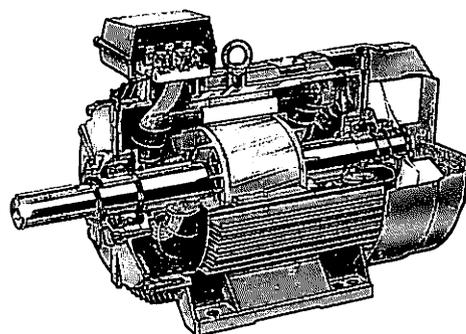


Fig. 4 : Moteur asynchrone triphasé (ABB).

Les matériaux utilisés pour la construction des moteurs asynchrones sont, essentiellement, du cuivre pour les enroulements, des tôles ferromagnétiques et de l'aluminium pour la carcasse.

3 Caractéristiques

3.1. Tension et fréquence (fig. 6)

Les moteurs triphasés sont construits pour être alimentés en courant alternatif 50 Hz. La tension d'alimentation normale est de 230 V avec un couplage triangle et 400 V avec couplage-étoile.

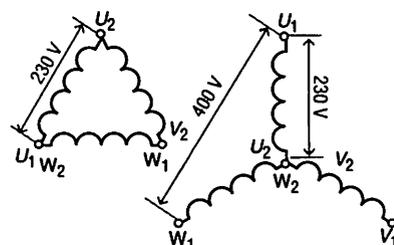


Fig. 6 : Bobinage 230/400 V (peut exister aussi en 400/690 V).

3.2. Intensité et $\cos \varphi$ (fig. 7)

L'intensité absorbée par un moteur à vitesse normale est relativement constante, car c'est surtout le facteur de puissance, ou $\cos \varphi$, qui varie en fonction de la charge. En revanche, au moment du démarrage, l'intensité de démarrage (I_d) peut être de 3 à 7 fois plus grande qu'en régime normal. Les constructeurs donnent le rapport I_d/I_n .

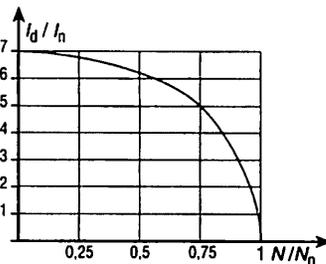


Fig. 7 : Variation de l'intensité au moment du démarrage.

3.3. Vitesse-Puissance-Couple (fig. 8)

Il s'agit de caractéristiques mécaniques :

- **La vitesse** est liée à la fréquence et au nombre de paires de pôles, au glissement près, soit de 2 à 5 % de la vitesse (tours par minute).
- **La puissance** est celle donnée sur l'arbre moteur, elle s'exprime en watts, elle est déterminante dans le choix d'un moteur. Les dimensions d'un moteur sont directement liées à sa puissance et à sa vitesse.
- **Le couple**, fourni par le moteur, est variable au moment du démarrage (fig. 8). Il s'exprime en mètre déca Newton (m. daN).

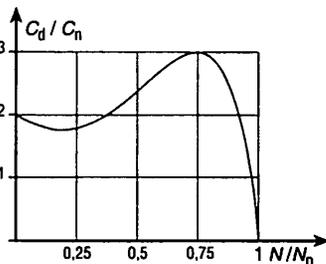


Fig. 8 : Couple de démarrage.

3.4. Échauffement, classe d'isolation

Les échauffements tolérés en fonction des classes d'isolation sont indiqués dans le tableau ci-dessous. Ces échauffements sont donnés par une température ambiante de 40 °C et définis par la norme NFC 51 111.

Classe d'isolation	E	B	F	H
Échauffement maxi °C	75	80	100	125
Température limite (°C)	115	120	140	165

Les moteurs de série sont bobinés en classe B ou F.

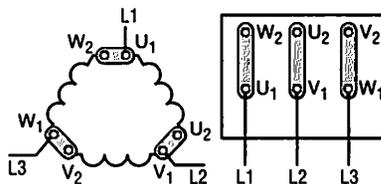


Fig. 9 : Branchement en triangle, tension inférieure.

3.5. Schéma de branchement

Les moteurs triphasés possèdent 3 enroulements qui sont reliés à 6 bornes repérées U1, V1, W1 et U2, V2, W2 ; le positionnement de trois barrettes permet d'alimenter le moteur sous deux tensions différentes en triangle (fig. 9), en étoile (fig. 10).

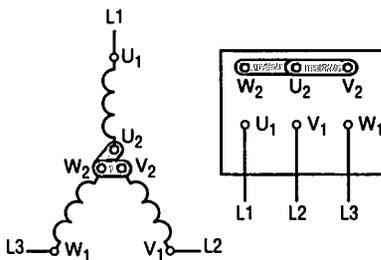


Fig. 10 : Branchement en étoile, tension supérieure.

3.6. Protection mécanique

Les moteurs électriques sont souvent soumis aux intempéries, aux poussières, éventuellement à des chocs mécaniques. Leur construction fermée correspond à des indices de protection IP.

IP 23 : moteur protégé, IP 44 : fermé, IP 55 : étanche.

3.7. Plaque signalétique d'un moteur triphasé.

Exemple de plaque (fig. 11) :

- MOT, LS 315 MR : il s'agit d'un moteur asynchrone type fermé : de 315 de hauteur d'axe (LS, Leroy Somer) ;
- N° FL 512 825 : numéro de fabrication ;
- ~ 3 et $\cos \varphi$ 0,86 : moteur triphasé ayant un $\cos \varphi = 0,86$;
- 50 Hz - IP 55 - 785 kg : fréquence 50 Hz ; indice de protection 55, c'est un moteur fermé ; la masse est de 785 kg ;
- Δ 400 234 A : valeur des tensions et courants en montages triangle ;
- min^{-1} 1 485 : vitesse de rotation 1 485 tr/min ;
- S1 : service permanent - Cl-F : classe d'isolation.

MOT. 3 ~ LS 315 MR N° 116412/2 785 kg	
Code : _____ T	
IP 55	I cl. F 40°C S1 % c/h
Δ 380	50 1485 132 0,86 244
Δ 400	50 1485 132 0,85 234
Δ 415	50 1485 132 0,84 229
DE 6320 C3	50g
NDE 6317 C3	3 900h
MOTEURS LEROY-SOMMER	

Fig. 11 : Plaque signalétique de moteur asynchrone (Leroy-Somer).

3.8. Présentation mécanique

– La fixation des moteurs peut s'effectuer selon trois procédés : fixation à pattes, fixation à bride à trous lisses, ou à bride à trous taraudés.

– La position de l'axe du moteur peut être horizontale ou verticale.

– La dimension caractéristique, à retenir pour un moteur, est sa hauteur d'axe (*fig. 12*), hauteurs d'axes normalisées :

56, 63, 71, 80, 90, 100, 112, 132, 160, 180, 200, 225, 250...

Toutes ces caractéristiques sont des valeurs assignées en fonctionnement à pleine charge.

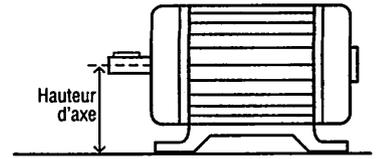


Fig. 12 : Hauteur d'axe.

4 Mesures à vide et en charge

Un moteur en fonctionnement est accessible surtout au niveau de sa plaque à bornes. Les mesures s'effectuent le plus souvent à l'aide d'un contrôleur universel qui permet de contrôler :

– **Les tensions** : leurs mesures s'effectuent soit entre phases soit aux bornes des enroulements (*fig. 13*).

– **Les intensités** : on emploie des pinces ampèremétriques (*fig. 14*) qui permettent de s'isoler du réseau. En général, une seule pince permet de mesurer les courants I_1 , I_2 , I_3 (*fig. 15*).

– **La puissance** : le wattmètre permet la mesure simultanée de l'intensité sur une phase et des trois tensions. Le choix des calibres s'effectue à l'aide d'un commutateur (*fig. 16*).

Remarque : Les appareils multifonctions permettent de contrôler successivement tension, fréquence, intensité, puissance et $\cos \varphi$.

– **Mesure des résistances d'isolement** (*fig. 17*)

Elle s'effectue à l'aide d'un ohmmètre d'isolement, le câble d'alimentation étant débranché. On vérifie toujours la résistance d'isolement entre chaque enroulement et la masse du moteur et entre enroulements (U_1-V_1), (U_1-W_1) et (V_1-W_1).

La mesure de la résistance d'isolement s'effectue sous 500 V et l'isolement minimum doit être de 100 mégohms à froid. On mesure rarement la résistance des enroulements car sa valeur est très faible. Si cette mesure est effectuée, on utilise un ohmmètre très précis permettant l'exploitation des résultats.

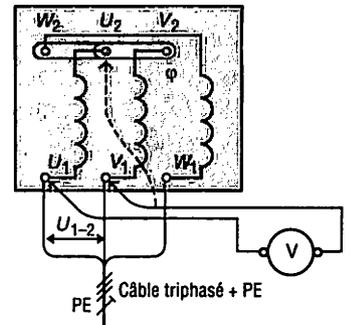


Fig. 13 : Vérification des tensions triphasées d'alimentation.



Fig. 14 : Pinces de mesures multifonctions (ITT Métrix).

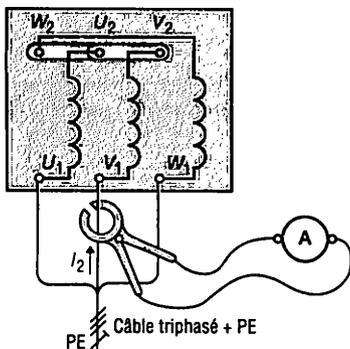


Fig. 15 : Mesure des intensités à l'aide d'une pince ampèremétrique.

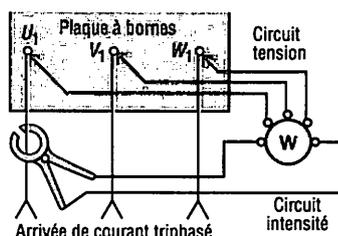


Fig. 16 : Mesure de puissance avec contrôleur multifonctions triphasé ou en monophasé.

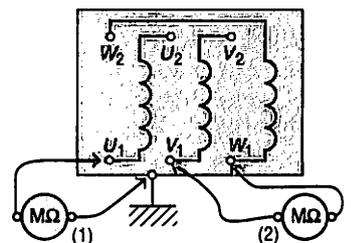


Fig. 17 : Mesure de résistance d'isolement entre enroulement et masse (1) et entre enroulement (2).

5 Moteur asynchrone monophasé

Machines à laver, réfrigérateurs, aspirateurs... tous ces appareils nécessitent l'emploi de moteurs monophasés de puissance inférieure à 1 kW (moteurs fractionnaires).

5.1. Principe de fonctionnement (fig. 18)

Deux bobines alimentées par le même courant sinusoïdal de fréquence f créent dans l'air deux champs magnétiques de sens inverse. À la mise sous tension, l'aiguille aimantée vibre. Si l'on donne une impulsion à l'aiguille, elle se met à tourner dans le sens de l'impulsion et se trouve entraînée par le champ tournant produit par les bobines.

5.2. Constitution

Le moteur monophasé est de construction analogue au moteur triphasé, mais les enroulements du stator n'occupent que les 2/3 des encoches.

5.3. Démarrage du moteur monophasé (fig. 19)

Pour les moteurs nécessitant un couple de démarrage important, on utilise un enroulement auxiliaire avec condensateur temporaire ; dans les autres cas, le condensateur est permanent.

a) Démarrage par contact centrifuge (fig. 20)

À la mise sous tension, la phase auxiliaire en série avec le condensateur est alimentée. Lorsque le moteur atteint environ 70 % de sa vitesse, un contact centrifuge coupe le circuit de la phase auxiliaire.

b) Démarrage par relais auxiliaire

La coupure de la phase auxiliaire s'effectue par un relais auxiliaire temporisé.

Remarques :

- L'inversion du sens de rotation s'effectue en inversant les fils du circuit de la phase auxiliaire.
- Pour améliorer le rendement du moteur, on peut laisser un condensateur permanent sur l'enroulement auxiliaire, mais sa valeur est plus faible que celui nécessaire au moment du démarrage (4 fois plus faible).
- Les condensateurs de démarrage ont une valeur importante, de l'ordre de 35 à 40 μF par ampère absorbé par le moteur.

5.4. Caractéristiques

- **Puissance** : elle est en général inférieure à 1 kW, son maximum est de 5 kW.
- **Vitesse** : elle est en générale 1500 ou 3000 tr/min, dans les machines à laver, les deux vitesses sont obtenues par des enroulements séparés.
- **Rendement** : il est assez mauvais et compris entre 45 et 70 %.
- **Couple de démarrage** : il est de 0,5 à 1,7 fois le couple nominal.

Ces moteurs sont très pratiques quand on ne dispose que d'un réseau monophasé, mais ils sont limités aux faibles puissances.

- **Caractéristiques électriques** : voir tableaux pages 86 et 87.

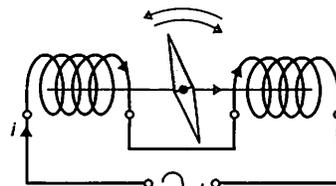


Fig. 18 : Un choc sur l'aiguille aimantée dans un sens ou dans l'autre permet d'obtenir sa rotation.

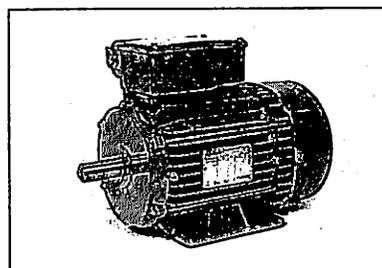


Fig. 19 : Moteur asynchrone monophasé avec condensateur dans la plaque à bornes.

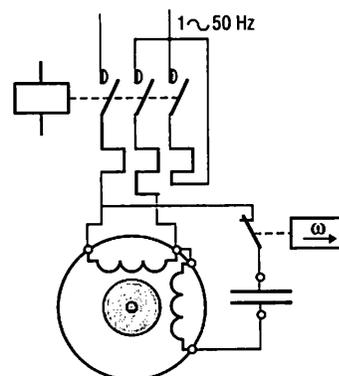


Fig. 20 : Démarrage par phase auxiliaire et contact centrifuge.

6 Machines synchrones

C'est l'**alternateur** qui permet de produire le courant alternatif que nous utilisons en permanence. L'alternateur qui est générateur peut aussi fonctionner en moteur, on l'appelle alors **moteur synchrone**.

6.1. Alternateur (fig. 21)

a) Principe de fonctionnement (fig. 22)

Un aimant, ou un électro-aimant alimenté en courant continu entraîné en rotation, produit un champ magnétique tournant. Si une bobine est placée dans ce champ, chaque spire est le siège d'une force électromotrice induite alternative dont la fréquence est $f = p \cdot n$.

b) Constitution (fig. 23)

Un alternateur ou générateur synchrone comporte essentiellement :

- le **rotor** formé d'un électro-aimant entraîné en rotation et qui constitue l'inducteur ;
- le **stator** constitué par l'ensemble des bobines montées dans le circuit magnétique fixe et qui constitue l'induit.

c) Caractéristiques principales

L'alternateur constitue la source ou le générateur du réseau électrique, il est caractérisé principalement par :

- la tension nominale ou assignée et la puissance nominale ;
- la fréquence du courant et la vitesse de rotation.

d) Couplage d'un alternateur sur le réseau

Les alternateurs de petite et moyenne puissance, souvent employés comme groupe de secours dans les hôpitaux ou locaux recevant du public, peuvent être utilisés aussi comme énergie d'appoint aux heures de pointe. Pour cela il faut les coupler sur le réseau. Les conditions de couplage sont représentées à la **figure 24**.

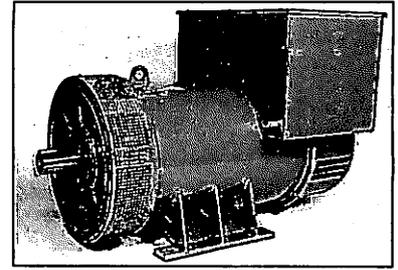


Fig. 21 : Alternateur triphasé 5 kW avec ventilation.

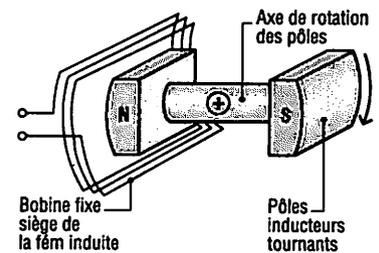


Fig. 22 : Principe de fonctionnement de l'alternateur.

6.2. Moteur synchrone

a) Principe

C'est la réversibilité de l'alternateur. Lorsque le stator est alimenté par un réseau triphasé il produit un champ tournant qui entraîne les pôles du rotor à la vitesse de synchronisme.

b) Constitution et caractéristiques

Elles sont identiques à celles de l'alternateur.

c) Démarrage

Le moteur synchrone ne possède pas de couple de démarrage ; il est nécessaire de l'entraîner, à la vitesse de synchronisme, pour pouvoir le coupler au réseau comme l'alternateur.

Alimenté à fréquence variable, il devient un **moteur Brushless**.

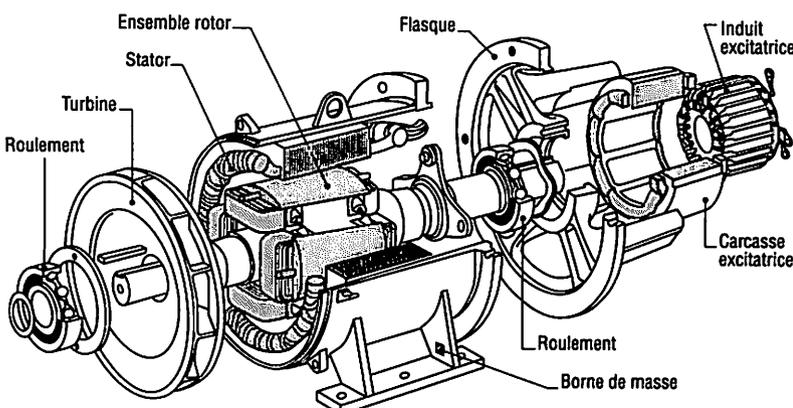
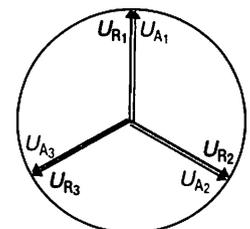


Fig. 23 : Vue éclatée d'une machine synchrone (Leroy-Somer).

$$f = p n$$

f = fréquence en hertz (Hz)
 p = nombre de paires de pôles
 n = tours par seconde (tr/s)



- 1 – Correspondance des phases : ordres de branchement des phases.
- 2 – Égalité des tensions.
- 3 – Synchronisme entre tension du réseau et de l'alternateur.

Fig. 24 : Conditions de couplage d'un alternateur sur un réseau.

L'essentiel

■ Le moteur asynchrone se compose d'un stator fixe, comportant des enroulements ou bobinage reliés au réseau et un rotor qui peut être en court-circuit ou bobiné.

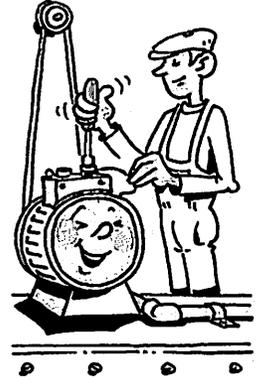
■ Les caractéristiques d'un moteur sont principalement : la puissance, la tension, la vitesse. D'autres caractéristiques sont à prendre en compte : l'intensité, le $\cos \varphi$, le couple moteur, la fréquence, la classe d'isolation, la protection mécanique ainsi que la hauteur d'axe et le mode de fixation.

Les mesures sur un moteur en service s'effectuent au niveau de sa plaque à bornes, moteur sous tension pour les mesures de tension, courant, puissance, $\cos \varphi$. Les mesures de résistance d'isolement se font sur un moteur débranché.

■ Les moteurs monophasés, surtout employés en faible puissance (≤ 1 kW), ont un mauvais rendement et posent des problèmes de démarrage.

■ L'alternateur est une machine synchrone destinée à produire le courant alternatif des réseaux ou des circuits de secours. La puissance électrique fournie est fonction de la puissance de la machine d'entraînement, sa tension est réglable à partir du courant d'excitation.

Le moteur synchrone est caractérisé par sa vitesse constante ou de synchronisme ; il nécessite un système de démarrage et de couplage sur le réseau. Il est de plus en plus utilisé avec une alimentation électronique à fréquence variable. On l'appelle alors moteur autosynchrone (*Brushless*).



VRAI OU FAUX ?

Parmi les affirmations suivantes, indiquez celles qui sont vraies.

1. Le moteur asynchrone fonctionne sur le principe des champs tournants.
2. Le rotor du moteur asynchrone est entraîné par un champ électrique.
3. Le champ magnétique tournant crée des courants induits.
4. Dans un moteur, le couple fait partie des grandeurs d'entrée.
5. La tension d'alimentation et le courant absorbé font partie des grandeurs d'entrée.
6. La puissance utile du moteur est une grandeur de sortie.
7. La vitesse de rotation d'un moteur asynchrone est indépendante de la fréquence.
8. La vitesse de rotation d'un moteur asynchrone dépend du nombre des pôles.
9. Le circuit magnétique du stator assure en partie la fonction magnétique.
10. Un rotor bobiné est appelé rotor à cage d'écureuil.
11. La carcasse en aluminium fait partie du circuit magnétique du stator.
12. Les flasques du moteur peuvent servir de fixation.
13. Un moteur de 230/400 V doit être branché en triangle sur un réseau 400/690 V.
14. L'intensité absorbée au démarrage d'un moteur asynchrone est de une à deux fois l'intensité nominale.
15. L'échauffement d'un moteur est indépendant de sa classe d'isolation.
16. On peut mesurer l'intensité d'un moteur électrique en l'absence de tension.
17. La mesure de l'isolement d'un moteur doit donner au moins 100 mégohms.
18. Un moteur monophasé nécessite toujours un condensateur pour son fonctionnement.
19. Un condensateur permet le démarrage d'un moteur asynchrone monophasé.
20. Un moteur synchrone est un moteur asynchrone sans la lettre A.

RÉSOLUS

1. Sur la plaque signalétique d'un moteur on a relevé les indications suivantes :

LS 90 L triphasé 50 Hz 230/400 V - 1 420 tr/min, 1,5 kW - IP 55 - Classe B.

Indiquez leurs significations.

Solution :

Il s'agit d'un moteur triphasé alimenté à la fréquence 50 Hz sous une tension de 230 ou 400 V entre phases, tournant à la vitesse de 1 420 tours par minute, d'une puissance sur l'arbre de 1,5 kW avec une protection IP 55 qui correspond à une construction fermée ; enfin il s'agit d'un moteur de hauteur d'axe 90 mm de Leroy-Somer (LS 90).

2. Dans un atelier de menuiserie, le moteur d'une scie à ruban est hors service (mesure d'isolement entre phases et masse 10 000 Ω). On a relevé les indications suivantes :

$$U = 230/400 \text{ V} - 3 \text{ ch} - 1 430 \text{ tr/min}$$

La fixation est effectuée à l'aide de pattes. On vous demande de donner les références du moteur de remplacement (documentation p. 86 et 87).

Solution : La documentation des pages 86 et 87 s'applique aux moteurs triphasés 50 Hz, la puissance de 3 ch correspond au moteur LS 100 L qui est un moteur à rotor en court-circuit dont la vitesse est de 1 435 tr/min ; il correspond à la demande.

3. Dans un atelier de mécanique le moteur d'une perceuse sensitive est hors service (mesure d'isolement entre phases et masse 5 000 Ω). On a relevé les indications suivantes :

$$U = 230 \text{ V} - 1,5 \text{ kW} - 2 800 \text{ tr/min}$$

On vous demande de donner les références du moteur de remplacement (documentation p. 86).

Solution : D'après la documentation page 86, le moteur monophasé, LS 90 P de 1,5 kW, vitesse 2 790 tr/min⁻¹, $I_n = 9,5 \text{ A}$, facteur de puissance 0,95, rendement 73 % convient.

À RÉSOUDRE

1. Dans un atelier de mécanique, le moteur d'un tour est détérioré ; on a relevé sur la plaque signalétique les indications suivantes :

$$400/690 \text{ V} - 7,5 \text{ ch} - 1 420 \text{ tr/min}$$

Recherchez le type de moteur de remplacement et justifiez votre choix.

2. Que signifient les indications suivantes portées sur la plaque signalétique d'un moteur triphasé ?

230/400 V - 50 Hz, 2 950 tr/min. 30 kW - CAG - Classe F - IP 55 - $\cos \varphi = 0,86$.

3. Un moteur asynchrone monophasé défectueux porte les indications :

$$1/3 \text{ ch} - 2 800 \text{ tr/min} - 230 \text{ V} - 50 \text{ Hz}$$

En vous aidant du tableau de la page 86 indiquez le type et les caractéristiques du moteur de remplacement.

4. Un moteur de pompe ayant un défaut d'isolement, on décide de le remplacer avec le moins de modifications mécaniques possibles. Le moteur actuel possède une hau-

teur d'axe de 112 mm, sa vitesse étant de 1 450 tr/min. Indiquez le type et la puissance du moteur ayant ces caractéristiques mécaniques.

5. Un moteur électrique triphasé ancien n'a plus de plaque signalétique, mais il fonctionne normalement sur un réseau 127/220 V. Le couplage de ses enroulements est en étoile, pourra-t-on le brancher sur un réseau 230/400 V ? Pourquoi ?

6. Recherchez dans la documentation les caractéristiques électriques d'un moteur de 25 ch - 1 450 tr/min alimenté en 230/400 V triphasé-50 Hz.

7. Recherchez dans la documentation les caractéristiques électriques d'un moteur monophasé de 1,1 kW - 1 410 tr/min alimenté en 230 V-50 Hz.

8. Recherchez dans la documentation les caractéristiques électriques d'un moteur monophasé de 0,75 kW - 2 790 tr/min alimenté en 230 V-50 Hz. Indiquez l'ordre de grandeur du condensateur de démarrage.

Symboles des machines tournantes

Éléments de machines

Symboles	Désignation
	Enroulement de compensation ou de commutation
	Enroulement série
	Enroulement d'excitation en dérivation ou séparé
	Balais sur bague ou sur collecteur à lames. Les balais sont représentés seulement si cela est nécessaire.

Types de machines

	Machine symbole général L'astérisque * doit être remplacé par les lettres : C : Commutatrice G : Génératrice GS : Alternateur synchrone M : Moteur MG : Moteur ou Générateur MS : Moteur synchrone
	Moteur linéaire
	Moteur pas à pas

Machines asynchrones

Symboles	Désignation
	Moteur asynchrone triphasé à rotor en court-circuit
	Moteur asynchrone monophasé à phase auxiliaire sortie et rotor en court-circuit
	Moteur asynchrone triphasé à rotor à bague
	Moteur asynchrone triphasé à stator monté en étoile, avec démarreur automatique dans le rotor
	Moteur linéaire asynchrone triphasé à déplacement dans un seul sens

Machines synchrones

Symboles	Désignation
	Alternateur synchrone triphasé à inducteur à aimant permanent
	Moteur synchrone monophasé
	Alternateur synchrone triphasé à induit monté en étoile avec neutre sorti
	Commutateur triphasé à excitation en dérivation

Machines à courant continu

Symboles	Désignation
	Moteur à courant continu à excitation en série
	Moteur à courant continu à excitation en dérivation
	Génératrice à courant continu à excitation composée, à courte dérivation, représentée avec bornes et balais

Indications sur les symboles (exemples)

Symboles	Désignation
	Moteur à courant continu à excitation en série, 120 V - 500 W
	Alternateur synchrone triphasé à six bornes sorties, tension 6 000 V, puissance 1 000 kVA, 50 Hz avec excitation sous 110 V

Moteurs asynchrones 3 ~ et 1 ~ Caractéristiques électriques

IP 55 - S1 - Classe F - 50 Hz - ΔT 80 K

2
Pôles
3000 min⁻¹

MOTEURS TRIPHASÉS (multi-tension)

RÉSEAU Δ 230 / Y 400 V OU Δ 400 V

50 HZ

Type	Puissance nominale à 50 Hz P_N kW	Vitesse nominale N_N min ⁻¹	Couple nominal C_N Nm	Intensité nominale $I_N(400 V)$ A	*Facteur de puissance $\cos \varphi$	*Rendement η %	Courant démarrage/ Courant nominal I_D/I_N	Courant démarrage/ Couple nominal M_D/M_N	Couple maximal/ Couple nominal M_M/M_N	Masse IM B3 kg
LS 56 L	0,09	2740	0,3	0,3	0,78	59	4,2	2,8	2,6	3,8
LS 56 L	0,12	2760	0,4	0,46	0,76	56	3,9	2,2	2,4	3,8
LS 63 E	0,18	2825	0,6	0,5	0,8	67	5,5	3,3	2,8	4,8
LS 63 E	0,25	2830	0,8	0,66	0,78	71	6,8	3,3	4	6
LS 71 L	0,37	2820	1,3	0,95	0,83	71	4,8	3	3,5	6,4
LS 71 L	0,55	2800	1,9	1,35	0,85	75	5	2,6	2,8	7,3
LS 71 L	0,75	2810	2,5	1,8	0,82	75	6	2,8	3,2	8,3
LS 80 L	0,75	2840	2,5	1,6	0,87	76	5,9	2,4	2,2	8,2
LS 80 L	1,1	2845	3,7	2,3	0,86	79,5	6,7	2,7	2,4	9,7
LS 80 L	1,5	2850	5	3	0,88	81,5	7,5	3	2,8	11,3
LS 90 S	1,5	2870	5	3,3	0,82	79	7	3,6	3,2	12
LS 90 L	1,8	2870	6	3,6	0,89	82	8,3	3,6	3,2	14
LS 90 L	2,2	2850	7,4	4,4	0,89	82	7,5	3,6	3,2	16
LS 100 L	3	2860	10	6,3	0,83	81	7,6	3,8	3,9	20
LS 112 M	4	2840	13,5	8,2	0,86	81	8,4	4,2	3,5	22
LS 112 MG	5,5	2900	18,1	11,5	0,83	83	8,4	3,2	3,4	30
LS 132 S	5,5	2900	18,1	11,5	0,83	83	8,4	3,2	3,4	32,5
LS 132 S	7,5	2920	24,5	15,3	0,84	85	8,6	3,3	3,5	39
LS 132 M	9	2900	29,6	17,5	0,88	85	7,6	3,2	3,7	49
LS 132 M	11	2915	36	21,2	0,86	87	7,6	3	3,7	54
LS 160 M	11	2935	35,8	20,4	0,87	89,5	8,5	3	3,3	62
LS 160 MP	15	2935	48,8	27,6	0,87	90	8,5	3,4	3,6	72
LS 160 L	18,5	2945	60	33,2	0,88	91,4	8,4	3,0	3,4	92

MOTEURS MONOPHASÉS

À condensateur permanent (P)

230 V

Type	Puissance nominale à 50 Hz P_N kW	Vitesse nominale N_N min ⁻¹	Intensité nominale $I_N(230 V)$ A	Facteur de puissance $\cos \alpha$ 4/4	Rendement η %	Courant démarrage Courant nominal I_D/I_N	Masse IM B3 kg
LS 56 P	0,09	2800	1,1	0,74	51	3	4,2
LS 63 P	0,12	2820	1	0,90	57	4	5
LS 63 P	0,12	2820	1	0,90	57	4	5
LS 63 P	0,18	2820	1,4	0,90	62	4,5	5,2
LS 63 P	0,18	2820	1,4	0,90	62	4,5	5,2
LS 71 P	0,25	2780	2	0,90	63	3,4	5,5
LS 71 P	0,37	2850	3	0,85	70	4,5	7,5
LS 71 P	0,55	2770	3,8	0,97	70	4,5	8
LS 80 P	0,75	2790	5,3	0,94	70	4	11
LS 80 P	1,1	2760	6,5	0,95	72	4	11
LS 90 P	1,1	2750	7,8	0,91	70	4,2	16,5
LS 90 P	1,5	2790	9,5	0,95	73	4,7	17,5

Moteurs asynchrones Caractéristiques électriques

IP 55 - S1 - Classe F - 50 Hz - ΔT 80 K

4
Pôles
1500 min⁻¹

MOTEURS TRIPHASÉS (multi-tension)

RÉSEAU Δ 230 / Y 400 V OU Δ 400 V

50 HZ

Type	Puissance nominale à 50 Hz P_N kW	Vitesse nominale N_N min ⁻¹	Couple nominal C_N Nm	Intensité nominale $I_N(400 V)$ A	*Facteur de puissance $\cos \varphi$	Rendement η %	Courant démarrage/ Courant nominal I_D/I_N	Courant démarrage/ Couple nominal M_D/M_N	Couple maximal/ Couple nominal M_M/M_N	Masse IM B3 kg
LS 56 L	0,09	1370	0,6	0,36	0,7	55	2,9	2	2,2	4
LS 63 E	0,12	1375	0,8	0,44	0,77	56	3	2,2	2,2	4,8
LS 63 E	0,18	1410	1,2	0,62	0,75	63	3,7	2,3	2,3	5
LS 71 L	0,25	1435	1,7	0,7	0,74	70	4,6	2,3	2,7	6,4
LS 71 L	0,37	1425	2,5	1,12	0,7	70	4,4	2,3	2,6	7,3
LS 71 L	0,55	1390	3,8	1,65	0,75	66	3,7	1,9	2,2	8,3
LS 80 L	0,55	1400	3,8	1,6	0,74	67	4,4	2,1	2,2	8,2
LS 80 L	0,75	1400	5,1	2	0,77	70	4,5	2,4	2,5	9,3
LS 80 L	0,9	1425	6	2,3	0,73	73	5,8	2,6	2,4	10,9
LS 90 S	1,1	1425	7,4	2,5	0,82	77	4,7	1,7	2,3	11,5
LS 90 L	1,5	1430	10	3,6	0,81	75	5,2	1,8	2,2	13,5
LS 90 L	1,8	1435	12	4	0,81	80	6	2,2	2,8	15,2
LS 100 L	2,2	1430	14,7	5,1	0,81	76	5,3	2	2,4	18
LS 100 L	3	1425	20,1	7,2	0,78	77	5,2	2,2	2,6	20,8
LS 112 M	4	1425	26,8	9,1	0,79	80	5,7	2,4	2,6	24,4
LS 132 S	5,5	1430	36,7	11,9	0,82	82	6,4	2,3	2,6	38,7
LS 132 M	7,5	1450	49,4	15,2	0,84	85	7,7	2,7	3,1	54,7
LS 132 M	9	1450	59,3	17,8	0,85	86	7,1	2,1	3	59,9
LS 160 MP	11	1455	72,2	21,1	0,85	88,5	7,7	2,8	3,4	70
LS 160 LR	15	1450	98,8	29,1	0,84	88,8	7,5	2,9	3,3	78
LS 180 MT	18,5	1450	121,9	35,4	0,84	89,7	7,4	2,9	3,3	100
LS 180 LR	22	1450	145	42,1	0,84	89,7	7,4	3,2	3,5	110

MOTEURS MONOPHASÉS

À condensateur permanent (P)

230 V

Type	Puissance nominale à 50 Hz P_N kW	Vitesse nominale N_N min ⁻¹	Intensité nominale $I_N(230 V)$ A	Facteur de puissance $\cos \alpha$ 4/4	Rendement η %	Courant démarrage/ Courant nominal I_D/I_N	Masse IM B3 kg
LS 56 P	0,06	1420	0,7	0,90	40	2,7	4
LS 63 P	0,12	1405	1,2	0,97	50	2,85	5
LS 63 P	0,12	1405	1,2	0,97	50	2,8	5
LS 71 P	0,18	1440	1,8	0,78	55	3,9	6
LS 71 P	0,25	1440	2,2	0,83	63	4,3	7
LS 71 P	0,37	1410	2,9	0,88	63	4	7,5
LS 80 P	0,55	1370	4,3	0,87	67	3,6	10,5
LS 80 P	0,75	1370	5,5	0,87	65	3,9	12
LS 90 P	1,1	1410	8,5	0,87	67	3,5	17,5

10

Démarrage des moteurs asynchrones

Le moteur asynchrone d'induction possède un fort couple de démarrage, qui consomme de trois à sept fois son intensité nominale. Il existe différentes solutions pour réduire cette intensité de démarrage, les unes électromécaniques étudiées dans ce chapitre, les autres électroniques étudiées dans la gestion de l'énergie (chapitre 13).

1 Démarrage direct

1.1. Principe (fig. 1)

Les enroulements du stator sont couplés directement sur le réseau, le moteur démarre et atteint sa vitesse nominale ; c'est le procédé le plus simple.

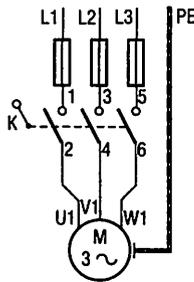


Fig. 1 : Démarrage direct par interrupteur.

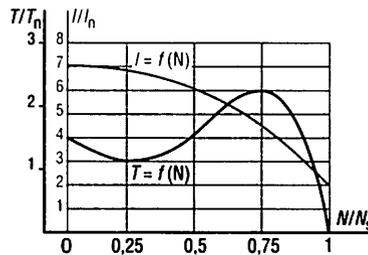


Fig. 2 : Courbes du couple et de l'intensité au démarrage direct.

1.2. Caractéristiques (fig. 2)

a) Intensité

La courbe $I_n = f(N)$ indique une surintensité de 4 à 8 fois l'intensité nominale au moment du démarrage.

b) Couple moteur

Au moment du démarrage, le couple moteur est en moyenne de 1,5 à 2 fois le couple nominal.

$$I_d = 4 \text{ à } 8 I_n \quad T_d = 0,5 \text{ à } 1,5 T_n$$

1.3. Démarrage par contacteurs

a) Circuit de puissance (fig. 3)

Le moteur est alimenté en triphasé par l'intermédiaire du contacteur, la protection est assurée par des fusibles et le relais thermique.

b) Circuit de commande (fig. 4)

L'action sur S2 enclenche KM qui s'auto-alimente, l'arrêt est provoqué par S1. C'est la fonction mémoire.

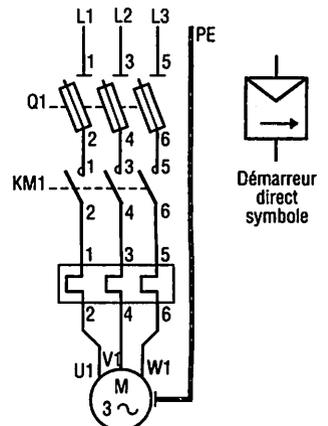


Fig. 3 : Démarrage direct par contacteur et son symbole.

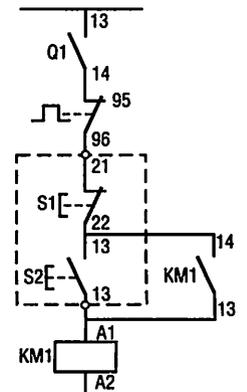


Fig. 4 : Circuit de commande.

OBJECTIFS

- Pour effectuer le raccordement électrique d'une machine au réseau d'alimentation, on doit passer par un appareillage de commande qui assure le démarrage des moteurs.
- Il faut être capable de connaître cet appareillage afin d'effectuer correctement le couplage des enroulements et le branchement.

SAVOIR TECHNOLOGIQUE

S 2.4

1.4. Inversion du sens de marche (fig. 5)

a) Circuit de puissance

On inverse deux conducteurs de phases, le troisième restant inchangé. Un verrouillage mécanique est nécessaire pour éviter le court-circuit entre les deux phases dans le cas où les contacteurs KM1 et KM2 seraient fermés ensemble.

b) Circuit de commande

Un verrouillage électrique par les contacts à ouverture KM1 et KM2 permet de compléter le verrouillage mécanique (fig. 6).

Ce procédé de démarrage est simple, le couple important donne un temps de démarrage très court. Mais le courant d'appel étant très important, dans le réseau public, ce procédé n'est autorisé que pour des machines de puissance inférieure à 7,5 ch.

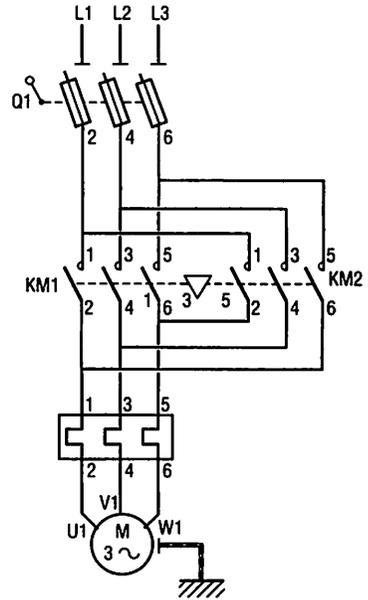


Fig. 5 : Contacteur inverseur.

2 Démarrage étoile-triangle

Ce procédé ne peut s'appliquer qu'aux moteurs dont toutes les extrémités d'enroulements sont sorties sur la plaque à bornes et dont le couplage triangle correspond à la tension du réseau, soit :

- pour un réseau 230 V, entre phases moteur, 230/400 V,
- pour un réseau 400 V, entre phases moteur, 400/690 V.

2.1. Principe (fig. 7 et 8)

Le démarrage s'effectue en deux temps :

- 1^{er} temps : mise sous tension et couplage étoile des enroulements.

Le moteur démarre à tension réduite $\frac{U}{\sqrt{3}}$.

- 2^e temps : suppression du couplage étoile et mise en couplage triangle. Le moteur est alimenté à pleine tension.

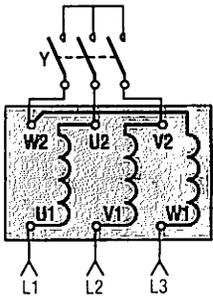


Fig. 7 : Couplage étoile (Y).

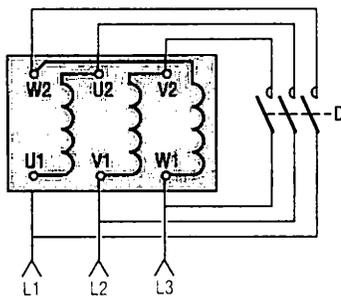


Fig. 8 : Couplage triangle (D).

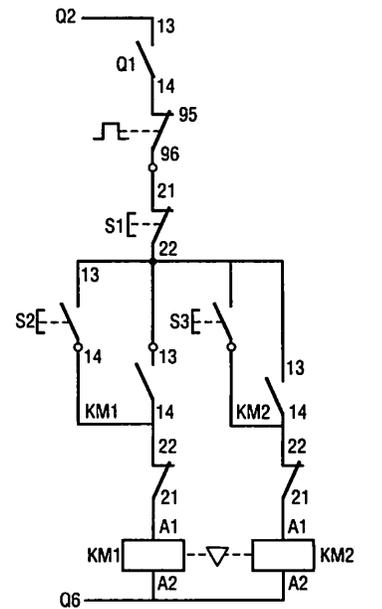


Fig. 6 : Circuit de commande pour contacteur inverseur.

2.2. Caractéristiques (fig. 9)

a) Intensité

La courbe $I_n = f(N)$ nous montre que l'appel de courant est le tiers de l'appel au démarrage direct en triangle.

b) Couple

Le couple est sensiblement trois fois plus faible qu'en démarrage direct.

$$I_D \approx 1,3 \text{ à } 2,6 I_n$$

$$T_D = 0,2 \text{ à } 0,5 T_n$$

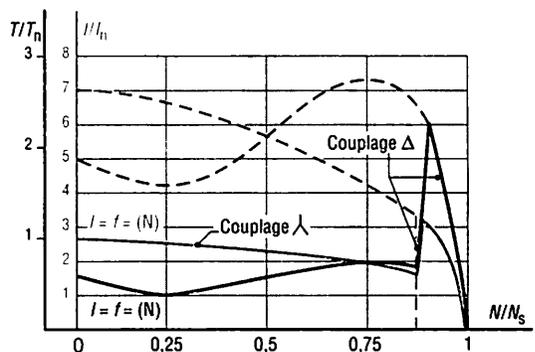


Fig. 9 : Courbes du couple et de l'intensité en démarrage Y/D.

2.3. Démarrage par contacteurs

a) Circuit de puissance (fig. 10)

Le contacteur KM1 établit le point étoile, alors que le contacteur KM3 réalise les liaisons des trois enroulements en triangle. Chacun de ces deux contacteurs remplace les barrettes sur la plaque à bornes de moteur.

b) Circuit de commande (fig. 11)

L'appui sur le bouton S2-marche provoque l'enclenchement de KM1 et KM2 ; l'ouverture du contact temporisé KM2 provoque le déclenchement de KM1 et l'enclenchement de KM3.

c) Inversion du sens de marche

Un inverseur en début du circuit de puissance permet d'inverser le sens de marche.

2.4. Conclusions

Ce montage permet de réduire l'appel de courant au démarrage en utilisant un appareillage assez simple. Néanmoins, il présente deux inconvénients : le couple est très réduit et il y a coupure au moment du passage d'étoile en triangle avec une nouvelle pointe. On emploie ce procédé surtout pour les machines qui démarrent à vide, ventilateurs, machines à bois, etc.

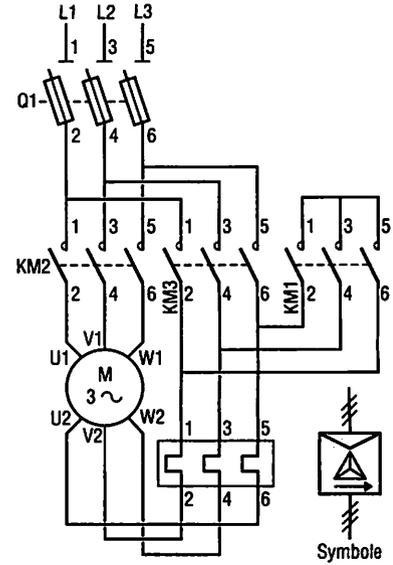


Fig. 10 : Démarrage étoile-triangle et symbole.

3 Démarrage à résistances statoriques

3.1. Principe

L'alimentation à tension réduite est obtenue dans un premier temps par la mise en série d'une résistance dans le circuit, cette résistance est ensuite court-circuitée (fig. 12).

3.2. Caractéristiques (fig. 13)

a) Intensité

Elle n'est réduite que proportionnellement à la tension appliquée au moteur.

b) Couple moteur

Il est réduit, et diminue comme le carré de la diminution de tension.

$$I_D = 4,5 I_n \quad T_D = 0,75 T_n$$

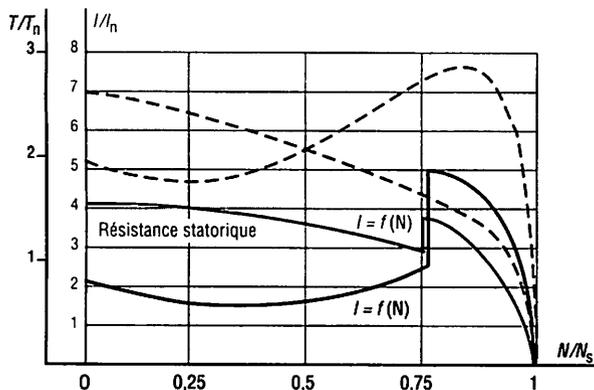


Fig. 13 : Courbes de couple et d'intensité en démarrage par résistances statoriques.

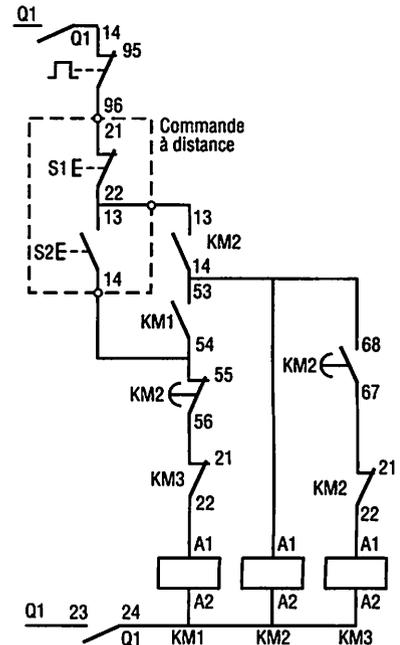


Fig. 11 : Circuit de commande d'un démarreur étoile-triangle.

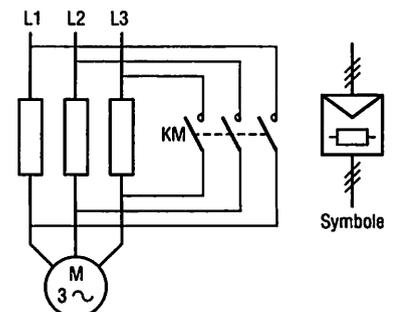


Fig. 12 : Principe du démarrage à résistances statoriques et symbole.

4 Démarrage rotorique

Ce procédé de démarrage exige l'emploi d'un moteur asynchrone triphasé à rotor bobiné avec sortie de l'enroulement rotorique sur trois bagues.

4.1. Principe

On limite le courant absorbé au stator en augmentant la résistance du circuit du rotor, ce qui s'effectue en montant en série dans le circuit du rotor des résistances que l'on élimine, au fur et à mesure que le moteur prend sa vitesse. Par exemple : démarrage en 3 temps (fig. 14 et 15).

4.2. Caractéristiques

a) Intensité

Le courant absorbé est sensiblement proportionnel ou très peu supérieur au couple fourni (fig. 16).

b) Couple

Le couple de démarrage est de 2 à 2,5 fois le couple nominal sans surintensité excessive (fig. 17).

$$I_D < 2,5 I_n \quad T_D < 2,5 T_n$$

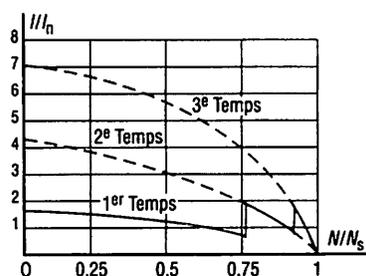


Fig. 16 : Courbes de variation de l'intensité.

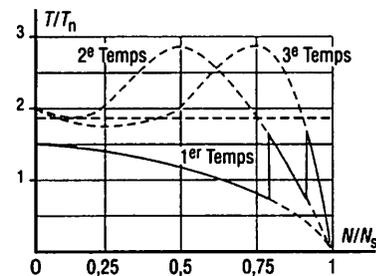


Fig. 17 : Courbes de variation du couple.

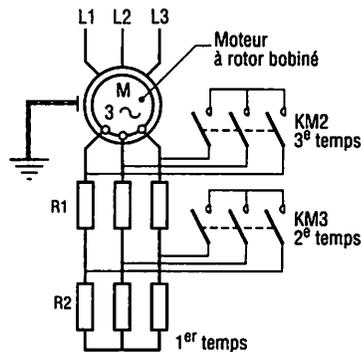


Fig. 14 : Principe du démarrage rotorique.

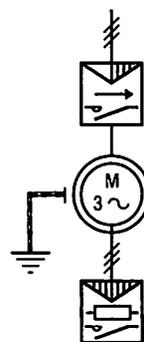


Fig. 15 : Symbole du démarreur rotorique.

5 Démarrage par gradateur électronique

Les gradateurs à thyristors ont tendance de plus en plus à remplacer les autres systèmes de démarrage.

5.1. Principe

La tension appliquée au moteur est réglée par des thyristors, à une valeur telle que l'intensité reste constante pendant toute la période de démarrage. La valeur du courant de démarrage est réglée à la mise en service.

Le symbole du démarreur par thyristors est donné figure 18.

5.2. Caractéristiques

a) Intensité

Elle est réglée par l'utilisateur à la mise en service, par exemple à 2,5 fois l'intensité nominale (fig. 19).

$$I_D = k \cdot I_n \quad \text{avec} \quad 1,2 < k < 4$$

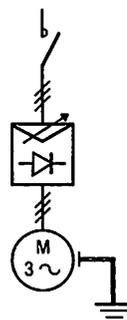


Fig. 18 : Démarreur par thyristors.

b) Couple

On peut choisir la valeur du couple de démarrage en rapport avec l'intensité. Ce dispositif permet d'obtenir un démarrage progressif, et sans à-coups (fig. 20).

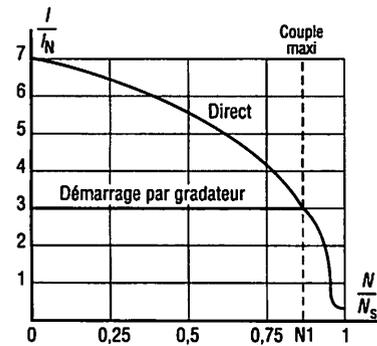


Fig. 19 : Courbe de l'intensité au démarrage par gradateur.

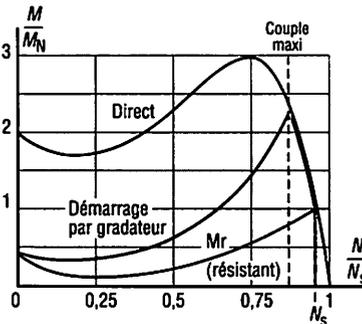


Fig. 20 : Courbe du couple de démarrage avec gradateur.

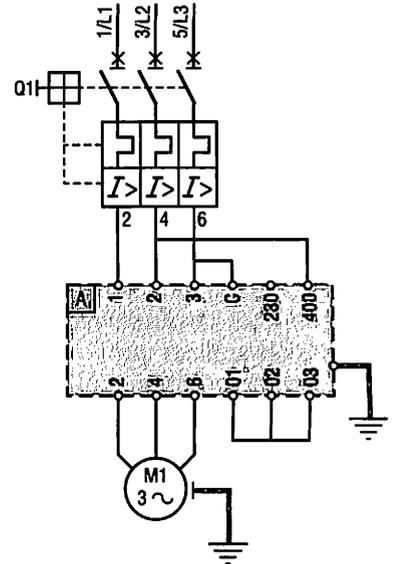


Fig. 21 : Exemple de démarrage par gradateur.

5.3. Schéma

Le gradateur est monté sur le circuit de puissance. Un circuit de protection et de commande permet de l'isoler du réseau (fig. 21).

6 Moteurs à 2 vitesses

On distingue deux types de moteurs à 2 vitesses :

- soit avec deux **enroulements séparés** ; dans ce cas les deux vitesses sont obtenues indépendamment l'une de l'autre ;
- soit avec le même enroulement dans lequel on connecte à l'envers une bobine sur deux de chaque phase. Dans ce cas on obtient deux vitesses dont l'une est double de l'autre, c'est le **montage Dahlander**.

a) Principe

– En petite vitesse (PV), on a un couplage triangle série (fig. 22), plaque à bornes (fig. 23).

– En grande vitesse (GV), le couplage est étoile parallèle (fig. 24), plaque à bornes (fig. 25).

Ces deux couplages permettent d'avoir une tension adaptée des enroulements dans les deux vitesses.

Remarque : Les vitesses sont toujours dans le rapport de 1 à 2, par exemple 1 500/750 tr/min.

b) Plaque à bornes

Elle ne comporte que six bornes, mais les repères sont différents des repères d'un moteur une vitesse (fig. 23 et 25).

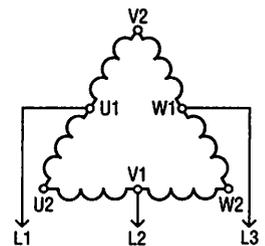


Fig. 22 : Couplage petite vitesse triangle série.

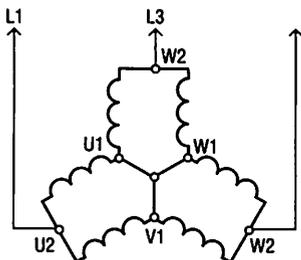


Fig. 24 : Couplage grande vitesse étoile parallèle.

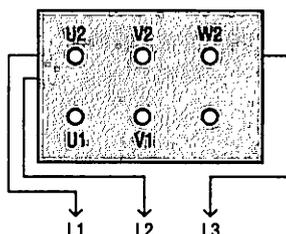


Fig. 25 : Plaque à bornes grande vitesse (GV)

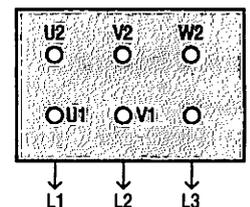


Fig. 23 : Plaque à bornes petite vitesse (PV).

c) Circuit de puissance (fig. 26)

L'ordre d'alimentation des phases doit être respecté, pour éviter un risque d'inversion du sens de rotation au moment du passage de petite vitesse en grande vitesse.

Pour la petite vitesse, seul KM1 est enclenché. Pour la grande vitesse, KM1 est coupé et ce sont KM2 et KM3 qui s'enclenchent.

d) Circuit de commande (fig. 27)

L'appui sur S2 provoque le démarrage en petite vitesse (PV).

L'appui sur S3 provoque le démarrage en grande vitesse (GV).

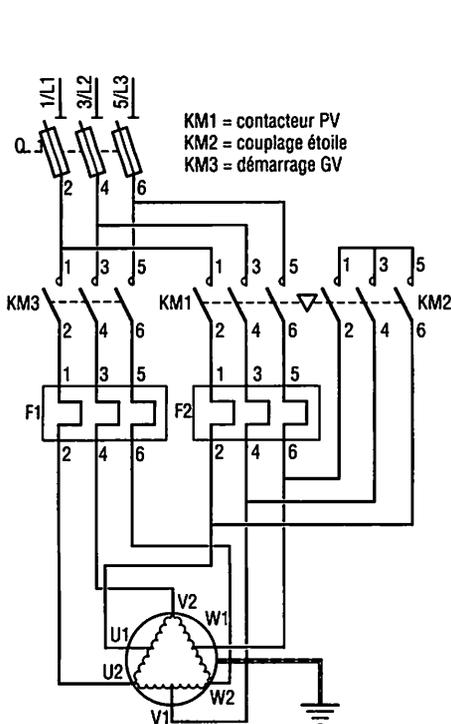


Fig. 26 : Circuit de puissance moteur à 2 vitesses.

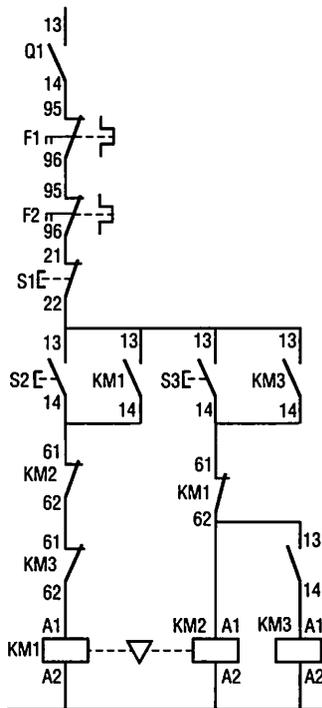


Fig. 27 : Circuit de commande moteur à 2 vitesses.

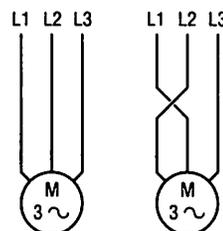


Fig. 28 : Principe du freinage à contre-courant.

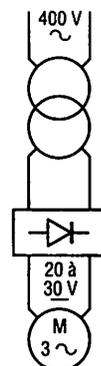


Fig. 29 : Freinage par tension continue. Pour ce type de freinage, les échauffements sont environ trois fois moins élevés que par le mode de freinage à contre-courant.

7 Freinage des moteurs asynchrones

7.1. Freinage par contre-courant

Ce mode de freinage est obtenu par inversion de deux phases. Pendant l'arrêt, il faut couper l'alimentation du moteur, sinon il repartirait en sens inverse (fig. 28). Le courant au moment du freinage est légèrement supérieur à un courant de démarrage. L'échauffement lors d'un freinage à contre-courant est équivalent à 4 démarrages.

7.2. Freinage par tension continue

Ce mode de freinage consiste à couper l'alimentation en courant alternatif et à appliquer une tension continue au stator. La tension continue est obtenue par un redresseur branché sur le réseau (fig. 29).

7.3. Freinage mécanique

Un frein électromagnétique alimenté en courant alternatif ou en continu est monté sur l'arbre du moteur. Au repos, le frein est actionné par un ressort, à la mise sous tension, le frein est débloqué par un électro-aimant (fig. 30).

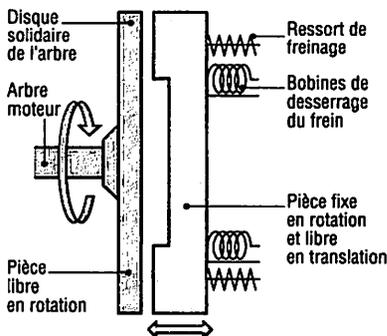
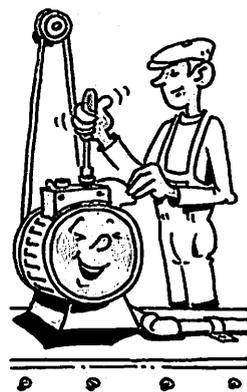


Fig. 30 : Principe du moteur frein.

L'essentiel

Type de démarrage	Intensité de démarrage	Couple de démarrage	Avantages Inconvénients
Direct	$T_D = 4 \text{ à } 8 I_n$	$I_D = 0,5 \text{ à } 1,5 T_n$	- Simplicité, démarrage court, couple important. - Appel de courant important.
Étoile triangle	$I_D = 1,3 \text{ à } 2,6 I_n$	$T_D = 0,2 \text{ à } 0,5 T_n$	- Appel de courant réduit. - Couple très réduit et coupure au passage étoile en triangle.
Résistances statoriques	$I_D = 4,5 I_n$	$T_D = 0,75 T_n$	- Démarrage progressif. - Appareillage de démarrage nécessaire.
Résistances rotoriques	$I_D < 2,5 I_n$	$T_D < 2,5 T_n$	- Appel de courant réduit couple progressif. - Nécessite un moteur à rotor bobiné.
Par gradateur	I réglable	T_D réglable	- Souplesse de démarrage. - Aucun à-coups.



- Les moteurs asynchrones à 2 vitesses utilisent le plus souvent le couplage des enroulements, montage Dahlander.
- Le freinage des moteurs peut s'obtenir électriquement par contre-courant ou injection de courant continu ou mécaniquement par un électrofrein intégré au moteur.

VRAI OU FAUX ?

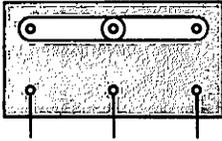
EXERCICES

Parmi les affirmations suivantes, indiquez celles qui sont vraies.

1. Dans un démarrage direct, les enroulements du moteur sont couplés directement sur le réseau.
2. Dans un démarrage direct, l'intensité absorbée est la moitié du courant nominal.
3. Un démarrage étoile-triangle permet de diminuer le courant d'appel.
4. Dans un démarrage étoile-triangle, le couple est trois fois plus important qu'en démarrage direct.
5. Dans un démarrage statorique, pour diminuer la tension aux bornes des enroulements, on insère des condensateurs.
6. Dans un démarrage rotorique, on utilise un moteur asynchrone à rotor bobiné.
7. Dans un démarrage rotorique, pour diminuer l'intensité absorbée au stator, on augmente la résistance du rotor.
8. Dans un démarrage rotorique, on augmente la résistance du rotor au fur et à mesure que le moteur prend de la vitesse.
9. Pour régler la valeur de l'intensité de démarrage, on utilise un gradateur électronique.
10. Avec un gradateur électronique, on peut régler l'intensité de démarrage à n'importe quelle valeur.
11. Le gradateur assure lui-même la protection et la commande du moteur.
12. Un moteur à deux vitesses à enroulements séparés permet d'obtenir deux vitesses complètement différentes.
13. Le montage de Dahlander permet d'obtenir deux vitesses dans le rapport de un à deux.
14. Un moteur tournant en petite vitesse 475 tours/min et en grande vitesse 900 tours/min est un moteur Dahlander.
15. La plaque à bornes d'un moteur deux vitesses comporte 12 bornes.
16. On peut freiner un moteur en inversant deux phases.
17. En injectant du courant continu entre deux phases d'un moteur, on provoque un freinage.
18. Le freinage mécanique est obtenu à l'aide d'un frein à disque.
19. Les échauffements dans un freinage par contre-courant sont équivalents à 4 démarrages.
20. Dans un freinage mécanique, l'électro-aimant est alimenté à l'arrêt du moteur.

RÉSOLUS

1. Un moteur asynchrone fonctionne sur un réseau triphasé 400 V. Le couplage réalisé sur sa plaque à borne est indiqué ci-dessous. La plaque signalétique étant effacée, pouvez-vous donner les tensions de fonctionnement de ce moteur ?



Solution :

Il s'agit d'un couplage étoile des enroulements sous 400 V entre phases. Chaque enroulement étant soumis à une tension de 230 V, ce moteur convient pour les tensions :

- 230 V couplage triangle ;
- 400 V couplage étoile.

2. Un moteur triphasé porte les indications suivantes : 400/690 V.

a) Peut-on effectuer un démarrage étoile-triangle et quelle doit être la tension du réseau ?

b) Sachant que ce moteur a une puissance de 25 kW, donnez la référence du démarreur étoile-triangle à commander.

Solution : a) Oui, on peut effectuer un démarrage étoile-triangle et cela sur un réseau 400 V entre phases.

b) D'après la fiche page 97, pour un réseau 400 V et une puissance de 25 kW, il faudra un démarreur « étoile-triangle » en coffret.

Réf. LE3-D325-V7

3. Un moteur asynchrone triphasé LS 100 L a une puissance de 3 kW. En utilisant le graphique fig. 9, indiquez pour un démarrage étoile-triangle, le couple et l'intensité de démarrage.

Solution : Pour le moteur LS 100 L, la documentation p. 86 indique $P = 3 \text{ kW}$, couple = 10 Nm, $I = 6,3 \text{ A}$. D'après le graphique fig. 9 :

$$C_d = 1,5 C_n = 10 \times 1,5 = 15 \text{ Nm},$$

$$I_d = 2,6 I_n = 6,3 \times 2,6 = 16,38 \text{ A}.$$

À RÉSOUDRE

1. Un moteur asynchrone triphasé porte l'indication 130/230 V. Peut-on effectuer un démarrage étoile-triangle sur un réseau triphasé 230/400 V ? Pourquoi ?

2. Un moteur asynchrone triphasé doit être alimenté par un réseau triphasé 400 V, et on souhaite réaliser pour ce moteur un démarrage étoile-triangle. Quelles doivent être les tensions portées sur sa plaque signalétique ?

3. Un équipement de démarrage direct par contacteur nécessite deux postes de commande marche-arrêt. Faites le schéma du circuit développé correspondant et tracez le circuit multifilaire de raccordement des 2 postes de commande sur les 3 ou 4 bornes de l'équipement.

4. Vous disposez d'un moteur 400/690 V que vous devez brancher sur un réseau 380 V entre phases, quel couplage devez-vous réaliser ?

5. Tracez le schéma d'un équipement de démarrage étoile-triangle avec 2 sens de marche, commandé par boîte à boutons-poussoirs avant, arrière, arrêt.

6. On veut remplacer un démarrage étoile-triangle manuel par un équipement automatique. Prévoyez le coffret de commande sachant qu'il s'agit d'un réseau 400 V et que la puissance du moteur est de 11 kW.

7. Vous venez de brancher un moteur 2 vitesses commandé par un équipement à contacteur. Le moteur démarre bien en petite vitesse, mais au moment du passage en grande vitesse la protection fait déclencher l'équipement. Quelles erreurs a-t-on pu faire ? et comment réparer ?

8. Réalisez le schéma du circuit de commande du moteur à démarrage statorique dont le circuit de puissance est représenté figure 12 page 90. Ce circuit de commande doit permettre le démarrage en deux temps du moteur.

9. Réalisez le schéma du circuit de puissance d'un démarrage rotorique à 3 temps, en automatique.

10. Représentez le schéma du circuit de commande d'un démarrage rotorique à 3 temps, en automatique.

Symboles de démarreurs, de convertisseurs et de générateurs

Symboles fonctionnels de démarreurs de moteurs

Symboles	Désignation
	Démarreur de moteur symbole général
	Démarreur opérant par échelons, le nombre d'échelons peut être indiqué
	Démarreur - régleur
	Démarreur avec mise à l'arrêt automatique
	Démarreur direct par contacteur pour deux sens de marche
	Démarreur étoile triangle
	Démarreur par autotransformateur
	Démarreur - régleur par thyristors
	Démarreur automatique, symbole général, la partie hachurée peut être remplacée par une surface pleine
	Démarreur semi-automatique
	Démarreur rhéostatique
	Démarreur série-parallèle
	Démarreur par changement du nombre de pôles exemple : 8/4 pôles
	Exemple : Moteur asynchrone triphasé avec démarreur automatique par contacteur pour les deux sens de marche avec mise à l'arrêt automatique
	Démarreur rotorique rhéostatique automatique à 4 échelons

Convertisseurs de puissance NF C 03-206

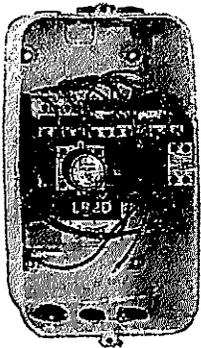
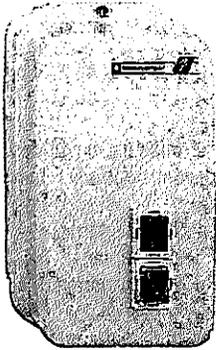
Symboles	Désignation
	Convertisseur, symbole général
	Convertisseur de courant continu
	Redresseur
	Redresseur en couplage à double voie (en pont)
	Onduleur
	Redresseur / Onduleur

Générateurs et piles NF C 03-206

Symboles	Désignation
	Élément de pile ou d'accumulateur, trait long pôle positif, trait court pôle négatif
	Variante
Forme 1	Batterie d'accumulateurs ou de piles. On peut indiquer le nombre d'éléments, la tension et la nature des éléments
Forme 2	
	Générateur symbole général
	Générateur thermoélectrique à source de chaleur
	Générateur photo-voltaïque

Démarrateurs « étoile-triangle » de 3 à 75 kW, sans sectionneur

Références, encombrements, schémas



LE3-D095

Coffret sans sectionneur, relais thermique à commander séparément⁽¹⁾

puissances normalisées des moteurs à cage tensions réseau « triangle »				tensions usuelles	référence de base à compléter par le repère de la tension ⁽²⁾
220 V kW	380 V kW	415 V kW	440 V kW		

fréquence maximale de démarrage/heure : LE3-K : 12 et LE3-D : 30
durée maximale de démarrage : 30 secondes

3	5,5	5,5	5,5	F7 M7 U7	LE3-K065••
4	7,5	7,5	7,5	F7 M7 U7	LE3-K095••
				F7 M7 U7	ou LE3-D095•• ⁽³⁾
5,5	11	11	11	F7 M7 U7	LE3-D125••
11	18,5	22	22	F7 M7 U7	LE3-D185••
15	25	30	30	F7 M7 U7	LE3-D325••
18,5	37	37	37	F7 M7 U7	LE3-D405••
30	55	59	59	F7 M7 U7	LE3-D505••
37	75	75	75	F7 M7 U7	LE3-D805••

(1) Protection contre les surcharges par relais thermique à commander séparément. Le calibre du relais doit permettre la réglage à 0,58 du courant nominal du moteur, voir pages A399, A403, A404.

(2) Tensions du circuit de commande existantes.

LE3-K								
volts c 50/60 Hz	24	48	110	127	220	230	230/240	
repère	B7	E7	F7	FC7	M7	P7	U7	

LE3-K										
volts c 50/60 Hz	24	48	110	220/230	230	240	380/400	400	415	440
repère	B7	E7	F7	M7	P7	U7	Q7	V7	N7	R7

(3) Choix en fonction de l'encombrement et du nombre de manœuvres (voir courbes AC-3 page A7).

Spécifications

enveloppe	LE3-D09...D80	coffret métallique IP 559
commande par 2 boutons montés sur le couvercle du coffret	LE3-D09...D18	1 bouton "I" Marche (vert) 1 bouton "O" Arrêt/Réarmement (rouge)
pas de bouton de commande	LE3-D32...D80	
connexions	LE3-K06 et K09 LE3-D09...D80	réalisées pour les circuits de commande et de puissance

Un temporisateur LA2-DS2 impose un retard de 40 ms ± 15 ms au contacteur "triangle" au moment de la commutation, afin d'assurer un temps de coupure suffisant au contacteur "étoile".

Variantes (montées par nos soins)

désignation	montage possible sur	numéro à indiquer en fin de référence du démarreur ⁽⁴⁾
pas de bouton	LE3-D09...D18	A04
1 bouton "R" Réarmement (bleu)	LE3-D09...D80	A05
1 bouton "I" Marche (vert)	LE3-D32...D80	A06
1 bouton "O" Arrêt/Réarmement (rouge)		
1 borne de neutre	LE3-K06 et K09	A59
les démarreurs commandés en 240 V (U7) en sont équipés d'origine	LE3-D09...D80	

(4) Exemple : LE3-D095F7A04

Autres réalisations

■ Associations possibles de 2 variantes.
Consulter notre agence commerciale.

11

Machines à courant continu

Les machines à courant continu sont **réversibles** ; de génératrices elles peuvent devenir moteurs. À l'heure actuelle, les génératrices sont peu utilisées, en revanche, les moteurs sont très employés dans les domaines de la traction électrique du levage et chaque fois que l'on a besoin d'une vitesse variable.

Rappels d'électrotechnique

1.1. Principe

a) Création d'une force électromotrice (fig. 1)

– Si l'on considère le conducteur 1 placé sur l'induit qui tourne, ce conducteur coupe les lignes de champ, il est alors le siège d'une force électromotrice (fém) dont le sens est donné par la règle des trois doigts de la main gauche (fig. 2).

– Si l'on considère la spire formée par le conducteur (1) et le conducteur (2) diamétralement opposés, les deux forces électromotrices s'ajoutent, on peut fermer le circuit. On a réalisé un générateur de courant.

b) Valeur de la fém

Elle est donnée par la relation d'électrotechnique :

$$E = N n \phi$$

E = force électromotrice en volts (V)
 N = nombre de conducteurs de l'induit
 n = vitesse de rotation en tours par seconde (tr/s)
 ϕ = flux inducteur en webers (Wb)

c) Réversibilité (fig. 3)

Si on fait passer un courant dans la spire (fig. 1), en présence du flux inducteur, une force agit sur les conducteurs et fait tourner l'induit.

On a réalisé ainsi un moteur à courant continu. La machine à courant continu fonctionne aussi bien en génératrice quand elle est entraînée, qu'en moteur quand elle est alimentée en courant continu : c'est la **réversibilité**.

1.2. Relations relatives aux moteurs

a) Loi d'Ohm

Un moteur en rotation présente une force contre-électromotrice, la loi d'Ohm s'applique selon le schéma (fig. 4).

$$U = E' + RI$$

U = tension aux bornes du moteur en volts (V)
 E' = force contre-électromotrice en volts (V)
 I = courant absorbé en ampères (A)
 R = résistance interne du moteur en ohms (Ω)

b) Vitesse de rotation

La formule de la force contre-électromotrice est :

$$E' = N n \phi \quad \text{d'où} \quad n = \frac{E'}{N \phi}$$

OBJECTIFS

Pour effectuer la mise en œuvre des machines à courant continu, il faut être capable :

- de repérer les circuits internes ;
- d'effectuer les couplages des enroulements et le raccordement au réseau ;
- d'exploiter les mesures courantes sur la machine, à vide et à charge nominale.

SAVOIR TECHNOLOGIQUE

S 2.4

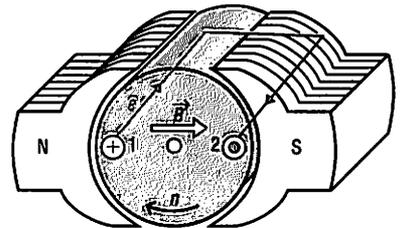


Fig. 1 : Création d'une force électromotrice.

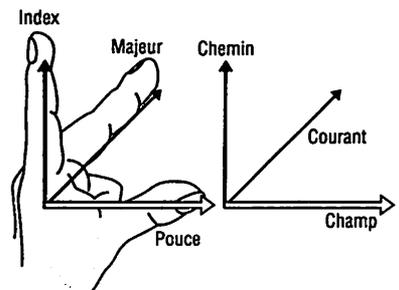


Fig. 2 : Règle des 3 doigts.

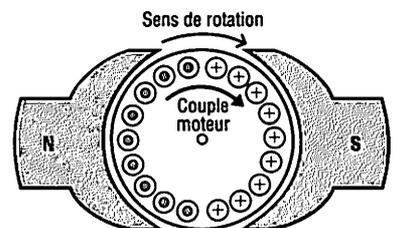


Fig. 3 : L'action d'un champ sur un courant produit une force.

En remplaçant E' par sa valeur dans la loi d'Ohm, on a :

$$n = \frac{U - RI}{N \phi}$$

- U = tension du réseau en volts (V)
- R = résistance interne en ohms (Ω)
- I = courant absorbé en ampères (A)
- N = nombre de conducteurs
- ϕ = flux inducteur en webers (Wb)

c) Puissance

On distingue la puissance électrique (P_e) utile de la puissance absorbée (P_a) au réseau.

$$P_e = E' I \quad P_a = UI$$

d) Couple moteur

C'est le couple mesuré sur l'arbre. On applique la relation de mécanique :

$$P = T \omega$$

- P = puissance mécanique en watts (W)
- T = couple moteur en mètres newtons (m.N)
- ω = vitesse angulaire en radians par seconde ($\text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$)

$$\omega = 2 \pi n$$

- n = vitesse de rotation en tours par seconde (tr/s)

On démontre en électrotechnique que le couple moteur est proportionnel au flux inducteur et au courant absorbé par le moteur.

$$T = k \phi I$$

- ϕ = flux inducteur en webers (Wb)
- I = courant absorbé en ampères (A)
- T = couple moteur en newtons mètres (Nm)

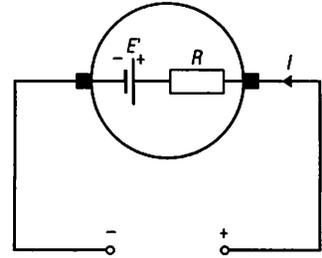


Fig. 4 : Schéma équivalent d'un moteur à courant continu. E' = force contre-électromotrice.

2 Constitution

La constitution d'une machine à courant continu (fig. 5) est la même, qu'elle fonctionne en générateur ou en moteur.

Comme dans toutes les machines électriques, les différentes pièces d'une machine à courant continu sont classées en trois catégories (fig. 6).

2.1. Organes magnétiques

Ils servent à produire le flux magnétique et à le canaliser.

Ce sont :

- le **stator** avec ses pôles inducteurs ;
- l'**induit** fixé sur l'arbre, qui est la partie tournante du circuit magnétique.

2.2. Organes électriques

Ils sont le siège de la fém et assurent la liaison avec le circuit extérieur.

Ce sont :

- les conducteurs ou faisceaux logés dans les encoches ;
- le collecteur à lames et balais pour alimenter les enroulements ;
- le bobinage inducteur pour créer le flux.

2.3. Organes mécaniques

Ils permettent de fixer les organes magnétiques et électriques les uns par rapport aux autres.

Ce sont :

- le **stator** et l'**anneau de manutention** avec pattes de fixation ;
- l'**arbre**, les **roulements** pour la rotation et la turbine de ventilation ;
- les **flasques** assurant le centrage de l'induit par rapport à l'inducteur.

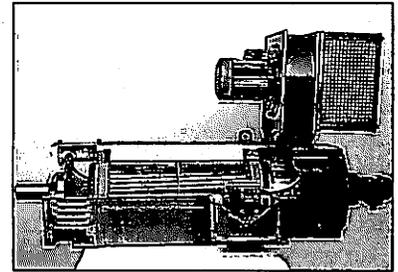


Fig. 5 : Moteur à courant continu (Leroy-Somer).

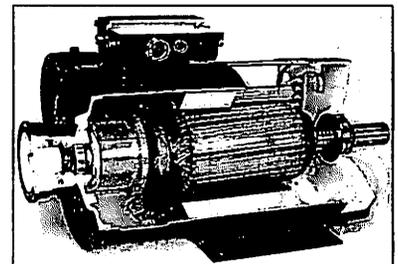


Fig. 6 : Vue en coupe d'un moteur à courant continu. (D'après Leroy-Somer.)

3 Circuits et couplage des enroulements

3.1. Différents types de moteurs (fig. 7)

On distingue plusieurs types de moteurs à courant continu :

- à **excitation séparée**, le circuit inducteur est alimenté par une source séparée ;
- à **excitation shunt ou parallèle**, le circuit inducteur est alimenté en parallèle aux bornes de l'induit ;
- à **excitation série**, inducteur monté en série avec l'induit ;
- à **excitation composée**, c'est une combinaison des deux cas précédents.

Pour éviter les étincelles aux balais, on prévoit des pôles de commutation munis d'enroulements auxiliaires qui sont toujours en série avec l'induit.

Les caractéristiques particulières à chaque type de moteur déterminent les différents emplois (tableau 1) :

Tableau 1 : Particularités et emplois des moteurs CC.

Excitation	Particularités	Emplois
Dérivation ou Indépendante	Moteur autorégulateur de vitesse, la vitesse est relativement constante quelle que soit la charge.	Moteur très utilisé avec les dispositifs à vitesse variable en excitation indépendante.
Série	Moteur autorégulateur de puissance, très fort couple de démarrage, le couple diminue quand la vitesse augmente.	Moteur très utilisé en traction électrique. Il a tendance à s'emballer à vide.

3.2. Disposition des enroulements (fig. 8)

Une machine à courant continu, que ce soit un moteur ou une génératrice, comporte essentiellement :

- un enroulement tournant, l'**induit** (bornes 1 et 2, balais) ;
- un enroulement **inducteur** qui peut être à excitation indépendante ou shunt (beaucoup de spires de fil fin) borne 9-12, ou série (peu de spires, fils de grosse section) bornes 5-8 ;
- un enroulement de **commutation**, monté en série avec l'induit et qui facilite la commutation, c'est-à-dire qui évite les étincelles aux balais en cas de changement de sens de rotation (bornes 3-4) (fig. 9).

3.3. Couplage des enroulements (fig. 10 et 11)

Pour l'inversion du sens de rotation dans un moteur à courant continu, il faut inverser le courant soit dans l'inducteur, soit dans l'induit. L'enroulement de commutation est toujours monté en série avec l'induit.

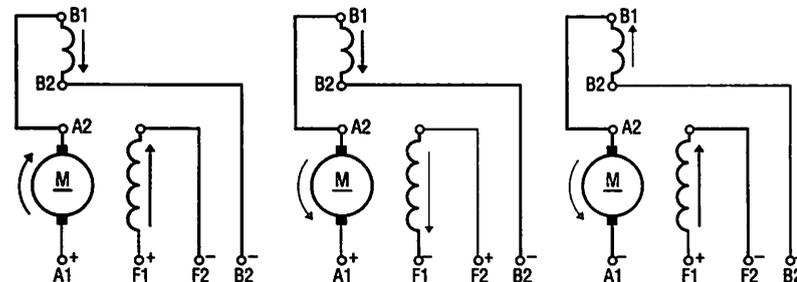


Fig. 11 : Alimentation des enroulements pour l'inversion du sens de rotation.

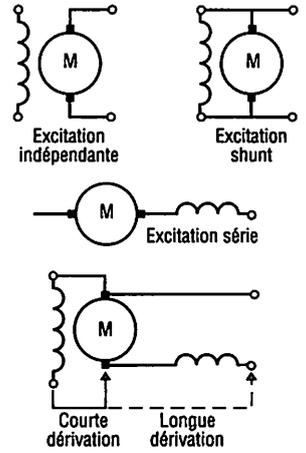


Fig. 7 : Différents modes d'excitation des machines à courant continu.

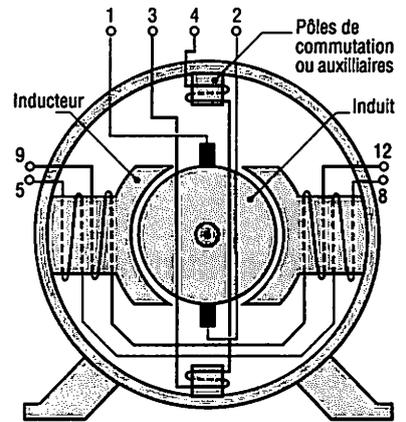


Fig. 8 : Disposition des enroulements dans une machine à courant continu. Bornes 5-8 : excitation série. Bornes 9-12 : excitation shunt.

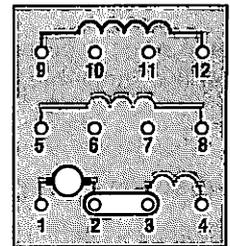
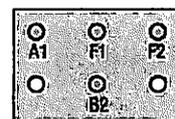


Fig. 9 : Plaque à bornes d'une machine avec enroulements d'excitation série, shunt et pôles auxiliaires de commutation.



A1 - A2 : Induit
B1 - B2 : Enroulement de commutation
F1 - F2 : Enroulement inducteur

Fig. 10 : Exemple de plaque à bornes.

3.4. Plaque signalétique d'un moteur (fig. 12)

 LR 57008 IEC 34.1.1990				2 102 451 / A MADE IN FRANCE	
MOTEUR A COURANT CONTINU DIRECT CURRENT MOTOR					
TYPE: LSK 1604 S 02 N° 700000/10 9/1992 M 249 kg					
Classe / Ins class H		IM 1001		IP 23S IC 06	
M _{nom} / Rated torque 301 N.m		Altit. 1000 m		Temp. 40 °C	
	kW	min ⁻¹	V	A	V A
Norm/Rat.	36.3	1150	440	95.5	360 3
	3.63	115	44	95.5	360 3
	36.3	1720	440	95.5	240
T Système peinture: f		Induit / Arm.		Excit. / Field	
○ Service / Duty S1		DE 6312 2RS C3		NDE 6312 2RS C3 ○	

Fig. 12 : Indications de la plaque signalétique (Leroy-Somer).

LSK : Série
160 : Hauteur d'axe
4 : Polarité

N° moteur

N° : Numéro série moteur
92 : Année de production
Mkg : Masse
IM 1001 : Position de fonctionnement
IP 23 : Indice de protection
N.m : Moment nominal

4 Mesures sur les moteurs

Afin de vérifier le bon fonctionnement des moteurs à courant continu, on peut être conduit à effectuer des mesures de tension, de courant, de puissance, de vitesse et d'isolement. Le moteur tournant à vide ou en charge, on peut effectuer ces mesures soit à la plaque à bornes soit à la sortie de l'équipement de démarrage (fig. 13).

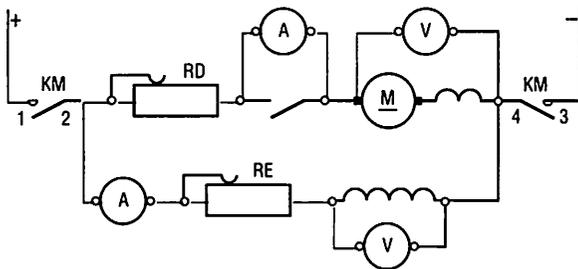


Fig. 13 : Schéma de principe des mesures sur un moteur à courant continu.

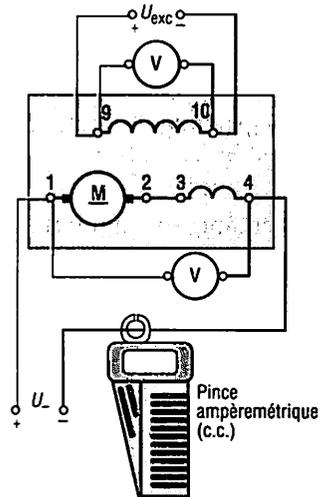


Fig. 14 : Branchement des appareils de mesure sur la plaque à bornes du moteur à courant continu.

a) Mesures de tension

Elles s'effectuent sur les bornes de l'induit, ou de l'inducteur (fig. 14).

b) Mesures d'intensité

Pour éviter de débrancher le moteur, pour mettre l'ampèremètre, ou son shunt en série dans le circuit, on préfère utiliser des pinces ampèremétriques qui fonctionnent en courant continu (sondes à effet Hall) (fig. 14).

c) Mesures de puissance

On fait le produit tension par courant, sauf si le contrôleur de mesure possède sur son commutateur une position puissance en courant continu, pour avoir la puissance absorbée.

d) Mesure de vitesse

L'emploi d'un tachymètre mécanique ou électronique donne directement la vitesse en tours/minute.

e) Mesure d'isolement (fig. 15)

Elle s'effectue, moteur débranché, à l'aide d'un mégohmmètre qui permet de relever la résistance d'isolement du moteur qui doit être supérieure à 500 kΩ ou 0,5 MΩ.

f) Calage des balais (fig. 16)

Lorsqu'un moteur tourne dans les deux sens, il est indispensable que ses balais soient bien calés sur la ligne neutre. On provoque des variations de flux en envoyant des impulsions de courant dans l'inducteur,

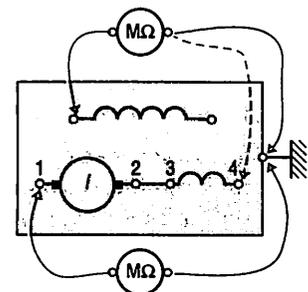


Fig. 15 : Mesures de résistance d'isolement entre inducteur et masse, inducteur et masse et entre inducteur et inducteur.

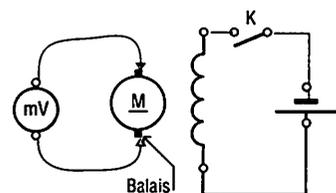


Fig. 16 : Calage des balais sur la ligne neutre.

et on observe les déviations du millivoltmètre, en décalant la couronne porte-balais. Les déviations diminuent jusqu'à s'annuler lorsque les balais sont sur la ligne neutre.

5 Les moteurs pas à pas

Le moteur pas à pas permet de réaliser des rotations brusques de fractions de tour de façon programmée ; il est très employé pour les positionnements très précis, sans contrôle de position. Ce moteur fonctionne le plus souvent en boucle ouverte.

5.1. Principe général

On alimente successivement des bobines sur le stator, et le rotor qui comporte un aimant vient se placer en face des pôles créés au stator (fig. 17 et 18).

En alimentant les bobines B_1 et B_2 selon les séquences du **tableau 2**, on obtient la rotation complète du rotor.

En règle générale, les moteurs sont constitués de deux bobines avec point milieu, ce qui donne quatre fils d'alimentation plus un point commun.

En alimentant les demi-bobines, on peut obtenir des demi-pas selon le **tableau 3**.

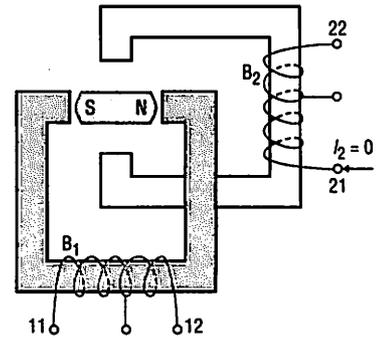


Fig. 17 : La bobine B_1 est alimentée.

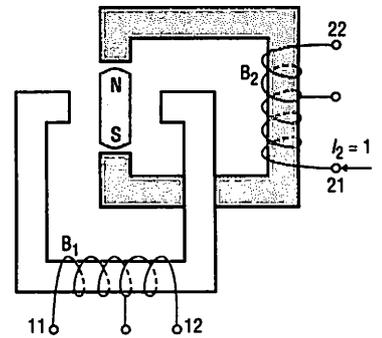


Fig. 18 : La bobine B_2 est alimentée.

Tableau 2 : Succession d'alimentations des bobines.

Bobine B_1	Bobine B_2	Rotation degrés
I_1	0	0
0	I_2	90
$-I_1$	0	180
0	$-I_2$	270
I_1	0	360

Tableau 3 : Alimentation par demi-bobine.

I_{11}	I_{12}	I_{21}	I_{22}	Rotation
1	0	0	0	0
1	0	1	0	45
0	0	1	0	90
0	1	1	0	135
0	1	0	0	180
0	1	0	1	225
0	0	0	1	270
1	0	0	1	315

5.2. Différents types de moteurs pas à pas

On distingue trois types de moteurs pas à pas :

- le moteur à **aimant permanent** (principe général) ;
- le moteur à **réluctance variable** (stator en fer doux) ;
- le moteur **hybride** qui associe les deux principes précédents.

Selon le type de moteur, le nombre de pas par tour est très différent ; on distingue :

- les moteurs à aimant permanent : 24 ou 48 pas par tour ;
- les moteurs hybrides : 200 pas par tour.

Les moteurs à réluctance variable sont peu utilisés.

5.3. Caractéristiques générales

a) Nombre de pas par tour, angle d'un pas

$$\text{Angle d'un pas} = \frac{360^\circ}{\text{Nombre de pas}} ; \text{ par exemple : } \frac{360^\circ}{48 \text{ pas}} = 7,5^\circ.$$

b) Caractéristiques électriques

- Tension aux bornes = tension continue de 2 à 24 V.
- Puissance de quelques watts à 1 kW maximum.

c) Caractéristiques mécaniques

Les constructeurs donnent pour chaque moteur les courbes de couple en fonction du nombre de pas par seconde (voir fiche de documentation p. 108).

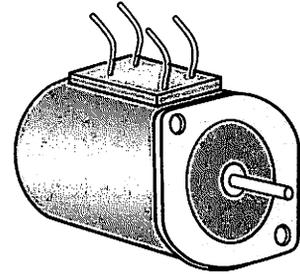


Fig. 19 : Moteur pas à pas à aimant permanent 40 pas par tour (Crouzet).

5.4. Alimentation d'un moteur pas à pas (fig. 19)

a) Circuit de puissance

Il doit réaliser l'alimentation successive ou simultanée de quatre bobines ϕ_1 à ϕ_4 (fig. 20) selon le tableau de commutation (tableau 3) précédent. Pour cela on emploie des transistors en commutation (fig. 21).

- T_1 - T_2 : transistor en commutation ;
- D_1 - D_2 : diode de roue libre ;
- R : résistance permettant de limiter la constante de temps au moment de la commutation.

b) Circuit de commande (fig. 22)

Il comprend :

- Le microprocesseur ou l'automate qui fournit des impulsions à une fréquence égale au nombre de pas par seconde, ce qui traduit la vitesse du moteur ainsi que le sens de rotation.

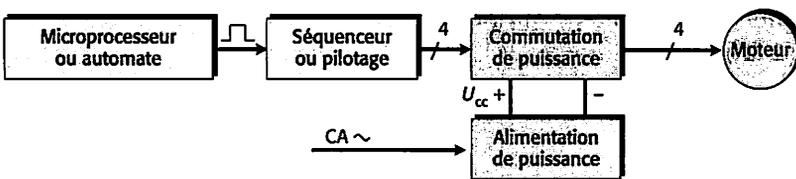


Fig. 22 : Commande d'un moteur pas à pas.

- Le séquenceur permet de traduire les impulsions reçues du microprocesseur en impulsions de commande des quatre transistors de commutation, dans l'ordre du sens de rotation voulu.

- L'alimentation de puissance permet d'obtenir la tension continue (en général 12 V) à partir du secteur 230 V ~ (voir branchements page 108).

c) Applications

Le moteur pas à pas est employé dans le positionnement automatique, pour la commande d'imprimantes, de tables traçantes, pour des déplacements rapides nécessitant de faibles efforts. La commande est programmée par automate ou microprocesseur.

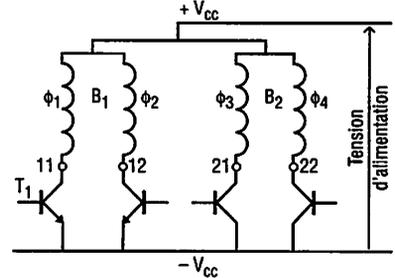


Fig. 20 : Les bobines B_1 et B_2 sont réalisées avec un point milieu.

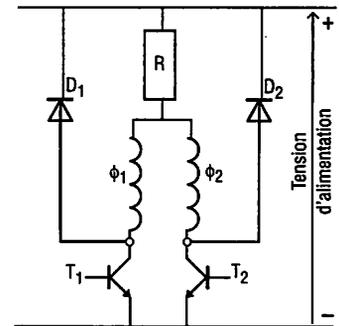


Fig. 21 : Chaque bobine est alimentée par un transistor qui fonctionne en commutation.

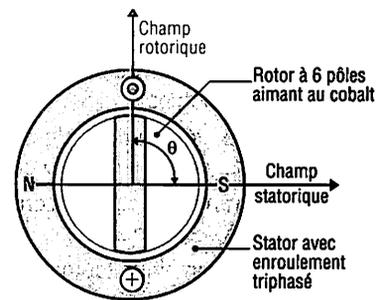


Fig. 23 : Constitution d'un moteur autosynchrone ou brushless.

6 Moteurs autosynchrone ou brushless

C'est un **moteur synchrone auto-piloté**, dans lequel le courant dans le stator (fourni par un onduleur) est imposé, de telle sorte que le déphasage entre les champs statoriques et rotoriques soit de 90° , afin d'avoir un couple moteur maximal, quelle que soit la vitesse de rotation (fig. 23). La position du rotor est contrôlée en permanence par un **capteur ou résolveur**, qui donne cette information à l'**onduleur** qui alimente le stator (fig. 24).

Ce type d'équipement est très employé en traction électrique (TGV, métro), et pour les commandes d'axes numériques.

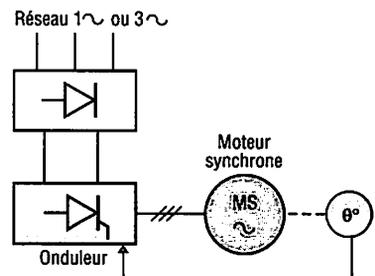


Fig. 24 : Principe de fonctionnement du moteur autosynchrone.

L'essentiel

■ Chaque fois que l'on a besoin d'une grande variation de vitesse, on a recours aux moteurs à courant continu.

■ Formules fondamentales :

$$E = N n \phi$$

$$P = T \omega$$

$$\omega = 2 \pi N$$

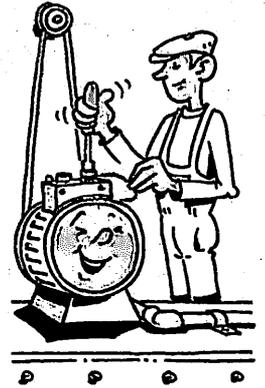
■ Les machines à courant continu sont reversibles de génératrice en moteur. Elles sont constituées d'organes magnétiques (pôles inducteurs, induit tournant), électriques (enroulements inducteurs, induit et collecteur), mécaniques (flasque, palier, carcasse, arbre, ventilateur).

■ On classe les machines à courant continu en génératrice ou moteur et dans les deux cas on distingue les différents modes d'excitation : excitation indépendante ; en dérivation ; composée ; série.

■ Les mesures de tension s'effectuent aux bornes de l'induit et de l'inducteur.

■ Les moteurs pas à pas sont caractérisés essentiellement par leur nombre de pas par tour et leur puissance. Ils nécessitent une alimentation en courant continu par impulsions qui sont données par une carte électronique.

■ Les moteurs autosynchrones ou brushless, appelés aussi synchrones autopilotés, sont des moteurs synchrones alimentés à fréquence variable par un onduleur dont la fréquence est pilotée par un capteur placé sur l'arbre du moteur.



VRAI OU FAUX ?

Parmi les affirmations suivantes, indiquez celles qui sont vraies.

1. Une machine à courant continu est réversible de génératrice en moteur.
2. Dans une génératrice, c'est l'action d'un champ magnétique sur un courant qui produit une tension.
3. Dans un moteur à courant continu, la vitesse dépend de la tension à ses bornes.
4. La partie magnétique tournante d'une machine à courant continu s'appelle l'induit.
5. Le bobinage inducteur reçoit le flux de l'induit.
6. Le bobinage induit est relié au collecteur.
7. Le contact entre le collecteur et les balais est un contact fixe.
8. Dans un moteur, le couple est transmis par les roulements à billes.
9. Un moteur à excitation en dérivation est surtout utilisé pour la traction électrique.
10. Un moteur série est caractérisé par une vitesse très constante.

11. Les enroulements de commutation diminuent les étincelles aux balais.
12. Les mesures d'isolement sur une machine à courant continu s'effectuent avec la machine sous tension.
13. Un moteur pas à pas est commandé par impulsions.
14. Un moteur pas à pas peut être à aimant permanent.
15. Un moteur à réluctance variable possède un stator en fer doux.
16. Un moteur pas à pas nécessite toujours une alimentation particulière.
17. Un moteur hybride est le mélange d'un moteur à aimant permanent et à réluctance variable.
18. La commutation des enroulements d'un moteur pas à pas s'effectue à l'aide de contacteurs.
19. Les moteurs pas à pas sont utilisés pour entraîner des pompes de grande puissance.
20. Un moteur brushless est un moteur synchrone avec un capteur de position.

RÉSOLUS

1. On relève aux bornes d'un moteur à courant continu une tension de 230 V et un courant absorbé de 9,5 A. Sa résistance d'induit étant de 2 Ω, calculez sa force contre-électromotrice et sa puissance électrique utile.

Solution :

– La fém est donnée par la relation :

$$U = E' + RI \text{ d'où on tire : } E' = U - RI$$

dans notre cas :

$$E' = 230 - 2 \times 9,5 = 230 - 19 = 211 \text{ V}$$

– La puissance électrique utile est de :

$$P_e = E' I = 211 \times 9,5 = 2\,000 \text{ W}$$

2. Sachant que le moteur précédent tourne à 1 900 tr/min et qu'il a une puissance utile de 2 kW calculez son couple pour cette vitesse.

Solution :

De la formule $P = T \omega$, on tire le couple : $T = \frac{P}{\omega}$

$$\omega = \frac{2 \pi n}{60} = \frac{2 \pi \times 1\,900}{60} = 198,8 \text{ rad/s}$$

$$\text{d'où : } T = \frac{2\,000}{198,8} = 10 \text{ Nm.}$$

3. Recherchez dans la documentation page 107, les tensions d'alimentation pour un moteur à courant continu de 5 kW dont la vitesse doit varier de 800 à 1 570 tr/min. Indiquez le courant maximum et le couple maximum produit.

Solution :

Pour le moteur de 5 kW, on relève pour les vitesses, les tensions suivantes.

Vitesse (tr/mn) : 800 960 1260 1320 1380 1440 1570

Tension (V) : 260 310 400 420 440 460 500

Courant maximum 25,5 A.

Couple maximum 61 Nm.

4. Un moteur pas à pas effectue 200 pas par tour, de quel angle tourne-t-il pour 5 pas ?

Solution :

$$\text{Angle de rotation} = \frac{360 \times 5}{200} = 9^\circ \text{ angle}$$

À RÉSOUDRE

1. Vous avez effectué les mesures suivantes sur la plaque à bornes d'un moteur à courant continu : tension 250 V, courant 14,3 A, résistance de l'induit 0,93 Ω. Calculez la fém de ce moteur et sa puissance électrique utile.

2. Sur un moteur à courant continu, on indique une puissance utile de 3 kW. Vous mesurez une vitesse de 2 800 tr/mn. Déterminez le couple utile de ce moteur à cette vitesse.

3. Un moteur à courant continu est alimenté en 230 V, sa résistance d'induit est de 1,44 Ω, son intensité nominale est de 11 A. On vous demande de déterminer la valeur de la résistance de démarrage, de façon que l'appel de courant à la mise sous tension ne dépasse pas 22 A. (Suivre la méthode de la page 106).

4. Relevez les caractéristiques d'un moteur dont le couple est de 62 N.m et qui doit donner une puissance de 9,4 kW à 1 570 tr/min (documentation p. 107).

5. Un moteur pas à pas à aimant permanent est défini par sa fiche de documentation page 108 ; recherchez la puissance absorbée lorsqu'il est alimenté sous 12,9 V.

6. Un moteur pas à pas (200 pas/tr) doit tourner de 171°. Combien de pas devrait-il faire ?

7. Un moteur série est utilisé pour un treuil de levage. Tracez le schéma du circuit de puissance, sachant qu'il est commandé par contacteur dans les 2 sens de marche.

8. Recherchez dans la documentation page 107, les tensions d'alimentation pour un moteur à courant continu de 3,5 kW dont la vitesse doit varier de 500 à 1 100 tr/min. Indiquez le courant maximum et le couple maximum produit.

9. Recherchez dans la documentation page 107, les tensions d'alimentation pour un moteur à courant continu de 9,6 kW dont la vitesse doit varier de 1 330 à 2 600 tr/min. Indiquez le courant maximum et le couple maximum produit.

Démarrage des moteurs à courant continu

1. Principe

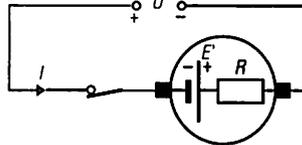
Le courant absorbé par un moteur à courant continu est donné par la loi d'Ohm :

$$U = E' + RI$$

E' = force contre-électromotrice

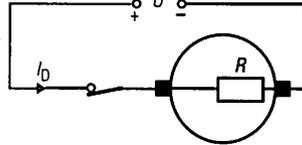
– Le courant absorbé en fonctionnement est :

$$I = \frac{U - E'}{R}$$



– À la mise sous tension, la f.cém est nulle, le courant de démarrage est alors de :

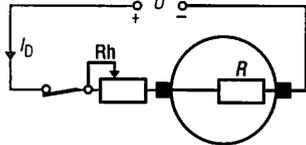
$$I_d = \frac{U}{R}$$



La résistance de l'induit étant très faible, l'intensité de démarrage est très élevée.

– Pour limiter le courant à une valeur comprise entre 1,2 et 2 I_n , on monte une résistance en série dans le circuit, d'où :

$$I_d = \frac{U}{R + Rh}$$

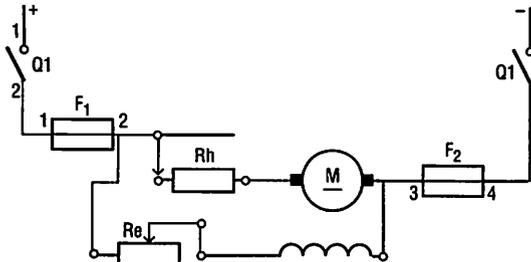


Sécurité : en cas de coupure du circuit d'excitation, il faut couper immédiatement le circuit d'induit, car il y aurait un risque d'emballement du moteur.

2. Démarrage manuel

– À la mise sous tension, le circuit d'excitation est alimenté avec le courant maximum (rhéostat d'excitation R_e au minimum de résistance).

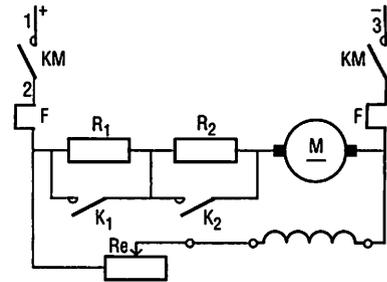
– En déplaçant le curseur du rhéostat de démarrage R_h , on passe du plot mort à la résistance maximum. En fin de démarrage $R_h = 0$.



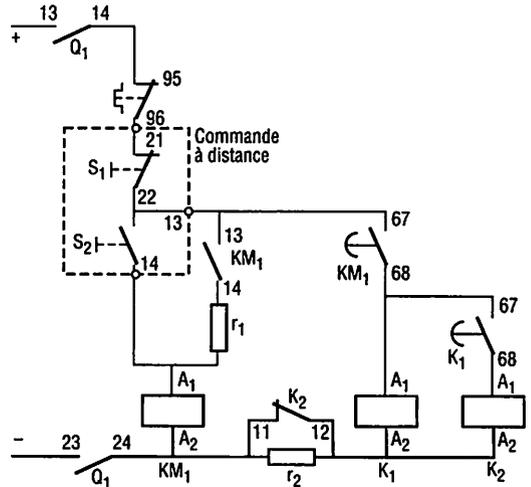
- R_h = rhéostat de démarrage avec plot mort ;
- R_e = rhéostat d'excitation.

3. Démarrage automatique

a) Circuit de puissance

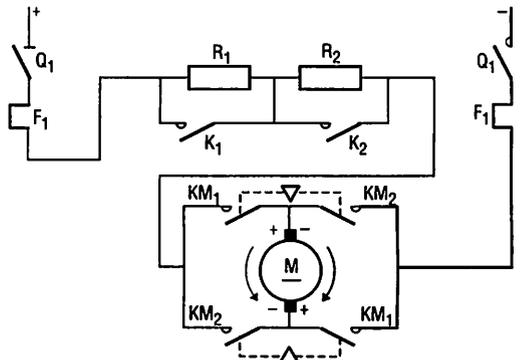


b) Circuit de commande



La mise en marche s'effectue en appuyant sur S_2 , KM_1 s'auto-alimente par KM_1 (13-14) et met en service la résistance d'économie r_1 qui diminue le courant dans la bobine. La fermeture des contacts temporisés KM_1 puis K_1 court-circuite les résistances R_1 et R_2 de démarrage, le contact K_2 (11-12) met en service la résistance d'économie R_2 .

c) Inversion du sens de la marche



Moteurs à courant continu LSK 1122 VL

Caractéristiques électriques

Les caractéristiques électriques sont

- alimentation en triphasé pont complet
- degré de protection IP 23
- mode de refroidissement IC 06 (N.F.)
- service continu S1
- température ambiante $\leq 40^\circ\text{C}$.

Masse totale : 100 kg
 Moment d'inertie : 0,042 kg.m²
 Puissance d'excitation : 0,45 kW
62 N.m
 4 000 min.⁻¹

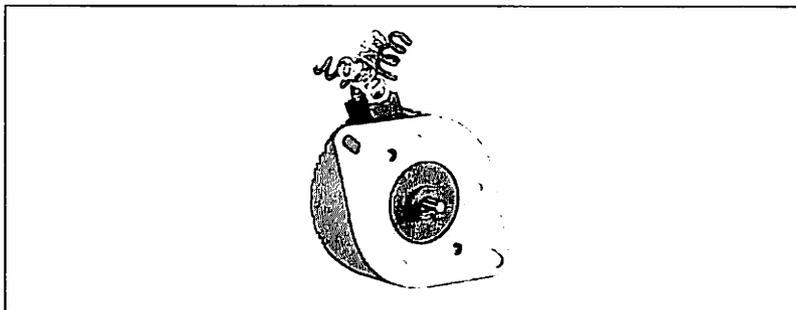
P	Vitesse de rotation n pour tension d'induit U									Elec.	n _{max}	M	I	η	L	R _{115°}	U _{max}	Indices	Délai
	260 V	310 V	400 V	420 V	440 V	460 V	500 V	500 V	500 V										

01	**	5,5	900	1100	58	18	0,76	144	4,7	500	5,8	950	1150	58	18	0,77	144	4,7	500
	**	6,2	990	1200	60	18	0,78	144	4,7	500	6,4	1020	1220	60	17,5	0,79	144	4,7	500
02	**	4,3	680	1010	60	18,5	0,75	144	4,7	500	4,4	670	1000	63	22,5	0,75	103	3,3	500
	**	5,3	800	1190	63	22	0,78	103	3,3	500	5,8	1250	1250	62	21,5	0,79	103	3,3	500
03	**	6,6	1000	1480	63	32	0,79	47	1,5	500	6,6	1400	1800	63	32	0,79	47	1,5	500
	**	7,6	1260	1500	58	24	0,79	77	2,4	500	7,6	1570	1570	59	24	0,81	77	2,4	500
04	***	8,2	1320	1570	59	24	0,81	77	2,4	500	8,2	1440	1700	60	23,5	0,84	77	2,4	500
	***	10,8	1650	1930	63	31	0,83	47	1,5	500	10,8	1810	2100	63	30,5	0,85	47	1,5	500
05	**	11,3	1590	2360	68	44,5	0,82	26	0,83	500	11,3	2090	2440	67	44	0,83	26	0,83	500
	**	14,6	2090	2680	67	43	0,85	26	0,83	500	14,6	2290	2680	66	42,5	0,85	26	0,83	500

... de plus grandes plages de vitesse par désactivation peuvent être étudiées en fonction de l'application : nous consulter.



Moteurs pas à pas à aimant permanent 48 pas/tour (7°5) - Ø 51 mm

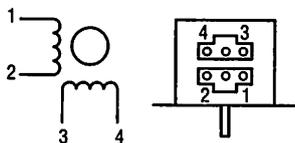


Branchements

2 phases

Séquence d'excitation pour rotation sens horaire (vue côté axe).

	1	2	3	4
1	-	+	-	+
2	-	+	+	-
3	+	-	+	-
4	+	-	-	+
5	-	+	-	+

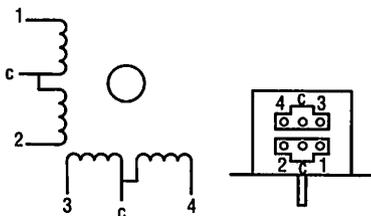


4 phases

Séquence d'excitation pour rotation sens horaire : 2 phases alimentées (vue côté axe, face avant).

	1	2	3	4
1	-	-	-	-
2	-	-	-	-
3	-	-	-	-
4	-	-	-	-
5	-	-	-	-

Communs reliés au potentiel positif.



Références

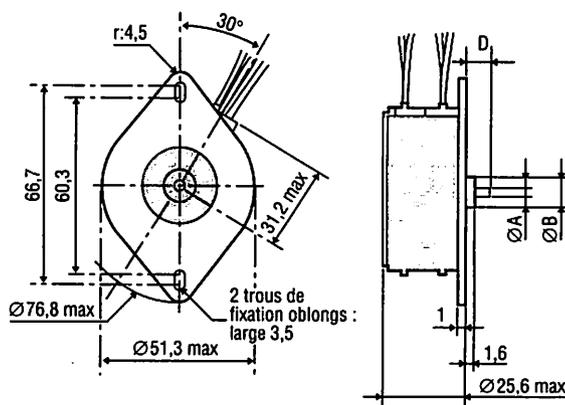
82 920 001

82 920 012

Caractéristiques

		2	4
Nombre de phases		2	4
Puissance absorbée	W	7,5	7,5
Commande électronique utilisée	Bipolaire	•	-
	Unipolaire	-	•
Résistance par phase	Ω	10,7	48
Inductance par phase	mH	24	48
Intensité par phase	A	0,59	0,28
Couple de maintien	mN.m	70	57
Tension aux bornes du moteur	V	6,3	12,9
Angle de pas	°	7,5	7,5
Précision de positionnement	%	5	5
Inertie du rotor	gcm ²	18,8	18,8
Couple de détente maxi	mN.m	6	6
Température maxi du bobinage	°C	120	120
Température de stockage	°C	-40 + 80	-40 + 80
Résistance thermique bobinage-air ambiant	°C/W	9,3	9,3
Résistance d'isolement (à 500 Vcc) ⁽¹⁾	MΩ	> 10 ³	> 10 ³
Tension d'isolement (50 Hz, 1 minute) ⁽¹⁾	V	> 600	> 600
Longueur standard des fils	mm	250	250
Masse	g	210	210
Degré de protection		IP 40	IP 40

(1) Selon normes NFC 51200



12

Réseaux normal-secours

Souvent les installations électriques comportent des récepteurs dont il faut assurer l'alimentation, même en cas de coupure du réseau de distribution.

C'est le cas pour les installations d'éclairage de sécurité, les dispositifs incendie, les équipements prioritaires dont l'arrêt prolongé provoquerait des pertes de production importantes ou la destruction de l'outil de travail.

Quel que soit le type d'installation, il faut souvent prévoir un **dispositif « Normal-Secours »**.

OBJECTIFS

La mise en œuvre des systèmes « normal-secours » exige d'être capable de :

- décoder les schémas fonctionnels ;
- réaliser l'installation, sa mise en service et le suivi de son exploitation et cela pour : les réseaux d'énergie ; l'éclairage de sécurité, les alimentations sans coupure.

SAVOIR TECHNOLOGIQUE

S 2.5

1 Réseau d'énergie

1.1. Principe

Dès que survient une coupure de courant sur le réseau principal, on doit pouvoir rétablir l'alimentation de l'installation en permutant la source normale et la source de remplacement ou de secours. Cette inversion s'effectue à l'aide d'un inverseur de sources.

1.2. Inverseur de sources (fig. 1)

L'inverseur automatique normal-secours ou inverseur de sources est un moyen d'assurer la continuité de service et la gestion de l'énergie.

Il réalise une permutation entre une source normale qui alimente l'installation et une source de remplacement qui peut être :

- une autre arrivée de réseau ;
- un groupe de secours.

L'automatisme de commande permet d'assurer :

- la permutation automatique en cas de coupure sur le réseau normal ;
- le retour vers la source normale, après le retour confirmé de la tension sur la source normale ;
- une marche forcée de la source de remplacement ou de secours, en cas de gestion d'énergie par EJP (Effacement Jour de Pointe).

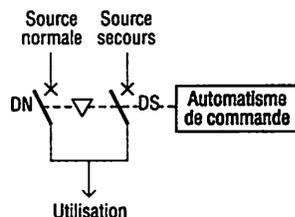


Fig. 1 : Inverseur de sources.
DN = contacteur source normale.
DS = contacteur source de secours.

1.3. Source de secours alimentée par un alternateur

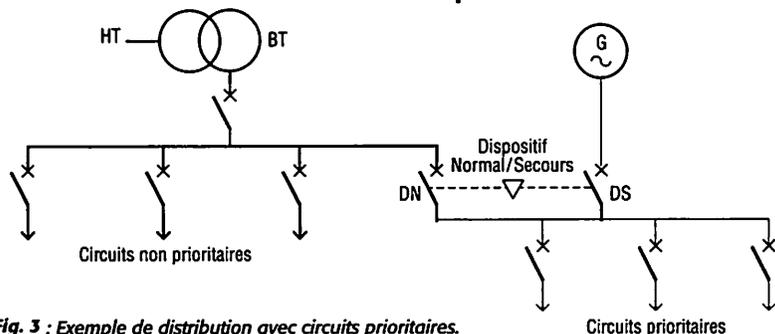


Fig. 3 : Exemple de distribution avec circuits prioritaires.



Fig. 2 : Pour éviter le noir complet.

1.4. Inverseur à contacteurs

L'emploi d'un inverseur de sources avec passage automatique de « Normal » en « Remplacement » et inversement peut s'effectuer avec des contacteurs.

a) Circuit de puissance (fig. 4)

Fermeture de K1 (normal). Si une défaillance sur la source normale apparaît, on a l'ouverture de K1 et la fermeture de K2.

b) Circuit de commande (fig. 5)

– En présence de la source normale, le relais auxiliaire KA1 est alimenté et le contacteur K1 est fermé.

– En cas de défaillance de la source normale, on ouvre KA1 et K1, on ferme K2 par KA1 (41-42) et K1 (61-62).

– Retour de la tension sur la source normale : KA1 est alimenté, on temporise la fermeture de K1 après l'ouverture de K2.

Remarque :

– Un verrouillage mécanique, en plus du verrouillage électrique, évite la mise en service simultanée des deux sources.

– L'inversion de sources peut aussi être effectuée manuellement, ou sur ordre d'un système de gestion d'énergie pour diminuer la consommation aux heures de pointe.

1.5. Protection des groupes

– Pour les groupes fixes, le choix des protections des circuits prioritaires doit être adapté aux caractéristiques des deux sources.

– Pour les groupes mobiles, la norme impose l'emploi d'un disjoncteur différentiel 30 mA.

2 Règlements d'éclairage de sécurité

C'est un éclairage qui, en cas de coupure de courant, permet d'éclairer les locaux pendant un temps défini (en général 1 heure).

Il permet d'assurer l'évacuation des personnes et d'éviter la panique. Tous les établissements recevant du public doivent être équipés d'un éclairage de sécurité assurant l'éclairage de balisage et d'ambiance.

2.1. Éclairage de balisage

Il doit permettre à toute personne de pouvoir sortir du bâtiment à l'aide de foyers lumineux assurant les fonctions des figures 6 à 9.

2.2. Éclairage d'ambiance

Son rôle essentiel est d'assurer l'éclairage uniforme d'un local pour éviter toute panique ; il doit permettre une visibilité minimale.

Exemple : éclairage normal : 200 lux, éclairage d'ambiance : 5 lux.

2.3. Différents types d'éclairage de sécurité

Le règlement de sécurité contre les risques d'incendie prévoit quatre types d'éclairage de sécurité classés en A, B, C, D, selon le tableau 1 page 111.

Les établissements sont classés en catégories de 1 à 5, suivant le tableau 2. Le choix du type d'éclairage de sécurité est précisé dans le tableau 3 en fonction de la nature de l'établissement et de sa catégorie.

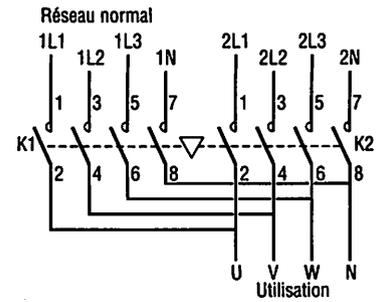


Fig. 4 : Circuit de puissance.

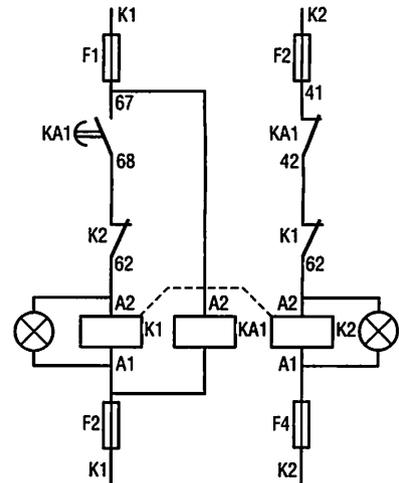


Fig. 5 : Circuit de commande.

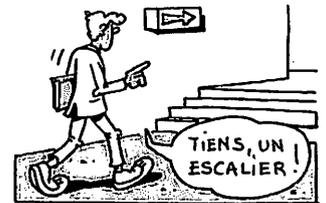


Fig. 6 : Reconnaissance d'obstacle.



Fig. 7 : Signalisation des issues.



Fig. 8 : Signalisation des cheminements.



Fig. 9 : Indication des changements de direction.

Tableau 1 : Les différents types d'éclairage de sécurité.

Types	Éclairage de sécurité	Alimentation
A	Permanent	Source centrale
B	Permanent	Source centrale ou blocs autonomes
C	Non permanent	Source centrale ou blocs autonomes
D	Lampes portatives mises à la disposition du public	

Tableau 2 : Les catégories d'établissements publics.

Catégorie	Nombre de personnes
1 ^{re}	plus de 1 500
2 ^e	701 à 1 500
3 ^e	301 à 700
4 ^e	Moins de 301
5 ^e	de 100 à 200 selon le type de local

Tableau 3 : Choix du type d'éclairage de sécurité selon les différents locaux.

Nature de l'exploitation	Référence du règlement de sécurité	Effectif du public au-dessous duquel l'établissement est classé en 5 ^e catégorie ⁽¹⁾			Choix de l'éclairage de sécurité en fonction de l'effectif du public et du nombre de personnes utilisant les mêmes dégagements que le public						
		Sous-sol	Étage galerie ou ouvrage en surélévation	Ensemble des niveaux	5 ^e catégorie (7)	4 ^e catégorie de 5 ^e catégorie jusqu'à 300 pers.		3 ^e catégorie de 301 à 700 pers.		2 ^e catégorie de 701 à 1 500 pers.	1 ^{re} catégorie plus de 1 500 pers.
						Élévation R-de-ch (4)	Sous-sol (5)	Élévation R-de-ch (4)	Sous-sol (5)		
Salles de conférences, réunions	L33	100		200	D	C	C	B	B	B ⁽⁸⁾	B ⁽⁸⁾
Salles de spectacles, projections, cabarets	L33	20		50	D	C	C	B	B	B ⁽⁸⁾	B ⁽⁸⁾
Magasins	M24	100	100	200	D	B	B	B	B	A ⁽⁶⁾	A ⁽⁶⁾
Restaurants, cafés	N13	100	200	200	D	C ⁽⁹⁾	C ⁽⁹⁾	C ⁽⁹⁾	C ⁽⁹⁾	C ⁽⁹⁾	C ^{(8) (9)}
Hôtels, pensions...	O17			100	C	C ⁽⁹⁾	C ⁽⁹⁾	C ⁽⁹⁾	C ⁽⁹⁾	C ⁽⁹⁾	C ⁽⁹⁾
Salles de danse	P18	20	100	120	D	C	B	C	B ⁽⁸⁾	B ⁽⁸⁾	B ⁽⁸⁾
Établissements d'enseignement	R27	100	100	200 ⁽²⁾	D	C	C	C	C	C	C
Écoles maternelles	R27	interdit	1	100	D	C	C	C	C	C	C
Établissements de culte	V8	100	200	300	D	D	C	C	C	C	C
Banques administrations	W10	100	100	200	D	C	C	C	C	C	C
Établissements sportifs couverts	X23	100	100	200	D	C	C	C	C	C	B ⁽¹⁰⁾
Établissements de plein air	PA11			300	D	C ⁽³⁾	C ⁽³⁾	C ⁽³⁾	C ⁽³⁾	C ⁽³⁾	C ⁽³⁾
Structures gonflables	SG	Suivant le type et la catégorie de l'activité envisagée									

(1) Un établissement est classé en 5^e catégorie lorsque l'effectif du public est inférieur à celui indiqué dans chacune des trois colonnes.

(2) Ou 20 pensionnaires, ou 30 colons.

(3) Pour le balisage des dégagements si une activité en nocturne est prévue.

(4) Entièrement au-dessus du niveau du sol.

(5) En tout ou partie en dessous du niveau du sol.

(6) Type B si batteries centrales d'accus.

(7) Type pour :

- dégagements et salles de plus de 100 m² des établissements comportant plusieurs niveaux ;
- dégagements des hôtels.

(8) À source centrale uniquement.

(9) Lampes assurant le balisage allumées en permanence.

(10) Type C pour les piscines.

2.4. Vérification et maintenance de l'éclairage de sécurité

Il faut s'assurer en permanence du bon fonctionnement de l'éclairage de sécurité au fil du temps.

a) Contrôle des lampes

Une fois par *semaine*, on doit vérifier l'allumage de toutes les lampes, ainsi que le fonctionnement de la télécommande. Le service entretien doit disposer de lampes et fusibles de rechange.

b) Contrôle de l'autonomie

Tous les 3 *mois*, il faut faire fonctionner les blocs pendant une heure. Le service entretien doit réparer les blocs défectueux.

Remarque : Ces vérifications doivent être notées sur un registre de sécurité, et peuvent servir de preuve en cas de sinistre.

3 Matériel pour l'éclairage de sécurité

3.1. Source centrale (fig. 10)

L'éclairage de sécurité par source centrale s'applique aux installations de type A, et peut être installé pour les types B et C.

a) Constitution

C'est un ensemble redresseur, chargeur de batteries d'accumulateurs, avec un système de commutation normal-secours (fig. 11). En période normale, le secteur permet la charge des batteries, l'alimentation des blocs d'éclairage. En cas de coupure du réseau, la batterie assure la fourniture d'énergie à l'éclairage de sécurité.

b) Caractéristiques

- La tension d'alimentation (tension du réseau normal).
- La tension du réseau d'éclairage de secours 24, 48, 110, 230 V en courant continu.
- La nature des batteries, au plomb, au nickel, au cadmium.
- La puissance totale de l'armoire en watts, de quelques watts jusqu'à 10 kW ou plus.

Exemple : pour un supermarché de 1 500 m², une source de 750 W est suffisante.

- Autonomie : la source d'énergie doit avoir une autonomie minimale de une heure, et elle doit récupérer 80 % de sa capacité en moins de douze heures.

c) Canalisations

Les canalisations alimentant les lampes de balisage et l'éclairage d'ambiance doivent être différentes des circuits d'éclairage normaux. Chaque local doit posséder au moins deux circuits différents :

- **Éclairage de type B** : obligation de câble résistant au feu.

Exemple : câble à isolant minéral, U 500 XV ; câble H 07 RN-F.

- **Éclairage de type C** : les câbles doivent être non-propagateurs de la flamme.

Exemple : câble de type A 05 VVU, ou U1000 R2V.

3.2. Bloc de balisage autonome (fig. 12)

a) Principe

Ils sont alimentés par le secteur 220 V alternatif et disposent d'accumulateurs (12 V-4 Ah). En marche normale, une veilleuse indique le bon état de l'équipement. Dès que le réseau est coupé, l'accumulateur alimente la ou les lampes d'éclairage de sécurité.

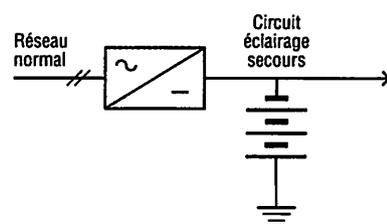


Fig. 10 : Source centrale pour éclairage de sécurité.

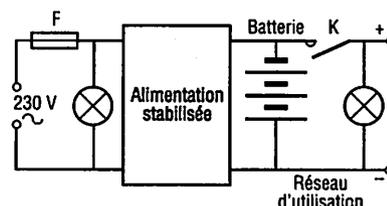


Fig. 11 : Schéma d'une source d'énergie d'éclairage de sécurité.

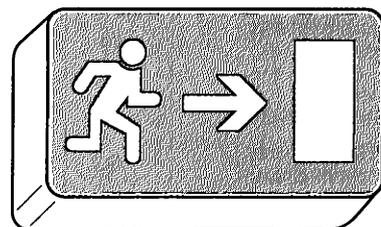


Fig. 12 : Faces avant de bloc de balisage.

b) Types de blocs autonomes

– **Bloc à incandescence**, il comporte une lampe témoin de charge de la batterie à l'état de veille, deux lampes à incandescence allumées à l'état de fonctionnement, alimentées par sa batterie (fig. 13).

– **Bloc à fluorescence de type non permanent** (fig. 14), il comporte une lampe témoin de charge de la batterie à l'état de veille, un tube fluorescent allumé à l'état de fonctionnement par sa batterie, il est marqué « NP » (non permanent).

– **Bloc à fluorescence de type permanent** (fig. 15), il est marqué « P » et comporte un tube fluorescent, allumé à l'état de veille, et à l'état de fonctionnement, mais dans ce dernier cas, il est alimenté par sa batterie.

Remarques : Les blocs de balisage ou d'ambiance ont la même composition, seules changent les étiquettes de signalisation ;

– la tendance est à l'emploi de blocs à lampes fluorescentes, qui ont une plus grande autonomie (6 h contre 1 h pour l'incandescence).

c) Classification de blocs d'éclairage

On peut classer les blocs autonomes en fonction de :

- **la nature des lampes** : incandescence ou fluorescence ;
- **la télécommande** : bloc télécommandé ou non ;
- **l'emploi** pour les établissements recevant du public, pour les locaux d'habitation, pour l'industrie ;
- **la fonction** : bloc de balisage, ou éclairage d'ambiance.

d) Différents états d'un bloc autonome

– **État de veille** : le bloc est prêt à éclairer en cas de baisse de tension, ou de coupure de courant, c'est le cas lorsque le public est présent dans l'établissement.

– **État de fonctionnement** : le bloc assure l'éclairage de sécurité, il est alimenté par sa source interne (batterie).

– **État de repos** : le bloc est éteint alors que l'alimentation électrique est totalement ou partiellement interrompue volontairement, c'est le cas pendant les périodes de fermeture.

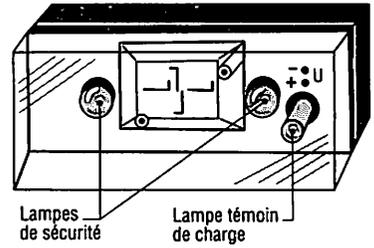


Fig. 13 : Bloc lumineux à incandescence.

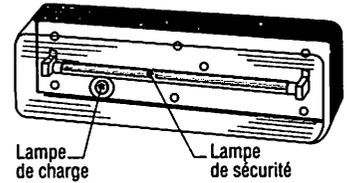


Fig. 14 : Bloc à fluorescence non permanent (NP).

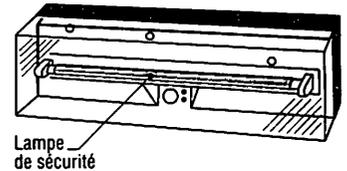


Fig. 15 : Bloc à fluorescence permanent.

3.3. Dispositif de télécommande

L'installation de télécommande est obligatoire, elle permet d'empêcher l'allumage de sécurité en période de fermeture de l'établissement, ce qui prolonge la durée de vie des blocs.

Le bloc de télécommande est alimenté sur le secteur en 230 V et délivre sur la ligne des impulsions de commande. Le raccordement des blocs s'effectue par repiquage bloc à bloc quel que soit le local (voir schéma fig. 16).

La télécommande permet de réaliser les fonctionnements suivants.

a) Fonctionnement normal

Secteur présent, alimentation électrique assurée, les blocs sont à l'état de veille, une coupure et les blocs fonctionnent.

b) Coupure volontaire du secteur

La télécommande permet de vérifier l'état de fonctionnement des blocs.

c) Mise au repos des blocs

En l'absence de personnel, on arrête le fonctionnement des blocs par la télécommande.

Remarque : La télécommande permet aussi la mise en fonctionnement des blocs, par exemple par une alarme incendie.

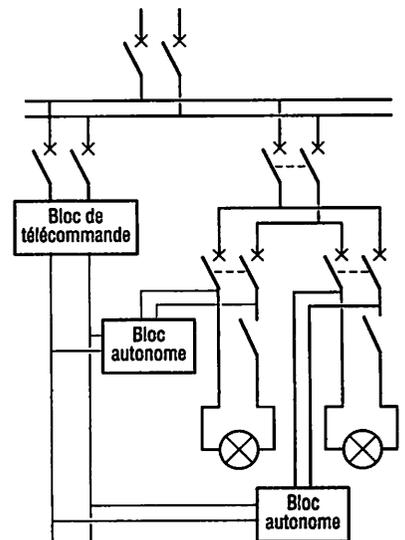


Fig. 16 : Installation avec blocs autonomes télécommandés.

4 Alimentation sans interruption (ASI)

Dans les systèmes précédents, le passage de la source normale à la source de secours ou de remplacement n'est pas instantané (quelques secondes), ce qui, dans le cas d'équipements informatiques, peut provoquer des dégâts. Il faut installer une alimentation sans coupure.

4.1. Principe

L'alimentation sans interruption est composée d'une chaîne redresseur / chargeur / onduleur, et d'une batterie d'accumulateurs.

- Le *redresseur/chargeur* redresse la tension du réseau de distribution, afin de maintenir la batterie chargée.
- L'*onduleur* restitue une tension alternative parfaite, à partir de l'énergie stockée dans la batterie.

4.2. Différents montages

a) Alimentation sans coupure en série avec le réseau (fig. 17)

Toute la puissance transite à travers l'alimentation et est remise en forme. La batterie est constamment chargée et tous les défauts du réseau sont corrigés, on l'appelle aussi montage onduleur « on-line ».

b) Alimentation sans coupure en parallèle avec le réseau (fig. 18)

En régime normal, l'alimentation régule la tension et filtre les parasites. En cas de défaillance du réseau, un contacteur statique CS bascule l'alimentation sur l'onduleur en moins de 10 millisecondes. Au retour de conditions normales il rebasculé sur le réseau, et recharge la batterie, montage « off-line ».

c) Alimentation sur deux réseaux (fig. 19)

L'onduleur est en ligne sur le réseau 1 et peut être remplacé par le réseau 2 (groupe de secours par exemple).

4.3. Caractéristiques des alimentations sans coupure

- La puissance, déterminée à partir des maxima de puissance.
- Les tensions, amont et aval de l'onduleur.
- La durée d'autonomie souhaitée.

Remarque pour l'habilitation : la présence d'une alimentation sans interruption dans une installation ou un équipement a pour effet qu'une tension reste présente en cas de coupure du réseau. Le chargé d'intervention doit en tenir compte pour les opérations de consignation.

5 Conditionneur de réseau

Pour protéger les équipements à base d'informatique, on peut utiliser un conditionneur de réseau (fig. 20) qui élimine :

- les coupures ou les micro-coupures de courant ;
- les surtensions atmosphériques ou autres ;
- les parasites dus au démarrage de moteurs.

Il comporte :

- un filtre qui élimine les parasites du réseau ;
- un transformateur qui isole la sortie du réseau ;
- un régulateur qui stabilise la tension de sortie.

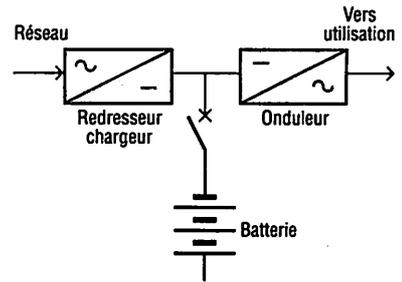


Fig. 17 : Schéma fonctionnel d'une ASI, montage en ligne « on-line ».

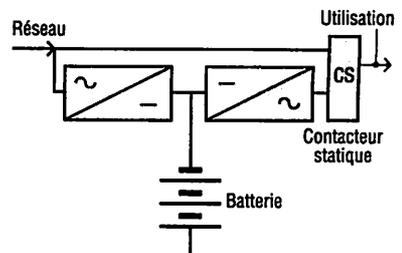


Fig. 18 : L'ASI intervient en parallèle avec le réseau, ou montage « off-line ».

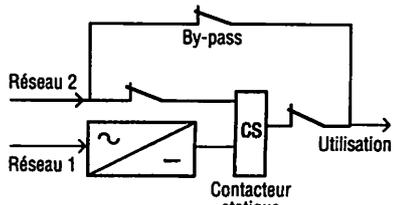


Fig. 19 : Montage d'une alimentation sans interruption avec 2 réseaux.

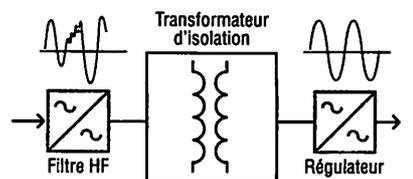


Fig. 20 : Principe d'un conditionneur de réseau.

L'essentiel

■ Le réseau normal-secours doit permettre, en cas de coupure de l'alimentation électrique, de rétablir rapidement l'alimentation par une source de secours qui emprunte son énergie à un groupe électrogène, ou à des batteries d'accumulateurs.

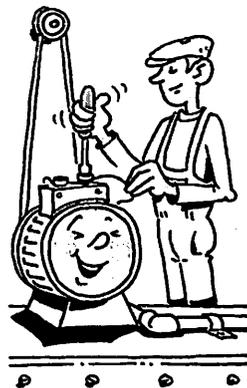
■ Pour les réseaux d'énergie, la permutation entre le réseau de distribution et la source de remplacement s'effectue à l'aide d'un inverseur de sources automatique utilisant un ensemble de deux contacteurs.

■ Pour l'éclairage de secours, la réglementation définit quatre types d'éclairage A, B, C, D applicables aux différentes catégories de locaux, de 1^{re} à 5^e catégorie. On distingue l'éclairage de sécurité par source centrale (D) ou par bloc autonome (B, C).

Le type D utilise des lampes portatives mises à disposition du public.

■ L'alimentation de secours pour l'éclairage de sécurité doit être adaptée à la puissance demandée par les blocs de sécurité et l'éclairage d'ambiance.

■ Les alimentations sans interruption (ASI), ou encore sans coupure, sont surtout utilisées pour alimenter les ordinateurs ; le passage du réseau à l'alimentation de remplacement s'effectue en moins de 10 millisecondes. Ces alimentations utilisent des onduleurs et des contacteurs statiques ainsi que des filtres anti-harmoniques pour une meilleure compatibilité électromagnétique (CE).



VRAI OU FAUX ?

Parmi les affirmations suivantes, indiquez celles qui sont vraies.

1. Un inverseur de source permet de passer du courant continu au courant alternatif.
2. Le passage de la source normale à la source de secours peut se faire à l'aide de contacteurs.
3. La source de secours peut être un autre réseau ou un groupe moteur-alternateur.
4. Un éclairage de sécurité est destiné à remplacer l'éclairage normal en cas de coupure de courant.
5. Les types d'éclairage de sécurité sont classés de 1 à 8.
6. Le type d'éclairage de sécurité dépend de la catégorie de l'établissement.
7. Les établissements sont classés en cinq catégories.
8. La catégorie d'un établissement dépend uniquement de sa superficie.
9. La catégorie d'un établissement dépend du nombre de personnes qu'il peut accueillir.
10. Un éclairage de type D nécessite une source centrale.
11. Un éclairage de type C peut utiliser des blocs autonomes.
12. Un éclairage de balisage doit permettre de pouvoir sortir du bâtiment.
13. En sécurité, un éclairage d'ambiance permet d'admirer un spectacle.
14. Un bloc de balisage autonome possède sa batterie d'alimentation.
15. Un dispositif de télécommande ne permet pas de commander des blocs autonomes.
16. Une alimentation sans coupure comporte une batterie d'accumulateurs.
17. On appelle ASI l'Affichage Système Intégral.
18. Une alimentation sans coupure peut être en série sur le réseau.
19. Une alimentation sans coupure n'est jamais en parallèle avec le réseau.
20. Un conditionneur de réseau permet l'emballage du réseau.

RÉSOLUS

1. Un particulier vous demande de brancher sur le tableau de distribution de sa villa un groupe électrogène de 1 000 VA à démarrage manuel ; quelles précautions doit-on prendre sachant que la puissance installée est de 12 kVA ?

Solution :

a) Le groupe électrogène ne pouvant donner que 1 kVA au lieu de 12 kVA, il ne faut alimenter que les circuits prioritaires, par exemple : éclairage et congélateur.

b) L'inversion de sources devra se faire à l'aide d'un commutateur manuel, une fois le groupe de secours en fonctionnement.

2. Déterminez le type d'éclairage de sécurité à adopter pour un petit hôtel classé en 5^e catégorie et précisez le matériel à utiliser.

Solution :

– Le tableau de la page 111 indique, pour hôtel ou pension en 5^e catégorie, un éclairage de type C caractérisé par des blocs non permanents avec blocs de sécurité autonomes.

– On utilisera des blocs autonomes non permanents de balisage à incandescence, référence page 118 Legrand 608-25, et pour l'ambiance des blocs fluorescence réf. 608-65.

3. Dans un supermarché de superficie 900 m² (30 × 30 m), éclairage de type B, on vous demande de :

a) déterminer la puissance de l'éclairage d'ambiance (hauteur des luminaires 3 m) ;

b) calculer la puissance des blocs de balisage (12 blocs) ;

a) déterminer le type d'armoire d'énergie et donner sa référence.

Solution : D'après la documentation (pages 118, 119) et le projet d'éclairage de sécurité page 117 :

a) La surface éclairée par un luminaire est donnée dans le tableau p. 119 : Pour un tube de 8 W, la surface éclairée est de 72 m².

Nombre de luminaires : $900 : 72 = 12,5$ soit 13 luminaires avec tube de 8 W.

– La puissance absorbée pour la référence 607 10 est de 10,5 W, soit un total de :

$$10,5 \times 13 = 136,5 \text{ W.}$$

b) Puissance des blocs de balisage :

(réf. 607 05 p. 119) d'après le tableau p. 119,

$$8 \text{ W} \times 12 = 96 \text{ W.}$$

c) Puissance totale : $136,5 + 96 = 232,5 \text{ W}$, l'armoire d'énergie référence 611 50 (p. 119) convient, elle donne une puissance 300 W.

À RÉSOUDRE

1. On vous demande de modifier le tableau de distribution d'une villa de 5 pièces pour adjoindre une alimentation par un groupe de secours à démarrage manuel de 1 000 VA destiné à alimenter en cas de coupure du réseau l'éclairage et le congélateur.

a) Établissez le nouveau schéma unifilaire du tableau de répartition.

b) Représentez en schéma l'inverseur de sources qui sera commandé manuellement par un contact-inverseur.

2. Déterminez le type d'éclairage de secours à adopter pour un collège classé en 3^e catégorie.

3. Une salle de cinéma est classée en 3^e catégorie. Quel est le type d'éclairage de sécurité adopté ?

4. Un lycée est classé en 5^e catégorie. Quel sera le type d'éclairage à adopter ?

5. Sachant qu'une salle de réunion nécessite un éclairage de sécurité de type B, précisez ce qui caractérise ce type d'éclairage.

6. Un grand magasin exige un éclairage de type A, précisez ce qui caractérise cet éclairage et donnez le type de source de sécurité à utiliser.

7. Dans le cas de l'éclairage type A de l'exercice précédent, donnez les références de la source de sécurité (documentation p. 119).

8. Indiquez les références des blocs autonomes de balisage et d'ambiance à employer pour un éclairage de type C (documentation p. 118).

9. Indiquez les références des blocs autonomes de balisage et d'ambiance à employer pour un éclairage de type B (documentation p. 118).

10. Dans un supermarché de superficie 2 500 m² (50 × 50 m), éclairage de type B, on vous demande de :

a) déterminer la puissance de l'éclairage d'ambiance (hauteur des luminaires 3 m) ;

b) calculer la puissance des blocs de balisage (28 blocs) ;

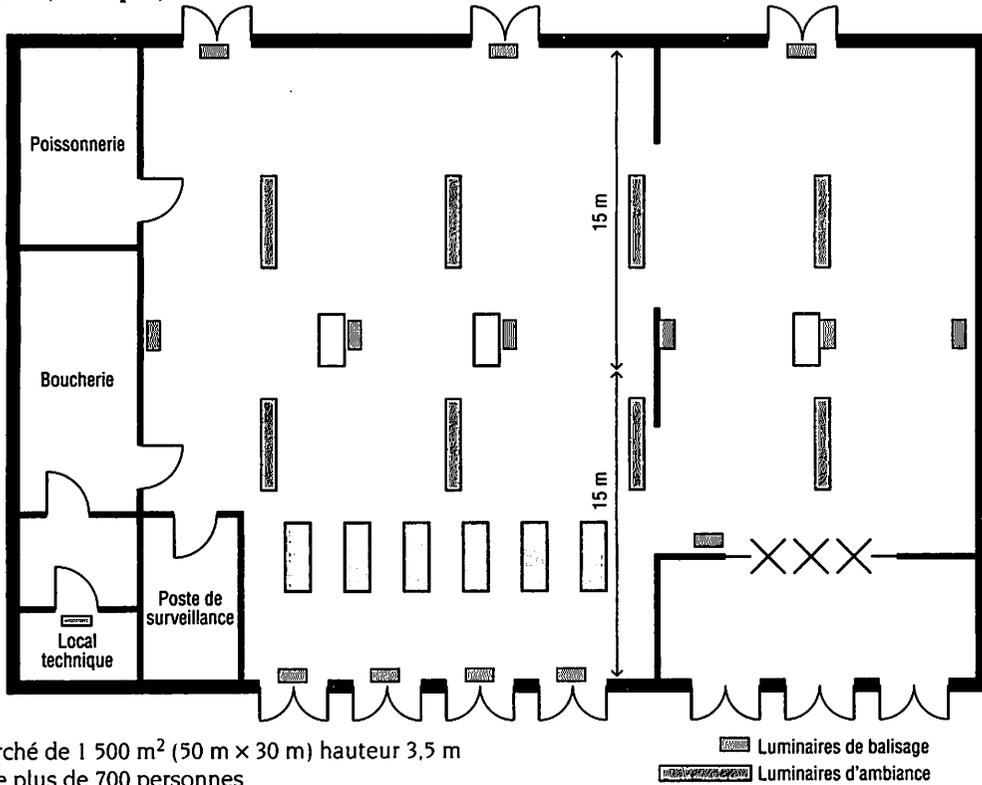
c) déterminer le type d'armoire d'énergie et donner sa référence ;

d) établir le schéma unifilaire d'alimentation des blocs de balisage et des luminaires d'ambiance.

(d'après Legrand)

Projet d'éclairage de sécurité par source centrale

1. Données (exemple)



Supermarché de 1 500 m² (50 m × 30 m) hauteur 3,5 m
 Type M de plus de 700 personnes
 Éclairage de type B sur source centrale

2. Calcul de la puissance de balisage

- Luminaires à chaque issue = 7
 - Luminaires à chaque obstacle = 2
 - Luminaire de local technique = 1
 - Luminaires supplémentaires pour distance > 15 m = 6
- total 16

Choix du luminaire : deux possibilités :

- 1 : luminaire incandescent,
- 2 : luminaire fluorescent.

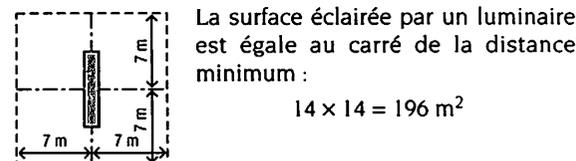
Option choisie : N° 2 en raison de la plus grande durée de vie du tube fluo et de la diminution sensible de la consommation d'énergie et de la puissance de l'armoire d'énergie.

Puissance balisage = 16 luminaires × 5 W = 80 W (réf. 607 05 p. 119).

3. Calcul de la puissance d'ambiance

La distance maximale étant quatre fois la hauteur d'implantation, il faut 4 × 3,5 = 14 m de distance maximale entre luminaires.

Calcul de la surface éclairée :



Nombre de luminaires :

1 500 m² : 196 m² = 7,65
 Il faut au minimum 8 luminaires.

Puissance en incandescence :

0,5 × 1 500 = 750 W

Puissance en fluorescence :

5 × 1 500 = 7 500 lumens

Si on prend le tableau p. 119, la référence 607 40 en 24 V donne 1 000 lumens, donc 8 luminaires sont suffisants. D'où :

puissance ambiance : 8 × 18 W = 144 W.

4. Calcul de la puissance totale

Puissance totale = 80 W + 144 W = 224 W
 ⇒ armoire type B réf. 61150 (p. 119).

5. Choix du type d'armoire d'énergie

Ce choix doit être guidé selon la puissance de l'installation d'éclairage de sécurité (voir calcul précédent) :

24 V = 300 W à 1 500 W

48 V = 630 W à 2 500 W

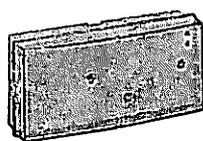
110 V = 730 W à 3 600 W

230 V = 800 W à 6 000 W

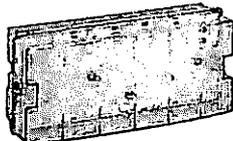
La tension de sortie de l'armoire doit être déterminée afin d'optimiser la section des câbles résistant au feu qui alimentent les luminaires (en abaissant le courant de sortie de l'armoire et, par conséquent, les chutes de tension en ligne).



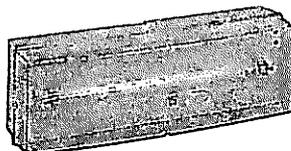
Blocs autonomes d'éclairage de sécurité pour ERP et locaux industriels



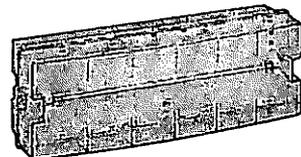
608 25



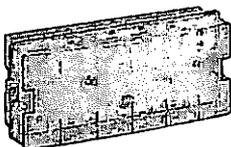
628 27 adressable



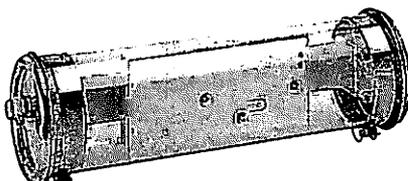
628 65 adressable



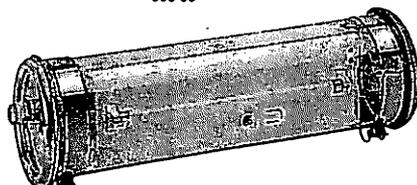
608 68



628 28 adressable



608 86



608 87

Réf. Éclairage de balisage de types B et C

Blocs à incandescence avec accumulateurs type « T » facilement interchangeable sans accès aux pièces sous tension
 Flux lumineux à 5 mn > 60 lumens (art. EC7 du règlement de sécurité)
 Flux assigné 45 lumens
 Conformes aux normes NF C 71-800 (1992) et EN 60598-2-22
 Admis à la marque NF AEAS
 Réalisation des tests réglementaires SATI automatiquement par horloge et microprocesseur intégré au bloc conforme à la norme C 71-820
 Autonomie normalisée : 1 h (pour assurer cette valeur une autonomie de 1 h 30 à neuf est imposée par la norme)
 Télécommandable
 Télécommande protégée contre les erreurs de branchement
 Sécurité au retour secteur : temporisation de 30 s à l'extinction après le retour du secteur permettant de s'assurer que l'éclairage normal est stabilisé
 Alimentation 230 V~ - 50/60 Hz

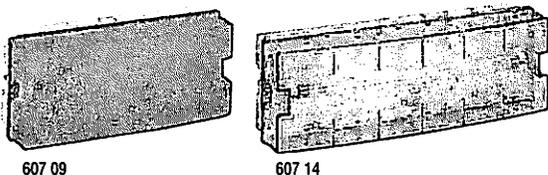
Réf. Éclairage d'ambiance de type B ou C

Blocs à fluorescence 360 lumens avec accumulateurs type « T » facilement interchangeable sans accès aux pièces sous tension
 Conformes aux normes NF C 71-801 (1992) et EN 60598-2-22
 Admis à la marque NF AEAS
 Réalisation des tests réglementaires SATI automatiquement par horloge et microprocesseur intégré au bloc conforme à la norme C 71-820
 Autonomie normalisée : 1 h (pour assurer cette valeur une autonomie de 1 h 30 à neuf est imposée par la norme)
 Télécommandables
 Télécommande protégée contre les erreurs de branchement
 Sécurité au retour secteur : temporisation de 30 s à l'extinction après le retour du secteur permettant de s'assurer que l'éclairage normal est stabilisé
 Alimentation 230 V~ - 50/60 Hz

Adressables	SATI	Bloc standard saillie pour usage général
628 25	608 25	IP 43-5 (UK 07) - Classe II <input type="checkbox"/> Fixation par patère de raccordement avec rattrapage d'aplomb Encastrable avec accessoire d'encastrement réf. 607 91
628 27	608 27	Bloc antivandale IP 55-9 (IK 10) - Classe II <input type="checkbox"/> Infra-dabilité assurée par deux vis spéciales nécessitant un outil réf. 919 45 non livré (p. 464)
628 28	608 28	Bloc étanche Plexo pour locaux humides et agro-alimentaire IP 55-7 (IK 08) - Classe II <input type="checkbox"/>
628 86	608 86	Bloc anti-corrosion pour locaux industriels IP 67-7 (IK 08) - Classe II <input type="checkbox"/> Enveloppe polycarbonate et inox
628 81	608 81	Bloc verre métal pour locaux industriels et locaux à risque d'incendie IP 66-3 (IK 04) - Classe I Enveloppe incombustible sans halogène : diffuseur verre et socle métal

Adressables	SATI	Bloc standard saillie pour usage général
628 65	608 65	Non permanent pour éclairage de type C
628 66	608 66	Permanent pour éclairage de type B
628 68	608 68	Bloc étanche Plexo pour locaux humides et agro-alimentaire IP 55-7 (IK 08) - Classe II <input type="checkbox"/> Non permanent pour éclairage de type C
628 87	608 87	Bloc anti-corrosion pour locaux industriels IP 67-7 (IK 08) - Classe II <input type="checkbox"/> Enveloppe polycarbonate et inox Non permanent pour éclairage de type C
628 85	608 85	Bloc verre métal pour locaux industriels et locaux à risque d'incendie IP 66-3 (IK 04) - Classe I Enveloppe incombustible sans halogène : diffuseur verre et socle aluminium Non permanent pour éclairage de type C

Luminaire à fluorescence
pour éclairage de sécurité sur source centrale



Réf. **Luminaire à fluorescence**

Conformes à la norme des luminaires pour éclairage de sécurité NF C 71-022 et à la norme européenne EN 60598-2-22
Conformes au règlement de sécurité dans les ERP
Pour alimentation :

- En courant continu par armoire d'énergie Relergy
- En courant alternatif par onduleur d'éclairage de sécurité ou par groupe générateur

Pour éclairage de balisage 60 lumens
Équipés d'un convertisseur électronique à faible consommation avec tube fluorescent 6 W

Coffrets plastique - 850 °C
IP 55-7 (IK 08) Classe II □

- 607 05 24 V ∴
- 607 06 48 V ∴
- 607 07 110 V ∴
- 607 08 230 V ∴
- 607 09 230 V ∼

Pour éclairage d'ambiance 360 lumens
Équipés d'un convertisseur électronique à faible consommation avec tube fluorescent 8 W

Coffrets plastique - 850 °C
IP 55-7 (IK 08) Classe II □

- 607 10 24 V ∴
- 607 11 48 V ∴
- 607 12 110 V ∴
- 607 13 230 V ∴
- 607 14 230 V ∼

Réglottes pour tubes fluorescents
Conformes à la norme des luminaires pour éclairage de sécurité NF C 71-022 et à la norme européenne EN 60598-2-22
Conformes au règlement de sécurité dans les ERP
Pour alimentation :

- En courant continu par armoire d'énergie Relergy
- En courant alternatif par onduleur d'éclairage de sécurité ou par groupe générateur

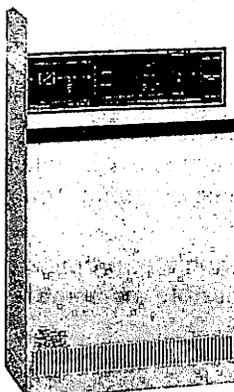
Pour tube 18 W - 1 000 lumens - 850 °C

- 607 40 24 V ∴
- 607 41 48 V ∴
- 607 42 110 V ∴
- 607 43 230 V ∴
- 607 44 230 V ∼



Armoires d'énergie Relergy™
pour éclairage de sécurité types B et C

Réf.



611 54

Armoires d'énergie avec accumulateurs au plomb étanches sans entretien

Type B : pour éclairage permanent
Type C : pour éclairage non permanent

Alimentation 230 V ∼ (= 5 % - 14 %)
Utilisation 24 ou 48 V ∴ (± 10 %)

Armoire comprenant :

- un redresseur filtré
- un chargeur automatique régulé
- une batterie d'accumulateurs au plomb étanches sans entretien

Possibilités de mise au repos à distance avec coffret de télécommande réf. 039 01 ou inter à clé réf. 039 02
Coloris blanc RAL 9002

Admises à la marque NF C 71-815 et conformes au règlement de sécurité

Tension d'utilisation 24 V ∴

Type B AEB	Type C AEC	Puissance pour autonomie 1 h (W)	Capacité batterie (Ah)
611 50	611 51	300	38

Conformes au règlement de sécurité

Tension d'utilisation 24 V ∴

Type B	Type C AEC	Puissance pour autonomie 1 h (W)	Capacité batterie (Ah)
611 54	611 55	500	38
611 56	611 57	900	60
611 60	611 61	1 500	120

Consommation des coffrets

Coffrets	Puissance absorbée (W)	Puissance absorbée (VA)	Tube (W)	Flux (lumens)	Surface éclairée (m²)
607 05	8	-	6	60	-
607 06	9,5	-	6	60	-
607 07	6,5	-	6	60	-
607 08	6	-	6	60	-
607 09	6	10	6	60	-
607 10	10,5	-	8	360	72
607 11	11	-	8	360	72
607 12	12	-	8	360	72
607 13	9	-	8	360	72
607 14	10	13,3	8	360	72
607 25	10,5	-	8	360	72
607 26	11	-	8	360	72
607 27	12	-	8	360	72
607 28	9	-	8	360	72
607 29	10	13,3	8	360	72
607 35	8	-	6	60	-
607 36	9,5	-	6	60	-
607 37	6,5	-	6	60	-
607 38	6	-	6	60	-
607 39	6	10	6	60	-
607 40	20	-	18 non fourni	1 000	200
607 41	20	-	18 non fourni	1 000	200
607 42	20	-	18 non fourni	1 000	200
607 43	26	-	18 non fourni	1 000	200
607 44	25	42	18 non fourni	1 000	200

13

Gestion de l'énergie

Au début de l'utilisation de l'électricité, on s'est surtout préoccupé de **consommer** de l'énergie. À l'heure actuelle, l'énergie électrique est un bien de consommation indispensable pour toutes les activités humaines.

Cette énergie, qui est une forme noble et propre, coûte cher, il faut donc en faire le **meilleur usage possible au moindre coût** : cela s'appelle **gérer** l'énergie.

1 Tarification de l'électricité

La gestion de l'énergie est directement liée à la tarification du kilowatt-heure. Il faut pour bien gérer l'énergie, utiliser le « kWh » quand il est le moins cher (*fig. 1*).

1.1. Principe de la tarification

a) Elle comporte deux parties

- Une prime fixe qui dépend de la puissance souscrite.
- La consommation en énergie qui est le résultat du nombre de kWh enregistré par le compteur multiplié par le prix du kWh (*fig. 2*).

b) Les tarifs

Ils dépendent de la puissance souscrite (*fig. 3*) :

- tarif bleu : depuis 3 kVA jusqu'à 36 kVA (BT) ;
- tarif jaune : de 36 à 250 kVA livraison en BT ;
- tarif vert : au-delà de 250 kVA livraison en haute tension.

c) Des options

- Heures creuses (HC) : la nuit le prix du kWh est moins cher.
- Tempo (voir paragraphe suivant).

3 kVA	36 kVA	250 kVA
BLEU	JAUNE	VERT
Monophasé ou triphasé 230/400 V	Triphasé 230/400 V	HTA 20 kV HTB 60 à 220 kV

1.2. Tarif bleu

Il s'applique à tous ceux qui ont besoin d'une puissance inférieure ou égale à 36 kVA.

a) Option de base

- Un abonnement qui est fonction de la puissance souscrite.
- Un seul prix du kWh toute l'année (voir *tableau 2* p. 121).

b) Option heures creuses

- Un abonnement fonction de la puissance souscrite (*tableau 1*).

OBJECTIFS

Pour économiser de l'énergie, il faut être capable de :

- mettre en œuvre un équipement centralisé de gestion d'énergie électrique ;
- justifier la répartition des circuits prioritaires et le délestage des autres circuits.

SAVOIR TECHNOLOGIQUE

S 2.6



Fig. 1 : Le prix du kWh peut être très différent.

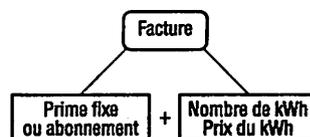


Fig. 2 : Deux parties dans la facturation.



Fig. 3 : Trois tarifs selon la puissance souscrite.

– Deux prix du kWh ; heures creuses, 8 heures par jour, en général de nuit de 22 h à 6 h du matin ; heures pleines, les autres heures, avec, selon les régions, une interruption de 12 h à 14 h.

c) Option Tempo

Le tarif Tempo comporte un abonnement, qui dépend de la puissance souscrite (*tableau 1*) et un prix du kWh, qui est fonction des heures de la journée et des jours de l'année (*tableau 2*).

– Jours bleus : ce sont 300 jours par an, où les tarifs sont les plus bas (0,22 F le kWh de nuit).

– Jours blancs : pendant 43 jours par an, les prix du kWh sont proches du tarif heures creuses/heures pleines.

– Jours rouges : ce sont 22 jours où le prix du kWh est très élevé, et il faut éviter de consommer de l'énergie électrique.

Les heures creuses pour les jours bleus et blancs sont de 22 h à 6 h ; les jours rouges, de 24 h à 6 h.

Les jours blancs et rouges sont fixés par EDF, qui prévient l'abonné la veille de la couleur du lendemain, grâce à un boîtier de signalisation et au compteur.

Tableau 2 : Prix de l'énergie, tarif bleu (en centimes par kWh au 01.05.1999).

	Abonnement 3 kVA	Option de base	Option heures creuses	Option Tempo		
				Jours bleus	J. blancs	J. rouges
Heures pleines	62,81	51,85	51,85	27,18	52,41	226,76
Heures creuses		–	31,78	21,99	44,28	81,38

1.3. Tarif jaune

Il s'applique à tous les utilisateurs qui ont besoin d'une puissance comprise en 36 kVA et 250 kVA inclus (*tableau 3*).

a) Option de base

La tarification s'effectue selon les 3 paramètres suivants (*tableau 4*) :

- 2 saisons : hiver et été ;
- 4 périodes tarifaires : HPH, HCH, HPE, HCE ;
- 2 versions de tarif : utilisations moyennes ou longues.

b) Option EJP

Elle s'applique sur les heures d'hiver, la pointe mobile étant de 18 heures pendant 22 jours aléatoires du 1^{er} novembre au 31 mars.

En cas de dépassement de la puissance souscrite, une taxe de 70,98 F par heure et par kVA est perçue.

Tableau 3 : Prix du kWh en tarif jaune (au 01.05.1999).

Option	Versions utilisations	Prime fixe annuelle*	Prix de l'énergie (centimes/kWh)			
			HPH	HCH	HPE	HCE
Base	longue	310,56	54,70	38,19	19,54	15,02
	moyenne	103,92	78,01	51,60	20,51	15,80
EJP	longue	310,56	185,66	36,46	19,54	15,02

* Prime fixe en francs par kVA.

1.4. Tarifs verts

Ils concernent surtout les gros utilisateurs qui sont livrés en haute tension, à partir de 20 kV. Il existe différents tarifs A5, A8, B+ modulables. Tous ces tarifs permettent d'établir le contrat le mieux adapté à l'utilisateur.

Tableau 1 : Tarif bleu : prix des abonnements au 01.05.1999.

Puissance souscrite	Prix annuel pour les options		
	de base	heures creuses	Tempo
3	129		
6	327,84	577,20	
9	658,44	1 036,20	889,68
12	945,36	1 495,20	1 218,72
15	1 232,28	1 954,20	1 218,72
18	1 519,20	2 413,20	1 218,72
24	2 534,40	4 035,36	2 248,44
30	3 549,60	5 657,52	2 248,44
36	4 564,80	7 279,68	3 020,28

Tableau 4 : Principe de la facturation.

Hiver	Nov. à Mars	Heures creuses hiver HCH
		Heures pleines hiver HPH
Été	Avril à Oct.	Heures creuses été HCE
		Heures pleines été HPE

Remarque : À tous ces tarifs hors taxes, il faut ajouter :

- la TVA : sur l'abonnement 5,5 %
sur les consommations 19,6 %
sur les taxes locales 19,6 %
- les taxes locales : taxe communale 8 %
taxe départementale 4 %

soit un total de taxes de l'ordre de 30 % sur les prix hors taxes.

1.5. Conclusion

Pour bien gérer l'énergie électrique, l'abonné doit :

- souscrire une puissance nécessaire et suffisante ;
- adapter sa consommation en fonction des périodes tarifaires, car l'énergie électrique ne se stocke pas.

2 Gérer l'énergie

Gérer l'énergie, c'est agir pour économiser l'énergie et l'utiliser au mieux tout en gardant l'efficacité et le confort de l'installation.

2.1. Prix de l'énergie

Il est donné par la facture d'électricité qui comporte (fig. 4) :

- l'abonnement : prime fixe qui dépend de la puissance souscrite ;
- la consommation : prix du kWh multiplié par le nombre de kWh.

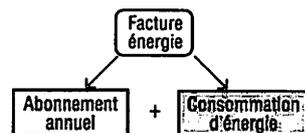


Fig. 4 : Principe de la facturation.

2.2. Facteurs d'économie

a) Diminuer la prime fixe

Pour cela, il faut diminuer la puissance souscrite mais sans dépassement de puissance, ce qui s'obtient par (fig. 5) :

- délestage d'une partie de l'installation quand la puissance appelée dépasse la puissance souscrite ;
- contrat Tempo ou EJP si possible.

b) Réduire le prix de la consommation

- Utiliser l'énergie quand elle est la moins coûteuse par le **contrat heures creuses**.

- Substituer l'énergie électrique quand elle est très coûteuse par une énergie de remplacement. C'est le cas des jours rouges en Tempo.

- Programmer les temps d'utilisation et réguler le chauffage électrique.

- Alimenter l'installation par la source de secours.

Enfin, pour réduire les pénalités, il faut :

- avoir toujours un bon cos φ ($\cos \varphi \geq 0,86$) ;
- éviter les dépassements de puissance (tarifs jaune et vert).

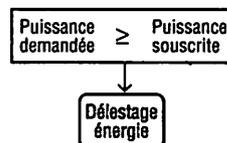


Fig. 5 : Nécessité du délestage.

3 Contrat « heures creuses »

3.1. Principe

On interdit aux heures de tarif élevé le fonctionnement de certains récepteurs qui peuvent être employés aux heures creuses où le tarif est plus faible.

Exemple : chauffe-eau à accumulation, radiateur à accumulation, lave-linge, sèche-linge, etc.

3.2. Réalisation (fig. 6)

On emploie un contacteur « heures creuses » qui s'enclenche automatiquement dès que l'on bénéficie du tarif heures creuses, et qui se coupe en fin de période « heures creuses ».

Ce contacteur-interrupteur possède trois positions :

- **position-arrêt** : elle permet de couper l'alimentation du contacteur, la commande devient sans effets ;
- **position automatique** : le contacteur-interrupteur s'enclenche à 22 h le soir et se déclenche à 6 h le matin ; il est télécommandé par le réseau EDF ;
- **position marche forcée** : elle est utilisée en cas de besoin exceptionnel (manque d'eau chaude). Le contacteur-interrupteur est fermé manuellement, il repasse en automatique à l'émission de la télécommande EDF.

Le contacteur-interrupteur HC est télécommandé soit par une horloge à contact, soit par un relais piloté par EDF. Un contact se ferme de 22 h à 6 h du matin (fig. 7).

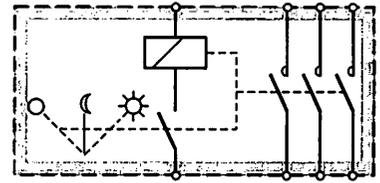
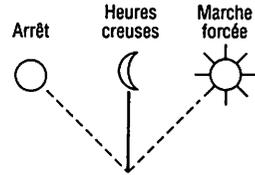


Fig. 6 : Contacteur-interrupteur HP/HC.

4 Délestage-Relestage

La fonction délestage permet de décharger temporairement une installation électrique, afin de limiter l'appel de puissance et de lui permettre de rester inférieure à la puissance souscrite. Pour cela on définit des circuits prioritaires ou non prioritaires, voir *tableau 5*.

4.1. Puissance souscrite (fig. 8 et 9)

Le diagramme d'exploitation journalière d'une installation domestique montre de fortes puissances absorbées à certaines heures, mais des puissances bien inférieures à d'autres heures.

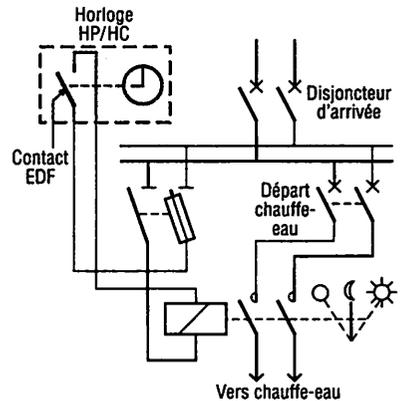


Fig. 7 : Branchement d'un relais HP/HC.

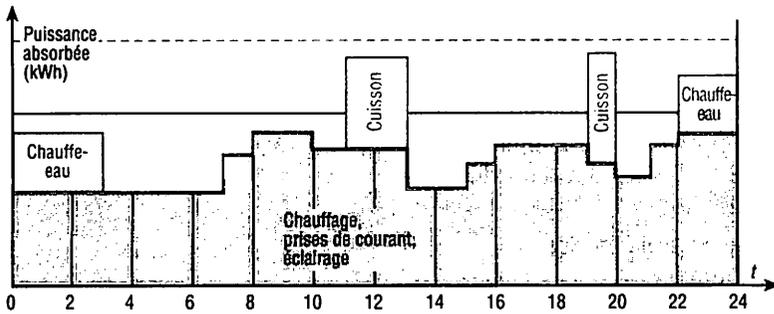


Fig. 8 : Puissance souscrite sans délestage.

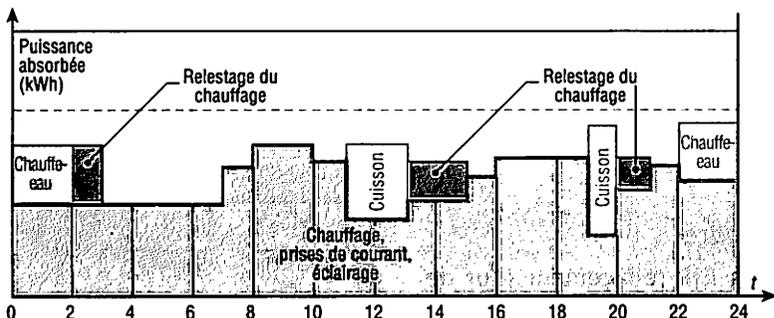


Fig. 9 : Puissance souscrite avec délestage.

Tableau 5 : Définition des circuits prioritaires ou non.

CIRCUITS PRIORITAIRES
<ul style="list-style-type: none"> - circuits liés à la sécurité, - circuits d'alarmes, - circuit éclairage.
CIRCUITS NON PRIORITAIRES
<i>Circuits à inertie thermique</i> <ul style="list-style-type: none"> - chauffe-eau, - chauffage des locaux, - radiateurs à accumulation, - chambres froides.
<i>Source de remplacement</i> <ul style="list-style-type: none"> - chauffage au fuel
<i>Décalage d'utilisation</i> <ul style="list-style-type: none"> - lave-linge, - lave-vaisselle...

4.2. Principe de fonctionnement (fig. 10)

Le délesteur détecte le dépassement du seuil correspondant à la puissance souscrite et il ouvre automatiquement un circuit non prioritaire (fig. 11).

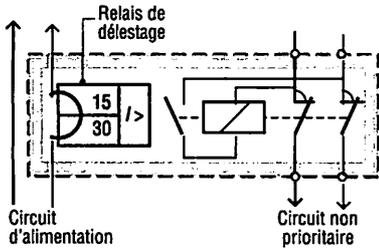


Fig. 10 : Principe du relais de délestage.

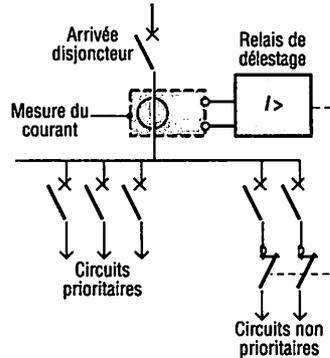


Fig. 11 : Répartition des circuits.

En savoir plus...

Fonctionnement interne du relais délesteur : le courant mesuré par le transformateur est comparé à l'intensité de réglage lorsque le courant dépasse le seuil, le relais de sortie est enclenché et provoque le délestage. Une base de temps de 5 à 10 mn permet de temporiser l'action du relais et d'éviter les battements.

4.3. Délestage hiérarchisé et tournant

Lorsque la puissance demandée dépasse la puissance souscrite, le relais délesteur coupe un premier circuit non prioritaire. Si le premier délestage n'est pas suffisant, on coupe un deuxième circuit non prioritaire, et de même pour un troisième circuit. C'est le **délestage hiérarchisé**.

Il existe aussi des relais délesteurs qui délestent à tour de rôle les circuits, toutes les 10 minutes par exemple : circuit 1 puis 2, puis 3. Au délestage suivant, l'ordre sera 2, 3, 1 puis 3, 2, 1 ; il s'agit d'un **délestage tournant** (voir documentation page 129).

Remarque : Le délestage peut être effectué selon trois modes :

- délestage sur seuil de puissance ou de courant ;
- délestage sur ordre (Tempo ou EJP) ;
- délestage sur comptage énergie (tarif vert).

5 Délestage sur ordre

5.1. Rappel du principe

Le prix du kilowattheure étant variable selon les jours de l'année (tarifs Tempo ou EJP), on utilise les ordres de changement de tarif pour couper les départs non prioritaires.

5.2. Fonctionnement du relais sur ordre

Ce relais (fig. 12) est aussi appelé relais EJP (effacement jour de pointe), il fonctionne à partir de signaux envoyés par le réseau du distributeur (EDF) et en fonction du type d'abonnement.

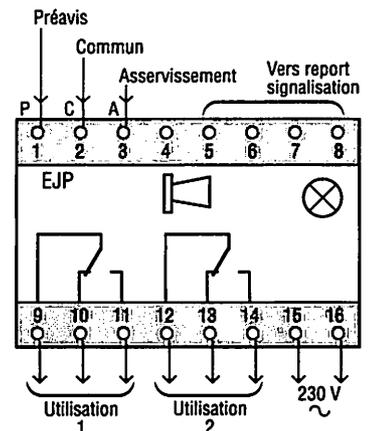


Fig. 12 : Brochage d'un relais télécommandé par EDF.

a) La signalisation

La veille d'un changement de tarif, le distributeur indique pour le lendemain l'option tarifaire, à l'aide d'un voyant de signalisation (jour bleu, ou rouge).

b) Le changement de tarif

Le matin à 6 heures, le distributeur enclenche un relais qui inverse deux contacts, ces contacts étant utilisables par l'abonné pour effectuer tous les délestages prévus.

À minuit, ce relais déclenche, et l'installation revient en fonctionnement en heures creuses.

6 Programmation temporelle

Elle permet d'économiser de l'énergie, en établissant des circuits en fonction de l'occupation des locaux.

La programmation peut être horaire, journalière, hebdomadaire ou annuelle. Elle peut agir sur le fonctionnement du chauffage, de l'éclairage ou même sur l'emploi de la force motrice (documentation page 130).

6.1. Principe d'un programmeur (fig. 13)

C'est un dispositif constitué par une base de temps qui ouvre ou ferme des contacts selon un programme qui peut être horaire, journalier (24 heures) ou hebdomadaire (sept jours).

Le programmeur peut actionner 1 ou 2 contacts. Chaque contact peut aussi être actionné par un programme différent.

Les programmeurs mécaniques à moteur entraînant un disque portant des cavaliers, sont remplacés par des programmeurs électroniques.

6.2. Récepteurs programmables

Ce sont :

- le chauffage électrique (convecteurs, panneaux radiants),
- la ventilation mécanique contrôlée (VMC),
- l'eau chaude sanitaire,
- la climatisation, le dégivrage,
- l'éclairage (extérieur ou intérieur).

La programmation des récepteurs peut être fonction de variables extérieures qui sont appelées consignes :

- pour le chauffage, régime réduit, confort hors gel, qui sont fonction de la température extérieure ;
- pour l'éclairage, l'allumage est fonction de la luminosité extérieure.

Exemple : Programmation temporelle du chauffage d'un bureau (fig. 14).

7 Bilan de la gestion d'énergie

La gestion d'énergie se traduit par un aspect technique (installation de relais de délestage, programmeurs...) et un aspect économique.

La gestion économique de l'énergie nécessite un bilan qui doit indiquer :

- le montant annuel des économies réalisées,
- le montant des dépenses à engager,
- la durée nécessaire pour amortir les dépenses engagées.

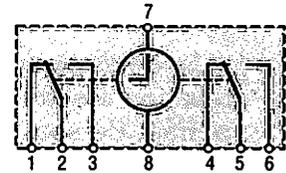


Fig. 13 : Symbole d'un interrupteur horaire à 2 contacts inverseurs.

Tableau 6 : Exemple de programmes des heures de passage de chauffage confort à chauffage réduit.

Jours	Heures	Conditions
Lundi	17 h à 24 h	$t > 7^\circ\text{C}$
Mardi	0 h à 5 h	
Mercredi	5 h à 6 h	
Jeudi	12 h à 13 h	
Vendredi	0 h à 5 h 5 h à 6 h 12 h à 24 h	$t > 7^\circ\text{C}$
Samedi Dimanche	0 h à 24 h	

$t > 7^\circ\text{C}$ signifie si la température extérieure est supérieure à 7°C .

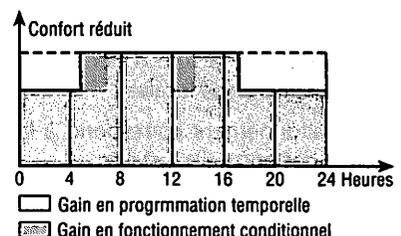
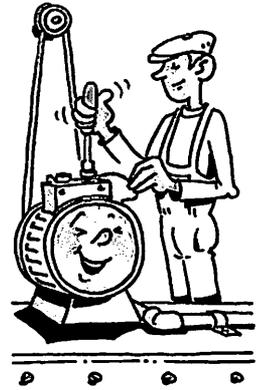


Fig. 14 : Programmation temporelle de chauffage.

L'essentiel

- Gérer l'énergie, c'est agir pour économiser l'énergie et l'utiliser au mieux, tout en gardant l'efficacité et le confort de l'installation.
- La tarification de l'électricité comporte une prime fixe ou abonnement et une consommation facturée au prix du kWh (kilowatt-heure). Il existe trois tarifs distincts : tarif bleu jusqu'à 36 kVA ; tarif jaune jusqu'à 250 kVA, et au-dessus le tarif vert.
- Le contrat « heures creuses » permet de bénéficier d'un tarif préférentiel entre 22 h le soir et 6 h du matin. Il nécessite l'installation d'un contacteur interrupteur « heures creuses ».
- Le délestage permet de décharger temporairement une installation électrique afin de limiter l'appel de puissance, ceci permet de souscrire un abonnement avec une puissance inférieure. On emploie alors des relais de délestage.
- Les tarifs Tempo et EJP (Effacement Jour de Pointe), ainsi que la programmation temporelle, permettent de mieux gérer l'énergie ; ils font appel à des relais et des programmeurs souvent associés à des thermostats et régulateurs.
- La gestion de l'énergie doit se traduire par un bilan avec : le montant annuel des économies réalisées, les dépenses à engager et la durée d'amortissement.



VRAI OU FAUX ?

EXERCICES

Parmi les affirmations suivantes, indiquez celles qui sont vraies.

1. Bien gérer l'énergie, c'est consommer moins et au moindre coût.
2. Plus on consomme d'énergie, plus on en économise.
3. Le tarif bleu peut aller jusqu'à une puissance souscrite de 250 kVA.
4. Le tarif jaune nécessite une puissance souscrite minimum de 36 kVA.
5. Le tarif « heures creuses » est une option du tarif bleu.
6. Le tarif « Tempo » est caractérisé par des jours : bleu, blanc et rouge.
7. Le prix du kilowatt le plus élevé en tarif Tempo se situe les jours rouges en heures creuses.
8. Dans une facture d'électricité, on paye une taxe (la TVA) sur les taxes locales.
9. L'abonnement correspond à la puissance électrique totale des appareils installés.
10. Un relais heures creuses fonctionne comme un disjoncteur.
11. Un relais de délestage coupe une partie de l'installation.
12. Le but du délestage est de consommer plus d'énergie.
13. Un relais de délestage coupe quand on dépasse la puissance souscrite.
14. Un relais de délestage tournant fonctionne sur le principe d'un moteur asynchrone.
15. Un délestage hiérarchisé opère à plusieurs niveaux de délestage.
16. Un délestage sur ordre opère au moment du changement de tarif.
17. La programmation temporelle permet d'établir ou de couper des circuits dans le temps.
18. Un programmeur est toujours journalier.
19. Un programmeur peut commander les heures de fonctionnement du chauffage dans un bureau.
20. La gestion d'énergie sert uniquement à chiffrer le montant des dépenses engagées dans les installations.

RÉSOLUS

1. On a souscrit un contrat normal de fourniture d'électricité pour une puissance de 12 kW ; on veut réduire le montant de la consommation en utilisant le tarif de nuit.

- Que faut-il faire ?
- Comparer les coûts.

Solution :

a) Pour bénéficier du tarif de nuit, il faut installer un contacteur jour/nuit télécommandé par EDF sur lequel sont alimentés : chauffe-eau, lave-linge par exemple.

b) Comparaison des prix pour 12 kVA.

Abonnement : tarif de base	945,36 F
tarif heures creuses	1 495,20 F
Différence	549,84 F

Prix du kWh de base

51,85 c

Prix du kWh de nuit

31,78 c

Différence

20,07 c

par kWh de nuit.

Pour compenser l'abonnement, il faudra consommer de nuit au moins 549,84 : 0,2007 = 2739 kWh dans l'année ou 228 kWh de nuit par mois.

2. On désire réaliser un tableau de distribution terminale dans lequel on doit alimenter deux zones de chauffage, et pour bien gérer l'énergie on veut à la fois :

- pouvoir délester tout ou partie du chauffage,
- réguler et programmer le chauffage électrique, le chauffage confort et le chauffage réduit.

Établissez le schéma du tableau de répartition et les circuits de commande des relais de délestage, de programmation et de régulation de température.

Solution : Voir fiche de schémas p. 128, paragraphe 3.

3. Recherchez à l'aide de la documentation la référence d'un relais de délestage permettant d'effectuer un délestage pour une puissance souscrite de 15 kW. Calculez la valeur de l'intensité de réglage de ce relais.

Solution : Pour une puissance souscrite de 15 kW, l'intensité à ne pas dépasser sera de :

$$I = P/U = 15\ 000/230 = 65,22\ A.$$

L'intensité de réglage du délestage sera de 60 A.

La référence du relais de délestage (page 129) : délesteur monophasé à une voie, référence ED 391.

À RÉSOUDRE

1. Quelles sont les deux parties qui composent une facture d'électricité (EDF) ?

2. Indiquez les différents tarifs et options qui existent pour la facturation de l'énergie électrique en tarif jaune.

3. Qu'est-ce que l'option Tempo ? Par quoi est-elle caractérisée ?

4. On désire appliquer le contrat heures creuses à une installation ayant une puissance installée de 18 kVA.

- Indiquez les tarifs d'abonnement avant et après.
- Indiquez les prix du kWh.
- Comment est donnée l'information heures creuses ?
- Quels sont les récepteurs qui peuvent être alimentés durant les heures creuses ?

5. Pour réduire le montant de la facture d'électricité, on décide d'utiliser un relais de délestage pour passer d'une puissance souscrite de 15 kVA à 12 kVA. Le prix du relais de délestage étant de 932 F, au bout de combien de temps fera-t-on des économies ?

6. Une installation a une puissance souscrite de 15 kVA ; on décide d'installer un relais de délestage :

- expliquez ce que l'on appelle délestage et relestage.

b) où doit être placé un relais de délestage et à quelle intensité doit-on régler ce relais ?

c) quels sont les appareils à délester dans une installation domestique ?

7. Recherchez à l'aide de la documentation, la référence d'un relais de délestage permettant d'effectuer un délestage pour une puissance souscrite de 15 kW. Calculez la valeur de l'intensité de réglage de ce relais.

8. Recherchez à l'aide de la documentation, la référence d'un relais permettant d'effectuer un délestage, sachant que l'on veut passer d'une puissance souscrite de 15 kW à une puissance de 12 kW. Calculez la valeur de l'intensité de réglage de ce relais.

9. Recherchez à l'aide de la documentation, la référence d'un relais de délestage hiérarchisé permettant d'effectuer un délestage pour passer d'une puissance souscrite de 18 kW, à 15 kW. Calculez la valeur de l'intensité de réglage de ce relais.

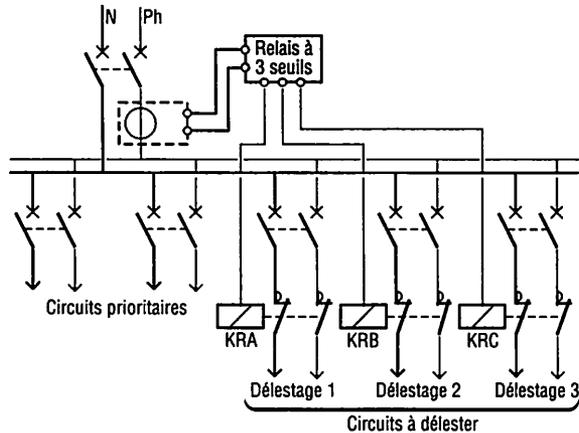
10. Recherchez à l'aide de la documentation, la référence d'un gestionnaire d'énergie deux zones, et donnez sa référence.

Indiquez ce que l'on entend par asservissement à la tarification.

Procédés de délestage

1. Délestage par courant

Le relais de délestage reçoit en information d'entrée la valeur du courant absorbé. Dès que le courant absorbé dépasse le seuil de délestage, il alimente la bobine du rupteur KRA qui opère un premier délestage. Si cela n'est pas suffisant, le rupteur KRB est alimenté, puis KRC. À la disparition de l'ordre de délestage, les rupteurs rétablissent le circuit.

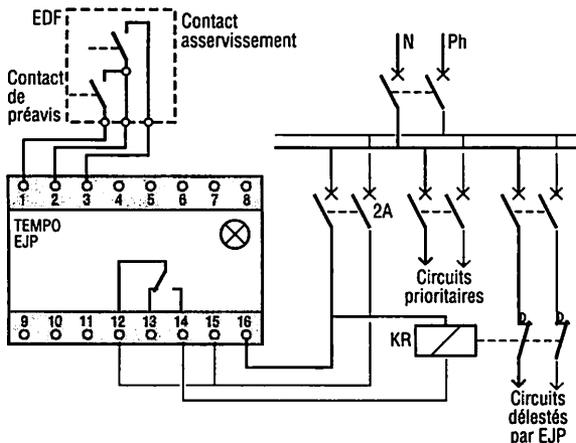


Distribution avec relais de délestage à 3 seuils réglables et mesure d'intensité séparée.

Remarque : le relais de délestage est alimenté en 230 V entre phase et neutre, ainsi que les rupteurs KRA, KRB, KRC ; ce circuit est protégé par fusibles 2 A.

2. Délestage sur ordre

Le relais de délestage reçoit deux ordres du réseau EDF : le préavis qui permet une signalisation sonore et visuelle, une demi-heure avant le changement de tarif, et l'ordre EJP ou Tempo qui provoque l'ouverture KR.



Le délestage dans ce cas s'effectue « sur ordre » du distributeur d'énergie.

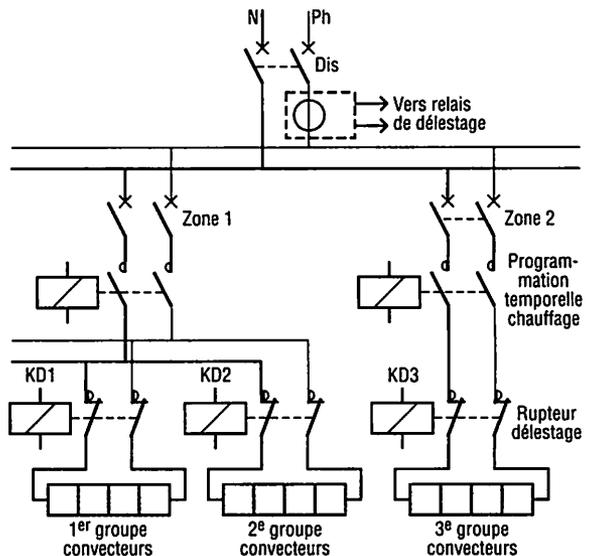
3. Délestage par programme

Il permet d'interdire à certaines heures le fonctionnement de certains appareils.

a) Exemple

Distribution avec programmation temporelle et délestage.

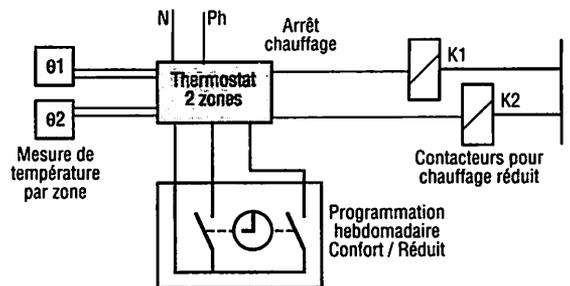
L'installation de chauffage est seule représentée, elle est effectuée sur deux zones et la zone 1 comporte 2 départs d'alimentation des convecteurs.



b) Régulation et programmation

– En période normale les thermostats de chaque radiateur règlent la température confort de chaque pièce (18 à 20 °C).

– En période d'inoccupation programmée, le thermostat deux zones reçoit une consigne du programmeur qui le force à fonctionner en chauffage réduit, d'où coupeure des convecteurs par K1 et K2.

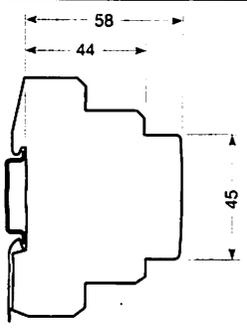


c) Délestage

Dans les périodes d'occupation, le relais de délestage permet de ne pas dépasser la puissance souscrite. Il déleste successivement les circuits KD1, KD2, KD3 du schéma du paragraphe a).

hager

Délesteurs



Relais d'intensité : en délestage divisionnaire, ils contrôlent l'intensité d'un circuit et coupent automatiquement l'alimentation d'un appareil non prioritaire au profit d'un appareil prioritaire, ceci par l'intermédiaire d'un contacteur à ouverture ou à fermeture, selon l'utilisation ;
en détection, ils assurent le contrôle du seuil de fonctionnement (3 ou 7 A) de tout circuit (ex. câbles chauffants), par association avec une signalisation visuelle ou sonore.

pour caractéristiques détaillées, voir page 378

Délesteurs totalisateurs : ces appareils permettent d'économiser sur la tarification EDF en souscrivant une puissance d'abonnement adaptée à la consommation moyenne annuelle d'une installation ; l'intensité totale absorbée est contrôlée par un capteur séparé. En cas de dépassement de la puissance souscrite, les circuits considérés comme non prioritaires sont momentanément mis hors service ;
 ● visualisation des circuits délestés (1 voyant par voie)
 ● entrée de forçage pour délestage permanent des voies non prioritaires.

3 gammes :
 ● les délesteurs : pour le contrôle de charges supérieures à 4 kW, à associer avec des contacteurs à ouverture (page 207),
 ● les délesteurs contacteurs : pour le contrôle de charges inférieures à 4 kW, variante 1 voie à sortie directe, les variantes 2 et 3 voies sont livrées avec des contacteurs unipolaires.
 ● le délesteur télé-information Bornes à cages protégées, capacité de raccordement : 1 à 6 fil souple, 1,5 à 10 fil rigide.

pour caractéristiques détaillées, voir page 375

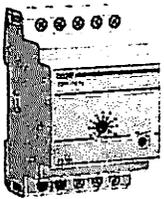
Désignation	Caractéristiques	Larg. en mm	Emball. 17,5 mm	Réf. C ^{***} n° identif.
-------------	------------------	-------------	-----------------	-----------------------------------



ED 180

Relais d'intensité pour délestage divisionnaire ou détection de seuil
 à associer obligatoirement avec 1 contacteur (page 207)

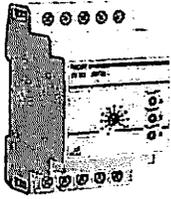
tension d'aliment. : 230 V ~ 50 Hz
 2 seuils de fonctionnement 3 et 7 A sélectionnés par commutateur
pour contacteur à ouverture : 1 1 **ED 180**
 224180
pour contacteur à fermeture : 1 1 **ED 190**
 224190



ED 391

Délesteur monophasé à 1 voie pour réseau mono. ou triphasé (1 appareil par phase), permet au minimum d'économiser 1 tranche d'abonnement B.T.
 livré avec capteur ED 080

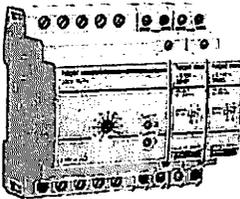
tension d'alimentation : 230 V ~ 50 Hz
 calibre réglable de 15 à 90 A, sortie :
 1 contact inverseur 1 1 **ED 391**
 224391
 15 A - 250 V ~



ED 392

Délesteurs monophasés à 2 voies hiérarchisées pour réseau mono. ou triphasé (1 appareil par phase) permet au minimum d'économiser 1 tranche d'abonnement B.T.
 livrés avec capteur ED 080

tension d'alimentation : 230 V ~ 50 Hz
 calibre réglable de 15 à 90 A, sorties :
 ● 1 contact inverseur 3 1 **ED 192**
 10 A - 250 V ~
 1 contact à fermeture 0,1 A - 250 V ~
 ● 2 contacts à ouverture 3 + 2 1 **ED 392**
 20 A - 250 V ~



ED 393

Délesteur télé-information
 voir page 224

voir page 224



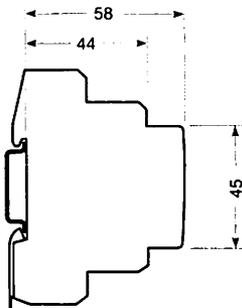
ED 080

Délesteurs monophasés à 3 voies hiérarchisées ou tournantes pour réseau mono. ou triphasé (1 appareil par phase) permet au minimum d'économiser 1 à 2 tranches d'abonnement B.T.
 livrés avec capteur ED 080

tension d'alimentation : 230 V ~ 50 Hz
 calibre réglable de 15 à 90 A, sorties hiérarchisées :
 ● 1 contact inverseur 3 1 **ED 193**
 10 A - 250 V ~
 2 contacts à fermeture 0,1 A - 250 V ~
 ● 3 contacts à ouverture 3 + 3 1 **ED 393**
 20 A - 250 V ~
 224393
sorties tournantes :
 ● 1 contact inverseur 3 1 **ED 194**
 10 A - 250 V ~
 2 contacts à fermeture 0,1 A - 250 V ~
 ● 3 contacts à ouverture 3 + 3 1 **ED 394**
 20 A - 250 V ~

hager

Gestionnaires d'énergie



Les gestionnaires d'énergie sont destinés à la gestion de l'énergie électrique dans les locaux d'habitation équipés d'un compteur électronique pour le tarif bleu.

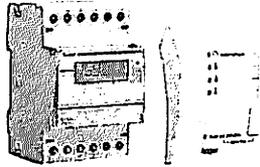
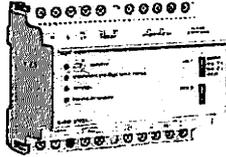
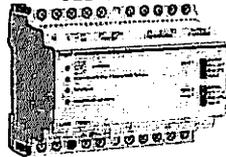
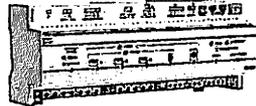
Ils assurent le pilotage du chauffage électrique via le fil pilote sur 1, 2 ou 3 zones. Ces gestionnaires répondent aux exigences Vivrélec 1 et 2.



Vivrélec

Association Vivrélec - 10 rue de la République - 92000 Nanterre - France - Tél. 01 1 47 37 10 00 - Fax 01 1 47 37 10 01 - Site Internet : www.vivrélec.com

□ pour caractéristiques détaillées, voir page 362

Désignation	Caractéristiques	Larg. en ■ 17,5 mm	Emball.	Réf. c ^{***} n° identif.
 <p>Gestionnaire d'énergie simplifié, 1 zone livré avec 1 boîtier d'ambiance</p> <p>EJ 110</p>	<ul style="list-style-type: none"> - programmation journalière intégrée fixe de 5h-23h de 1 zone de chauffage, - asservissement à la tarification, - délestage sur 2 voies chauffage, 	3	1	EJ 110* 230110
 <p>Gestionnaire d'énergie 2 zones livré avec 2 boîtiers d'ambiance</p> <p>EJ 210</p>	<ul style="list-style-type: none"> - programmation de 2 zones de chauffage (non intégrée), - asservissement à la tarification, - délestage sur 4 voies chauffage et 1 voie chauffe-eau, - 2 entrées de forçage hors-gel, - dérogations possibles sur chaque zone 	6	1	EJ 210* 230210
 <p>3 zones livré avec 3 boîtiers d'ambiance</p> <p>EJ 310</p>	<ul style="list-style-type: none"> - programmation de 3 zones de chauffage (non intégrée), - asservissement à la tarification, - délestage sur 6 voies chauffage et 1 voie chauffe-eau, - 2 entrées de forçage hors-gel, - dérogations possibles sur chaque zone 	6	1	EJ 310* 230310
 <p>3 zones livré avec 1 boîtier d'ambiance et 2 sondes d'ambiance</p> <p>EJ 001</p>	<ul style="list-style-type: none"> - programmeur hebdomadaire intégrée de 3 zones de chauffage, - délestage sur 3 voies chauffage et 1 voie chauffe-eau, - entrée de forçage hors-gel, - dérogations possibles sur chaque zone, - carte à puce de programmation (sur demande) 	12	1	EJ 001 230001

* disponible 2^{ème} trimestre 99

14

Les constituants d'électronique de puissance

L'électronique de puissance se situe entre l'électronique des courants faibles et l'électrotechnique. C'est la mise au point des semi-conducteurs de puissance tel que diodes, thyristors et transistors qui a permis son développement.

1 Diodes de puissance

Il existe une grande variété de diodes : de signal, Zener, électroluminescente (DEL). Nous ne retiendrons que les diodes de puissance ou encore diodes de redressement.

1.1. Rappels théoriques

Les diodes à semi-conducteurs sont réalisées à partir d'une jonction PN. La représentation symbolique indique le sens du passage du courant.

a) Sens direct (ou passant) (fig. 1)

La diode est parfaitement conductrice, elle présente une faible chute de tension, elle est comparable à un interrupteur fermé.

b) Sens inverse (ou sens bloqué) (fig. 2)

La diode est isolante, un très faible courant résiduel la traverse (quelques micro-ampères), elle est analogue à un interrupteur ouvert.

c) Courbes caractéristiques (fig. 3)

Les caractéristiques directes et inverses sont données sur le même graphique, mais les échelles sont très différentes.

1.2. Caractéristiques des diodes

Il faut retenir surtout deux caractéristiques essentielles :

- le courant direct moyen à l'état passant,
- la tension inverse.

Chaque caractéristique est donnée par des abréviations en lettres.

a) Courants (fig. 4)

- I_F : courant direct continu.
- I_0 : courant moyen à l'état passant. I_0 et I_F sont très voisins.
- I_{FM} : courant direct de crête.
- I_{FSM} : courant direct de pointe de surcharge accidentelle.
- I_R : courant inverse continu.
- I_{RM} : courant inverse de crête.

b) Tensions (fig. 5)

- V_F : tension directe continue.
- V_{FM} : tension directe de crête.
- V_R : tension inverse continue.
- V_{RM} : tension inverse de crête.
- V_{RRM} : tension inverse de pointe répétitive.

OBJECTIFS

Dans un équipement utilisant de l'électronique de puissance, il faut être capable :

- d'identifier un composant de puissance ;
- d'exploiter les documents constructeurs ;
- d'implanter et de raccorder un composant ;
- de le remplacer en échange standard.

SAVOIR TECHNOLOGIQUE

S 4.1

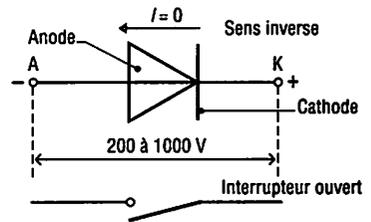


Fig. 1 : Diode dans le sens passant.

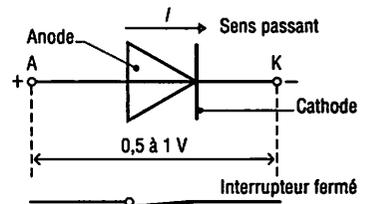


Fig. 2 : Diode en sens inverse.

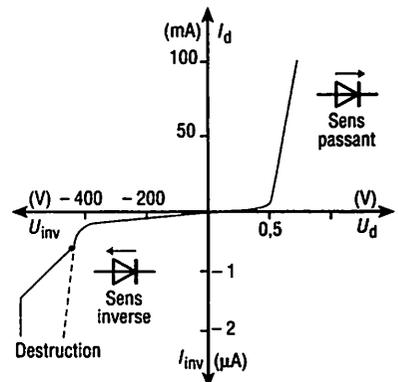


Fig. 3 : Caractéristiques directe et inverse d'une diode.

c) Températures

- T_{amb} : température ambiante.
- T_{case} : température du boîtier.
- T_j : température de jonction.

1.3. Boîtiers (fig. 6)

La jonction PN est protégée par un boîtier qui peut être en verre, en matière plastique ou en métal.

Il existe une très grande variété de présentations de ces boîtiers selon les courants et les tensions utilisées. La **figure 6** donne les principales présentations.

Repérage des bornes anode-cathode :

Pour les types DO 2, il s'effectue par un anneau côté cathode. Pour les types DO 4 ou DO 5, la cathode est généralement fixée sur le boîtier et le symbole est représenté sur le boîtier.

1.4. Classification des diodes

a) Différents types de diodes de redressement

- Redressement standard (BY 239).
- Redressement rapide (BY 233).
- Redressement rapide à haut rendement exemple : (BYW 80).
- Redressement ultrarapide (BY 08).

b) Sélection des diodes

Elle s'effectue selon les différents types de courant direct moyen : I_D , et selon la tension inverse : V_{RRM} .

1.5. Protection des diodes

a) Protection contre les courts-circuits

Le court-circuit peut être dû à la charge (circuit extérieur) ou au claquage d'une diode (circuit interne).

La protection est assurée par des fusibles ultrarapides montés en série avec les diodes dont le temps de fusion est inférieur à l'échauffement maximum de la diode.

$$I^2t_{\text{fusible}} < I^2t_{\text{diode}}$$

b) Protection contre les échauffements

L'échauffement de la jonction est évacué dans le dissipateur, ou radiateur, sur lequel est montée la diode.

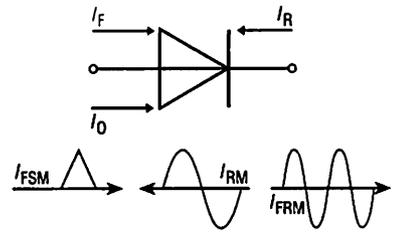


Fig. 4 : Formes de courants.

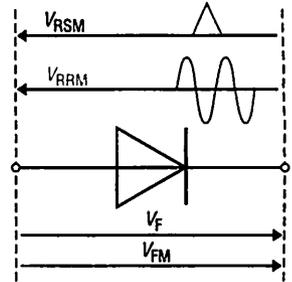


Fig. 5 : Différentes tensions.

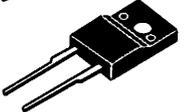
F 126 ou
CB-210
Plastique



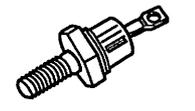
DO 27 A ou
CB-197
Plastique



DO 220 AB
ou CB-468
Plastique



DO 4 ou
CB-33
Métal



DO 5 ou
CB-34
Métal

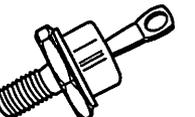


Fig. 6 : Différents boîtiers pour les diodes de 1 à 100 A (STMicroelectronics).

2 Thyristors

Le thyristor est une diode commandée, c'est-à-dire qu'il possède, en plus d'une diode, une électrode de commande ou gâchette qui permet le passage du courant.

2.1. Rappels théoriques

a) Constitution (fig. 7)

Un thyristor peut être considéré comme un empilage de quatre couches semi-conductrices PNP. Les différentes couches PN peuvent se représenter sous la formule de trois jonctions PN avec des sorties (A) anode, (K) cathode, (G) gâchette, c'est-à-dire trois diodes dont l'une est à l'inverse des deux autres.

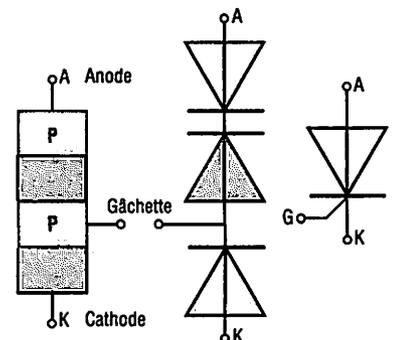


Fig. 7 : Représentations d'un thyristor.

b) Différents états (fig. 8)

Le thyristor est avant tout une diode avec un sens passant et un sens bloqué. Pour que le thyristor conduise, il faut en plus un courant de gâchette qui provoque l'amorçage du thyristor.

Dès qu'un thyristor est amorcé par un courant de gâchette, il continue à conduire tant que la tension U_{AK} est positive.

c) Analyse du fonctionnement (fig. 9)

Le thyristor, alimenté sous une tension U_{AK} positive, n'est pas conducteur. À la fermeture du contact S_1 , on établit le circuit de gâchette, ce qui provoque l'amorçage du thyristor ; à ce moment, il se comporte comme une diode.

d) Courbe de fonctionnement (fig. 10)

On l'appelle aussi caractéristique statique. Pour un courant de gâchette I_g on a représenté le courant direct et inverse dans le thyristor.

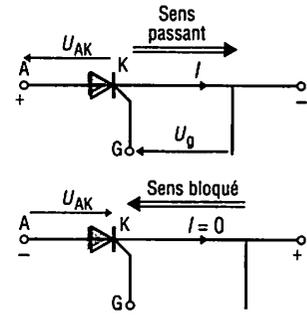


Fig. 8 : Différents états du thyristor.

2.2. Grandeurs caractéristiques

a) Courants

- I_T (RMS) : courant efficace à l'état passant du thyristor.
- I_0 : courant moyen à l'état passant.
- I_{TSM} : courant de surcharge de pointe à l'état passant (10 ms).
- I_{RM} : courant inverse de crête.
- I_{DM} : courant de crête à l'état bloqué.
- I_{TM} : courant de crête à l'état passant.

b) Tensions

- V_{RRM} : tension inverse de pointe répétitive.
- V_{DRM} : tension de pointe répétitive à l'état bloqué.
- V_{TM} : tension de crête à l'état passant.

c) Gâchette

- V_{GT} : tension à gâchette à l'amorçage.
- I_{GT} : courant d'amorçage par la gâchette.

d) Autres caractéristiques

- T_{case} : température du boîtier.
- T_j : température de la jonction PNP.
- T_{amb} : température ambiante.
- I_t^2 : contrainte thermique (A^2s).

Ces différentes grandeurs sont données par les constructeurs.

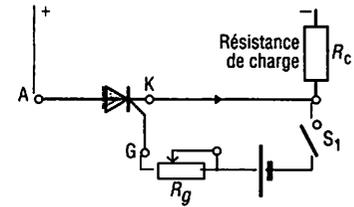


Fig. 9 : Fonctionnement d'un thyristor.

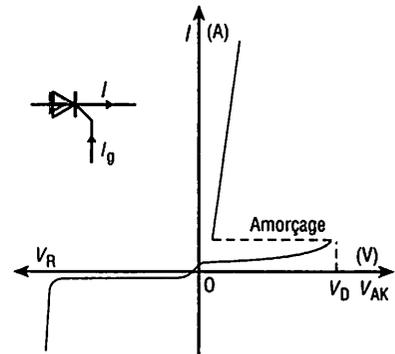


Fig. 10 : Caractéristique statique.

2.3. Repérage et encombrement des boîtiers (fig. 11)

Il existe une très grande variété de boîtiers contenant les thyristors :

- les boîtiers plastiques (jusqu'à 50 A maxi) ;
- les boîtiers métallique (depuis 20 A).

Le symbole et la référence sont inscrits sur le corps du thyristor.

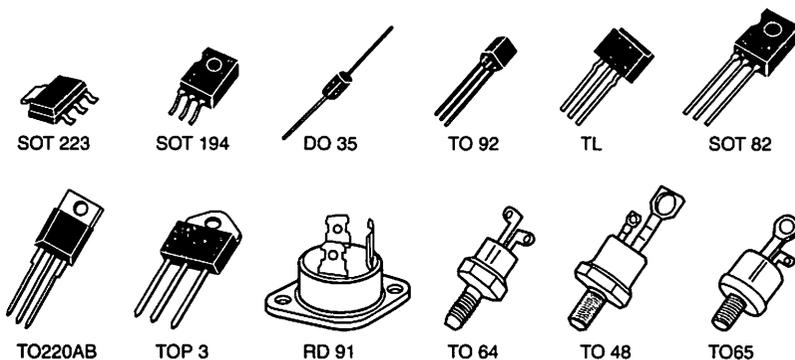


Fig. 11 : Exemples de boîtiers de thyristors (STMicroelectronics).

2.4. Différents thyristors

On distingue les thyristors suivants :

- thyristors sensibles : de 0,2 à 0,5 mA ;
- thyristors standard : de 3 A à 1 200 A ;
- thyristors rapides : temps de communication 10 à 40 μ s ;
- thyristors ouvrables par la gâchette ou GTO.

2.5. Protection des thyristors

a) Protection contre les courts-circuits

La protection est identique à celle des diodes.

b) Protection contre les échauffements

On installe un dissipateur ou radiateur dont les caractéristiques sont déterminées par le constructeur en fonction de la différence entre la température ambiante et celle du boîtier.

$$\Delta t = t_{\text{case}} - t_{\text{amb}} \text{ (}^\circ\text{C)}$$

3 Triacs

C'est un composant constitué comme deux thyristors montés « tête-bêche », mais il ne comporte qu'une seule gâchette.

3.1. Caractéristiques de fonctionnement (fig. 12)

Elle correspond aux caractéristiques de deux thyristors dans deux quadrants opposés.

Les triacs fonctionnent en général avec un courant de gâchette positif.

3.2. Amorçage

L'amorçage peut s'effectuer avec un courant de gâchette positif ou négatif. Selon que la tension aux bornes A_1 - A_2 est positive ou négative, il y a donc quatre combinaisons possibles (voir **tableau 1**).

Le blocage est obtenu après suppression du courant de gâchette, et application d'une tension inverse.

3.3. Caractéristiques des constructeurs

Les tensions et courants sont identiques à celles des thyristors.

Le courant de gâchette est particulier, il est indiqué en fonction de quatre quadrants (**fig. 13**). Les caractéristiques d'utilisation sont : la tension inverse V_R de 400 à 1 000 V ; le courant moyen I_0 ; le courant de gâchette I_{GT} de 5 à 10 mA ; la tension de gâchette V_{GT} .

3.4. Protection

Elle est analogue à celle des diodes et des thyristors ; il faut assurer aussi bien la protection contre les courts-circuits (fusibles) que la protection contre l'échauffement, à l'aide de radiateurs.

3.5. Utilisation

Les triacs permettent de remplacer deux thyristors, ils sont surtout employés pour les montages gradateurs :

- les gradateurs de lumière ;
- les alimentations de radiateurs, les moteurs de perceuses.

Exemple d'utilisation d'un triac : **figure 14**.

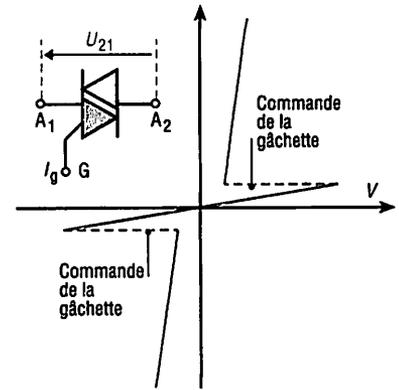


Fig. 12 : Caractéristique d'un triac.

Tableau 1 : Commutation d'un triac en fonction de la tension et du courant de gâchette.

Tension	U_{21} positif	U_{21} négatif
$I_g > 0$	Très bonne	Mauvaise
$I_g < 0$	Moyenne	Bonne

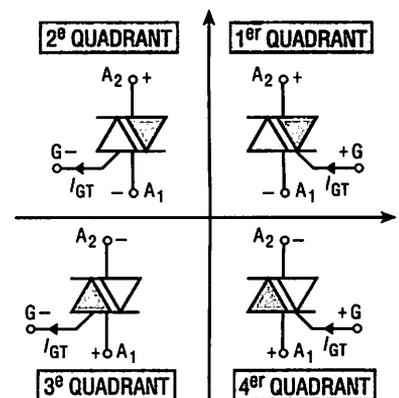


Fig. 13 : Explication des quatre quadrants.

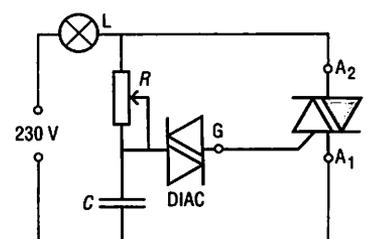


Fig. 14 : Gradateur de lumière commandé par diac et triac.

4 Transistors de puissance

Les transistors de puissance permettent de commuter des circuits de plusieurs centaines d'ampères avec des tensions allant jusqu'à 1 000 V. Ils sont utilisés pour des hacheurs et des onduleurs.

4.1. Caractéristiques du transistor

On préfère utiliser des transistors NPN qui sont plus rapides et ont une meilleure tenue en tension que les transistors PNP.

Caractéristiques : $I_c = f(V_{CE})$ (fig. 15 et 16).

Le transistor comporte trois parties : le collecteur (C), la base (B) et l'émetteur (E), il est alimenté en émetteur commun (émetteur commun au circuit, émetteur collecteur, et au circuit base émetteur).

Pour différentes valeurs de I_b on obtient un réseau de courbes :

$$I_c = f(V_{CE})$$

En commutation on retient deux points de fonctionnement A et B ; A : transistor bloqué ; B : transistor saturé.

4.2. Valeurs caractéristiques

a) Tensions

- V_{CEO} : tension continue collecteur-émetteur avec $I_b = 0$ et I_c spécifié.
- V_{CEV} : tension continue collecteur-émetteur avec une tension de blocage V_{BE} et un courant I_c spécifié.
- V_{CEW} : tension continue collecteur-émetteur maximale en phase de blocage avec un courant $I_{CW\ off}$ spécifié.

b) Courants

- I_c : courant collecteur (continu).
- I_b : courant de base (continu).
- I_{ERMS} : courant efficace émetteur.
- $I_{CW\ off}$: courant collecteur maximal en phase de blocage sous une tension V_{CEW} .
- I_{CRMS} : courant efficace collecteur.

c) Temps

- t_r : temps de croissance.
- $T_d + t_r$: temps total d'établissement.
- T_{si} : retard à la décroissance sur charge inductive.
- t_s : retard à la décroissance.
- t_{fi} : temps de décroissance du courant sur charge inductive.

d) Divers

- CALC : circuit d'aide à la communication.
- R_{th} (j.c.) : résistance thermique jonction boîtier.
- di_c/dt : vitesse d'établissement du courant à la fermeture.
- P_{tot} : dissipation totale de puissance.

4.3. Grandeurs à retenir

- I_c : courant continu collecteur.
- I_b : courant continu de base.
- V_{CEO} : tension continue collecteur-émetteur.

4.4. Boîtiers des transistors de puissance (fig. 17)

Ils existent sous plastique pour les petites puissances et ils sont métalliques pour les fortes puissances.

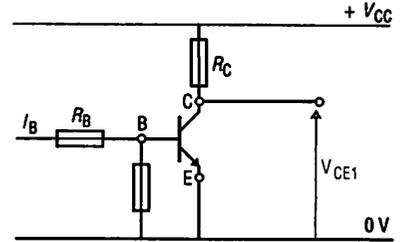


Fig. 15 : Transistor en montage émetteur commun.

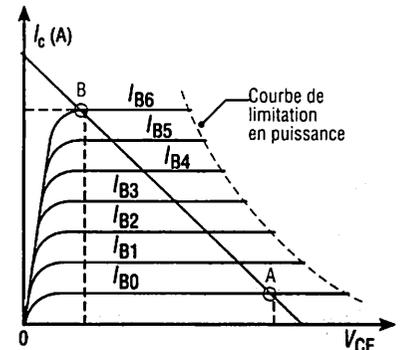


Fig. 16 : Caractéristiques d'un transistor en commutation.

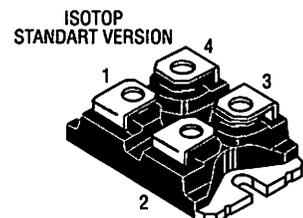
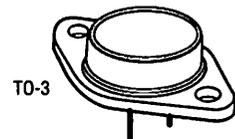
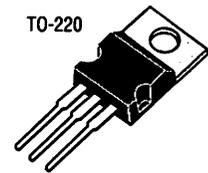


Fig. 17 : Différents boîtiers de transistors de puissance (STMicroelectronics).

■ L'électronique de puissance est apparue dès que l'on a su fabriquer des diodes, thyristors, et transistors étant capables de supporter des tensions jusqu'à 1 200 V et des courants de plusieurs centaines d'ampères.

■ Les **diodes de puissance** sont surtout caractérisées par leur courant direct (I_D) et par leur tension inverse (V_{RM}). Les améliorations des diodes sont liées au rendement et à la rapidité.

■ Les **thyristors** sont des diodes commandées à l'aide d'une gâchette qui permet l'amorçage ou non du thyristor. Comme les diodes, les thyristors sont caractérisés par leur courant direct, et leur tension inverse, mais aussi par le courant de gâchette et la durée d'amorçage.

■ Les **triacs** sont surtout employés en petite puissance pour faire varier l'éclairage. Ils sont un cas particulier de l'emploi des thyristors.

■ Les **transistors** sont surtout employés en électronique de puissance pour leur facilité de commande en commutation, mais ils sont limités en tension et en courant ; deux caractéristiques essentielles : I_C et V_{CEO} , sont à retenir.

■ La **protection** de tous ces composants est effectuée contre les courts-circuits par des fusibles rapides, et contre les échauffements par des radiateurs avec une ventilation.



VRAI OU FAUX ?

Parmi les affirmations suivantes, indiquez celles qui sont vraies.

1. Une diode laisse passer le courant dans un seul sens.
2. Une diode est caractérisée par son courant inverse et sa tension directe.
3. On désigne par I_f , le courant direct continu qui traverse une diode.
4. Le courant moyen à l'état passant d'une diode est très différent du courant continu direct.
5. La protection d'une diode est assurée par un disjoncteur.
6. On peut considérer un thyristor comme une diode commandée.
7. La gâchette d'un thyristor permet de laisser passer le courant dans les deux sens.
8. L'amorçage d'un thyristor est effectué par un courant de gâchette.
9. Pour désamorcer un thyristor, il faut inverser la tension à ses bornes.
10. Avec un thyristor standard, en inversant le courant de gâchette, on peut le désamorcer.
11. Un triac est constitué de deux thyristors avec une seule gâchette.
12. Un triac, lorsqu'il est amorcé, laisse passer le courant dans les deux sens.
13. La gâchette peut commander l'amorçage et le désamorçage du triac.
14. Les triacs sont utilisés pour les gradateurs de lumière.
15. Un montage tête-bêche signifie que deux composants sont montés en série.
16. Un transistor de puissance est aussi appelé transistor bipolaire.
17. Les transistors PNP sont plus rapides que les transistors NPN.
18. Le circuit d'utilisation d'un transistor bipolaire se situe entre émetteur et base.
19. Le circuit de commande d'un transistor bipolaire se situe entre la base et la masse.
20. Ce qui limite le transistor en électronique de puissance est sa tension de blocage entre émetteur et collecteur.

RÉSOLUS

1. Dans un redresseur de puissance, on relève sur un composant l'indication suivante :

BY T08P-400

De quel composant s'agit-il ? Donnez ses principales caractéristiques.

Solution : Il s'agit d'une diode de puissance ultrarapide (documentation p. 138), $V_{RRM} = 400$ V, Courant $I_T = 8$ A, $V_f = 1,4$ V, $T_{RR} = 75$ ns, boîtier TO-220 Ac.

2. Dans un variateur de vitesse, on a détecté un composant d'électronique de puissance portant le repère BTW68-800.

Quel est ce composant ? Quelles sont ses caractéristiques ?

Solution : Dans la fiche de documentation p. 139, on trouve la BTW68-800, c'est un thyristor dont les caractéristiques sont :

I_T : courant moyen 30 A ;
 V_{RRM} : tension inverse 800 V ;
 I_{TSM} : 400 A ; I_{GT} : max 50 mA.
 Il est en boîtier TOP3 métallique.

3. Un gradateur de lumière est défectueux et vous suspectez le semi-conducteur portant l'indication BTA 16-40. De quel composant s'agit-il ? Donnez ses principales caractéristiques.

Solution : Il s'agit d'un triac, selon la documentation p. 140 ; ses caractéristiques principales sont :

I_{RMS} : courant moyen 16 A (RMS)

V_{DRM} : ± 400 à 800 V

Courant de gâchette 50 mA.

Le boîtier métallique est de type TO 220 AB.

4. Dans un ensemble électronique de puissance, on a relevé sur un composant l'indication suivante : BUT 11A. De quel composant s'agit-il ? Quelles sont ses caractéristiques ?

Solution : Il s'agit d'un transistor de puissance (documentation p. 141), ses caractéristiques sont les suivantes :

$V_{CCO} = 450$ V, $V_{CBO} = 1\ 000$ V, $I_C = 5$ A, $V_{CE} = 1,5$ V,
 $P_{tot} = 83$ W, boîtier TO-220.

À RÉSOUDRE

1. Sur un redresseur de puissance on relève, sur un composant, l'indication suivante : BYW 99-200. De quel composant s'agit-il ? Donnez ses principales caractéristiques.

2. Un démarreur de moteur asynchrone est réalisé en électronique de puissance avec des composants dont on relève la dénomination suivante :

BTA 26-800

De quel composant s'agit-il ? Donnez ses principales caractéristiques.

3. Sur une alimentation à tension variable d'un chariot électrique, on a relevé sur un composant l'indication suivante : BUX 98. De quel composant s'agit-il ? Quelles sont ses caractéristiques ?

4. Un composant d'un variateur de vitesse de perceuse portative porte l'indication BTA 06-400. De quel composant s'agit-il et quelles sont ses principales caractéristiques ?

5. Un composant sur un pont redresseur est dans un boîtier TO 220 A et ne possède que deux bornes ; son

repérage est effacé, mais vous savez qu'il est branché sur du 120 V réseau et que ce redresseur débite 20 A. Quel peut être ce composant et quelle peut être sa référence correspondant aux caractéristiques du redresseur ?

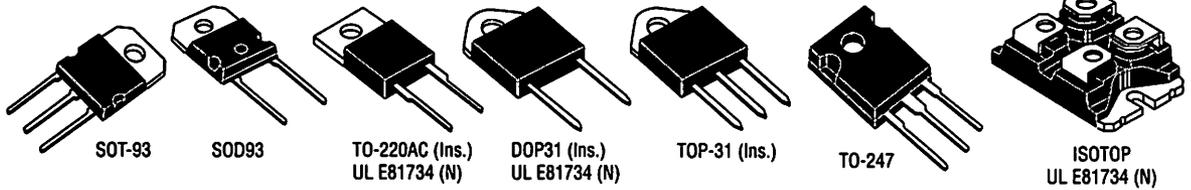
6. Dans un redresseur de puissance, on relève sur un composant l'indication suivante : BYT260PIV-400. De quel composant s'agit-il ? Donnez ses principales caractéristiques.

7. Dans un redresseur de puissance, on relève sur un composant l'indication suivante : BYT77P-200. De quel composant s'agit-il ? Donnez ses principales caractéristiques.

8. Dans un ensemble électronique de puissance, on relève sur un composant l'indication suivante : BUX48 C. De quel composant s'agit-il ? Quelles sont ses caractéristiques ?

9. Dans un ensemble électronique de puissance, on relève sur un composant l'indication suivante : ST13005. De quel composant s'agit-il ? Quelles sont ses caractéristiques ?

Diodes de puissance ultrarapides

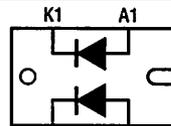


SOT-93, TOP3, TO247 et ISOTOP

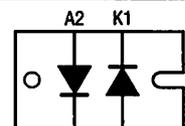
Voltage V_{RRM}	I_f	Type	V_f (max)	t_{rr} (ns) (max) ⁽¹⁾	T_J (max)	I_{FSM} (A)	Boîtier
400 Volts	8 A	BYT08P-400	1.40	75	150	100	TO-220AC
		BYT08PI-400	1.40	75	150	100	TO-220AC Ins.
	2 x 8 A	BYT16P-400	1.40	75	150	100	TO-220AC
1 000 Volts	8 A	BYT08P-1000	1.90	155	150	50	TO-220AC
	12 A	BYT12P-1000	1.90	155	150	75	TO-220AC
		BYT12PI-1000	1.90	155	150	75	TO-220AC Ins.
200 Volts	25 A	BYW77P-200	0.85	50	150	500	SOD93
		BYW77PI-200	0.85	50	150	500	DOP31
	2 x 15 A	BYW99P-200	0.85	40	150	200	SOT-93
		BYW99PI-200	0.85	40	150	200	TOP-31
		BYW99W-200	0.85	40	150	200	TO-247
	2 x 30 A	BYV52-200	0.85	50	150	500	SOT-93
BYV52PI-200		0.85	50	150	500	TOP-31	
400 Volts	30 A	BYT30P-400	1.40	50	150	350	SOD93
		BYT30PI-400	1.40	50	150	350	DOP31
	60 A	BYT60P-400	1.40	50	150	550	SOD93
1 000 Volts	30 A	BYT30P-1000	1.90	165	150	200	SOD93
		BYT30PI-1000	1.90	165	150	200	DOP31
	60 A	BYT60P-1000	1.90	170	150	400	SOD93
200 Volts	2 x 50 A	BYV54V-200	0.85	60	150	1000	ISOTOP
		BYV541V-200	0.85	60	150	1000	ISOTOP
	2 x 100 A	BYV255V-200	0.85	80	150	1600	ISOTOP
400 Volts	2 x 30 A	BYT230PIV-400	1.40	100	150	350	ISOTOP
		BYT231PIV-400	1.40	100	150	350	ISOTOP
	2 x 60 A	BYT260PIV-400	1.40	100	150	600	ISOTOP
		BYT261PIV-400	1.40	100	150	600	ISOTOP
	2 x 100 A	BYT200PIV-400	1.40	100	150	600	ISOTOP
1 000 Volts	2 x 30 A	BYT231PIV-1000	1.80	165	150	200	ISOTOP
	2 x 60 A	BYT260PIV-1000	1.80	170	150	400	ISOTOP
		BYT261PIV-1000	1.80	170	150	400	ISOTOP

(1) Conditions des mesures :

STPR Series : $I_f = 0.5$ A, $t_{rr} = 0.25$ A, $I_h = 1$ A
 BYW Series : $I_f = 1$ A, $dI_{f,act} = -50$ A/ μ s, $V_n = 30$ V
 BYT Series : $I_f = 1$ A, $dI_{f,act} = -15$ A/ μ s, $V_n = 30$ V



BYVxx1-xxx

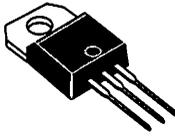


BYVxxx-xxx

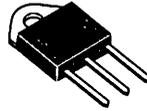
CONFIGURATIONS ISOTOP

(d'après STMicroelectronics)

Thyristors



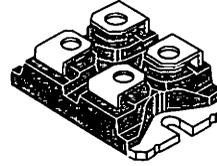
TO-220AB



TOP 3



RD 91



ISOTOP™

SCRs STANDARD

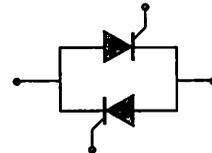
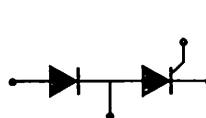
T_J max = 125 °C (sauf pour TYNxxx : 110 °C)

I _{T(RMS)} (A)	V _{RRM} V _{ORM} (V)	Type	T _c (°C)	I _{TSM} (A)	T _J = 25 °C					dV/dt T _J max min (V/μA)	di/dt max (A/μs)	Boîtier
					I _{GT} min (mA)	I _{GT} max (mA)	I _H max (mA)	V _{TM} max (V)	I _{TM} (A)			
4 A	400 → 1000	TYNxx04	115	60	-	15	30	1.8	8	200	100	TO-220AB
6 A	400 → 1000	TYNxx06	110	70	-	15	30	1.6	12	200	50	TO-220AB
8 A	400 → 1000	TYNxx08	105	80	-	15	30	1.6	16	200	50	TO-220AB
10 A	400 → 1000	TYNxx10	100	100	-	15	30	1.6	20	200	50	TO-220AB
12 A	400 → 1000	TYNxx12	90	120	-	15	30	1.6	24	200	50	TO-220AB
16 A	400 → 1000	TYNxx16	95	160	-	25	40	1.6	32	500	100	TO-220AB
25 A	400 → 1000	TYNxx25	95	250	-	40	50	1.6	50	500	100	TO-220AB
30 A	400 → 1200	BTW68-xxx	80	400	-	50	75	2.1	60	500 (a)	100	TOP3
40 A	400 → 1200	BTW67-xxx	75	500	1.5	80	150	2.0	80	500 (a)	100	RD 91
45 A	400 → 1200	BTW69-xxx	70	500	1.5	80	150	1.9	100	500 (a)	100	TOP3
50	800 → 1200	MDS35-xxx	85	400	1.5	50	80	1.7	80	500	100	ISOTOP
70	800 → 1200	MDS50-xxx	85	400	1.5	50	80	1.75	110	500	100	ISOTOP
85	800 → 1200	MDS80-xxx	85	400	1.5	150	80	1.75	170	500	100	ISOTOP
55	800 → 1400	MDS40-xxx	80	400	1.5	50	80	1.7	80	500	100	ISOTOP
70	800 → 1400	MDS50-xxx	80	600	1.5	50	80	1.7	100	500	100	ISOTOP

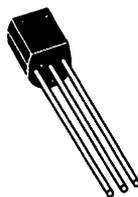
(a) sauf pour 1 000 & 1 200 V ; dV/dt = 200 V/μs min.

configuration MDSxxx

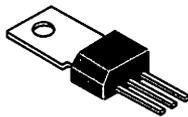
configuration MDSxxx



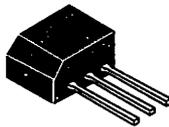
TRIACS



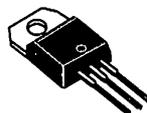
TO92



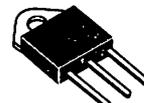
TO202-1



TO202-2



TO-220AB



TOP 3



RD 91

TRIACS STANDARD

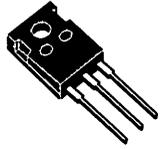
T_J max = 125 °C (sauf séries Zxxx : 110 °C)

I _{T(RMS)}	V _{DRM}	Type	T _C	I _{TSM}	I _{GT}				I _H	V _{TM}	I _{TM}	(dV/dt) _c T _J max	dV/dt T _J max	Boîtier
					I	II	III	IV						
					++	+-	--	-+						
(A)	(V)		(°C)	(A)	(mA)				(mA)	(V)	(A)	min (V/μA)	min (V/μs)	
0,8 A	400 → 800 (a)	Z0103xA	70	8	3	3	3	5	7	1.5	1.1	-	10	TO92
		Z0107xA	75		5	5	5	7	10				20	
		Z0109xA	70		10	10	10	10	10				50	
		Z0110xA			25	25	25	25	25				100	
4 A	400 → 800 (a)	Z0402xE/F	75	20	3	3	3	3	3	2	5.5	5	100	TO202-1/2
		Z0405xE/F			5	5	5	5	5			1	20	
		Z0409xE/F			10	10	10	10	10			2	100	
		Z0410xE/F			25	25	25	25	25			-	200	
6 A	400 → 800	BTA/BTB06-xxx	100/105	60	25	25	25	50	25	1.65	8.5	5	100	TO-220AB
					B	50	50	50	100			50	10	
8 A	400 → 800	BTA/BTB08-xxx	90/95	80	25	25	25	50	25	1.75	11	5	100	TO-220AB
					B	50	50	50	100			50	10	
10 A	400 → 800	BTA/BTB10-xxx	90/95	100	25	25	25	50	25	1.5	14	5	100	TO-220AB
					B	50	50	50	100			50	10	
12 A	400 → 800	BTA/BTB12-xxx	90/95	120	25	25	25	50	25	1.5	17	5	100	TO-220AB
					B	50	50	50	100			50	10	
16 A	400 → 800	BTA/BTB16-xxx	90	160	50	50	50	100	50	1.6	22.5	10	250	TO-220AB
25 A	400 → 800	BTB24-xxx	80	200	50	50	50	100	50	1.8	35	10	250	TO-220AB
25 A		BTA25-xxx	80	250	50	50	50	100	80	1.8	42	10	250	RD91
		BTA/BTB26-xxx	90	250	50	50	50	100	80	1.7	35	10	250	TOP3
40 A	400 → 800	BTA40-xxx	75	300	50	50	50	100	80	1.8	60	10	250	RD91
		BTA/BTB41-xxx	75/85	300	50	50	50	100	80	1.8	60	10	250	TOP3

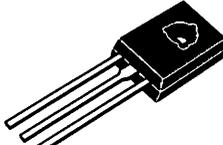
(a) D = 400 V M = 600 V S = 700 V N = 800 V

(d'après STMicroelectronics)

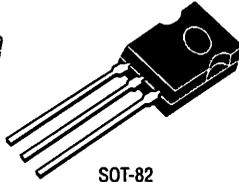
Transistors bipolaires



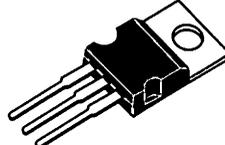
TO-247



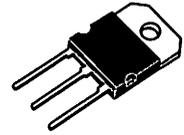
TO-126/SOT-32



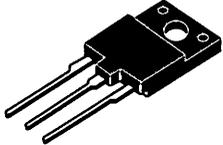
SOT-82



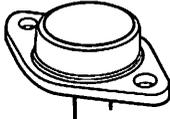
TO-220



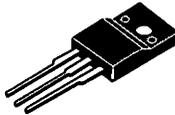
TO-218/SOT-93



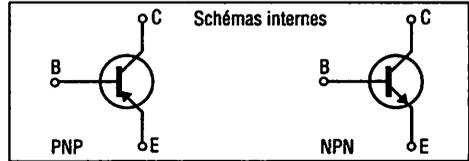
ISOWATT218



TO-3



ISOWATT220



Type	V_{ce0} (V)	V_{ce0} V_{ceB} (V)	I_c (A)	P_{tot} (W)	Boîtier	$V_{ce(sat)}$ a I_c / I_e			t_s (μ s)	t_f (μ s)
						(V)	(A)	(A)		
BU505	700	1500	2,5	75	TO-220	5	2	0,9	2	0,35
BUX98C	700	1200	30	250	TO-3	1,5	12	3,00	6,0	0,60
BUV48CFI	700	1200	15	55	ISOWATT218	1,5	6	1,50	6,0	0,60
BUV48C	700	1200	15	125	TO-218	1,5	6	1,50	6,0	0,60
BUX48C	700	1200	15	175	TO-3	1,5	6	1,50	6,0	0,60
BUV48B	600	1200	15	125	TO-218	3,0	10	4,00	3,0	0,70
BUTW92	250	500	60	180	TO-247	1	60	15	1,4	0,3
ESM6045AV	450	1000	72	250	ISOTOP	2,0	60	2,40	6,0	0,60
BUV298AV	450	1000	50	250	ISOTOP	1,2	32	6,40	4,5	0,40
BUX98A	450	1000	30	250	TO-3	1,5	16	3,20	4,5	0,40
BUV98AV	450	1000	30	150	ISOTOP	1,5	16	3,20	5,0	0,40
BUX98AP	450	1000	24	200	TO-218	1,2	16	3,20	4,5	0,40
BUX48A	450	1000	15	175	TO-3	1,5	10	2,00	5,0	0,40
BUV48A	450	1000	15	125	TO-218	1,5	10	2,00	5,0	0,40
BUV48AFI	450	1000	15	55	ISOWATT218	1,5	8	1,60	5,0	0,40
BUV46A	450	1000	5	70	TO-220	1,5	2	0,40	3,0	0,80
BUT11A	450	1000	5	83	TO-220	1,5	2,5	0,50	4,0	0,80
BUX87	450	1000	0,5	40	SOT-32	1,0	0,2	0,02	4,5	0,35
BUY69A	400	1000	10	100	TO-3	3,3	8	2,50	1,7	0,30
BU426A	400	900	6	114	TO-218	1,5	2,5	0,5	-	-
BUV298V	450	850	60	250	ISOTOP	1,2	32	6,4	4,5	0,40
BUX348	450	850	45	300	TO-3	0,9	30	6,00	4,5	0,40
BUV98V	450	1000	30	150	ISOTOP	1,5	20	4,00	5,0	0,40
BUX98	400	850	30	250	TO-3	1,5	20	4,00	3,0	0,80
BUX48	400	850	15	175	TO-3	1,5	10	2,00	5,0	0,40
2N6547	400	850	15	175	TO-3	1,5	10	2,00	0,0	0,00
BUV48FI	400	850	15	55	ISOWATT218	1,5	10	2,00	5,0	0,40
MJE13007A	400	850	8	80	TO-220	1,5	5	1,00	3,0	0,70
BUV46FI	400	850	5	30	ISOWATT220	1,5	2,5	0,50	3,0	0,80
BUV46	400	850	5	70	TO-220	1,5	2,5	0,50	3,0	0,80
BUX80	400	800	10	100	TO-3	3,0	8	2,50	3,5	0,50
MJE13009	400	700	12	100	TO-220	1,5	8	1,60	3,0	0,70
ST13007	400	700	8	80	TO-220	1,5	5	1,00	3,0	0,70
ST13005	400	700	4	75	TO-220	1,0	4	1,00	3,5	0,90
ST13003	400	700	1,5	40	SOT-32	1,0	1	0,25	1,8	0,40
EM6045DV	450	600	8,4	250	ISOTOP	2,0	70	4,00	5,5	0,50

15

Convertisseurs à courant continu

I Différents convertisseurs statiques

L'électronique de puissance permet d'assurer une mise en forme de l'énergie plus adaptée à une utilisation pour les moteurs et autres récepteurs tels que l'éclairage, le chauffage, les alimentations sans coupure.

On distingue quatre familles de convertisseurs qui permettent de passer du courant alternatif au courant continu (tableau 1).

Tableau 1 : Différents convertisseurs statiques.

Secteur alternatif		Charge en continu	REDRESSEURS Alimentation en courant continu
Générateur continu		Charge en continu	HACHEURS Variation de tension en courant continu
Générateur continu		Charge en alternatif	ONDULEURS Variateurs de vitesse pour moteurs asynchrones
Secteur alternatif		Charge en alternatif	GRADATEURS Variateurs d'éclairage de chauffage

Dans ce chapitre, nous étudierons particulièrement les redresseurs et les hacheurs.

2 Constitution d'un redresseur (fig. 2)

Un redresseur a pour rôle de fournir, à partir du réseau monophasé ou triphasé, une tension continue fixe ou variable.

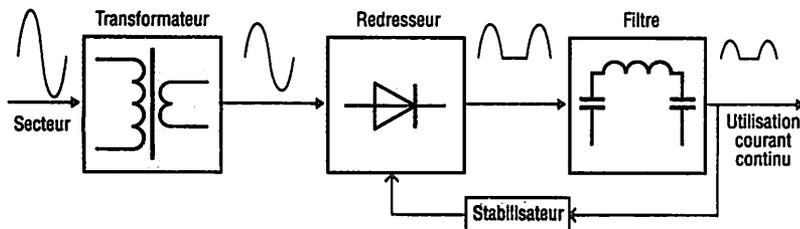


Fig. 2 : Synoptique d'un redresseur de courant.

Un redresseur comporte :

- un transformateur qui adapte la tension d'entrée à la tension de sortie ;
- un redresseur qui redresse le courant alternatif ;
- un filtre qui transforme le courant pulsé en un courant ondulé ;
- un stabilisateur qui assure une valeur stable de la tension en sortie.

OBJECTIFS

Pour la conversion du courant alternatif en courant continu il faut être capable :

- de décoder les schémas de puissance ;
- d'installer et de mettre en œuvre des convertisseurs statiques ;
- de diagnostiquer un dysfonctionnement du circuit de puissance.

SAVOIR TECHNOLOGIQUE

S 4.2

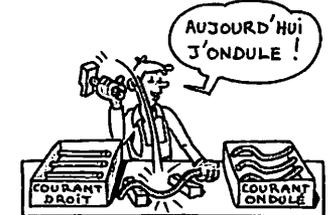


Fig. 1 : Différents traitements que peut subir un courant électrique.

3 Redressement monophasé

3.1. Rappels d'électrotechnique

a) Fonction sinusoïdale (fig. 3)

La fonction sinusoïdale appliquée au courant alternatif est donnée par la relation :

$$i = \hat{I} \sin \omega t$$

i = valeur instantanée du courant ;
 \hat{I} = valeur maximale du courant ;
 ωt = angle en radians formé de ω la pulsation, et de t le temps exprimé en secondes,

sachant que $f = \frac{1}{T}$:

$$\omega = 2 \pi f$$

ω = pulsation en radians par seconde ;
 T = période en secondes ;
 f = fréquence en hertz.

b) Valeur efficace (fig. 4)

L'intensité efficace d'un courant variable $i = f(t)$ est l'intensité I du courant continu constant qui produirait le même dégagement de chaleur que i s'il passait pendant le même intervalle de temps dans la même résistance.

En courant alternatif sinusoïdal, la valeur efficace du courant par rapport à la valeur maximale est :

$$\frac{I_{\text{eff}}}{I_{\text{max}}} = \frac{1}{\sqrt{2}} = 0,707$$

ou encore : $I_{\text{eff}} = 0,707 I_{\text{max}}$
 on écrit aussi : $I = 0,707 \hat{I}$

I = intensité efficace en ampères (A) ;

\hat{I} = intensité maximale ou de crête.

c) Valeur moyenne (fig. 5)

L'intensité moyenne d'un courant variable $i = f(t)$ est égale à l'intensité que doit avoir un courant continu constant pour transporter dans le même temps la même quantité d'électricité.

En courant alternatif sinusoïdal, la valeur moyenne I du courant par rapport à la valeur maximale \hat{I} pour les deux alternances est donnée par la relation :

$$\frac{I_{\text{moy}}}{I_{\text{eff}}} = \frac{2}{\pi} = 0,637$$

ou encore : $I_{\text{moy}} = 0,637 I_{\text{max}}$
 on écrit aussi : $I_{\text{moy}} = 0,637 \hat{I}$

Remarque : les valeurs de tensions moyennes efficaces et instantanées sont régies par les mêmes relations que les intensités, il suffit de remplacer I par U .

3.2. Redressement simple alternance

a) Principe (fig. 6)

Une diode D est montée en série avec un récepteur, elle laisse passer l'alternance positive et elle bloque l'alternance négative.

b) Courbe

La tension redressée ne présente que les alternances positives (fig. 7).

c) Relations

Pour un redressement monoalternance, la tension moyenne est :

$$\bar{u}_c = \frac{\hat{V}}{\pi} \quad \text{ou} \quad \hat{V} = \pi \bar{u}_c$$

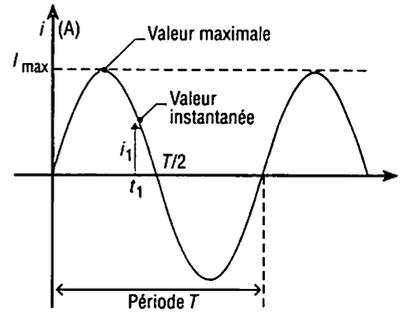


Fig. 3 : Sinusoïde représentant le courant alternatif en fonction du temps.

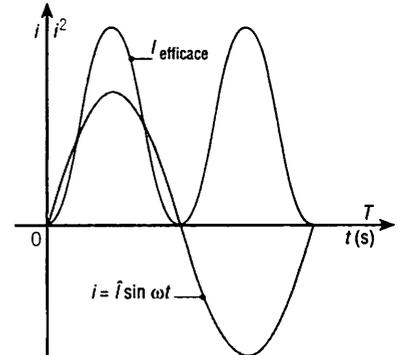


Fig. 4 : Représentation de la valeur efficace.

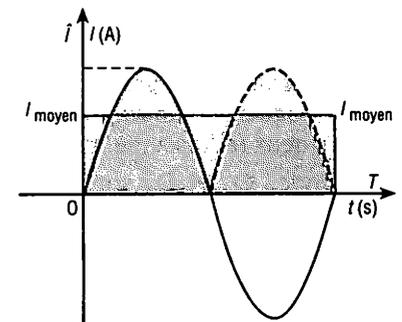


Fig. 5 : Représentation de la valeur moyenne.

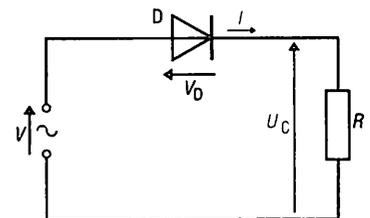


Fig. 6 : Schéma de base du redresseur.

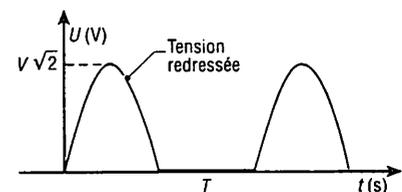


Fig. 7 : Forme de la tension redressée.

D'où :

$$\bar{u}_c = \frac{V\sqrt{2}}{\pi} = 0,45 V$$

Cette valeur moyenne se mesure avec un voltmètre magnéto-électrique ou numérique (position DC).

La tension efficace du redresseur aux bornes de la charge est :

$$U_c = \frac{\hat{V}}{2} = \frac{V}{\sqrt{2}}$$

avec \bar{u}_c = tension moyenne ; U_c = tension efficace du courant redressé ; V = tension efficace de la source alternative.

d) Cas d'une charge inductive (fig. 8)

La présence d'une inductance dans le circuit de charge provoque l'emmagasinement de l'énergie, puis la restitution de cette énergie. La conduction de la diode est prolongée.

Remarques (fig. 9) :

- La valeur moyenne \bar{U}_c d'une grandeur périodique se mesure avec un appareil numérique en position DC, ou un appareil magnéto-électrique.
- La valeur efficace U_c d'une grandeur périodique se mesure avec un appareil numérique RMS (Root Mean Square, racine moyenne du carré), ou avec un appareil ferromagnétique.

3.3. Redressement double alternance

a) Redressement à point milieu (fig. 10)

Ce montage exige un transformateur à point milieu, c'est la juxtaposition de deux redressements mono-alternance.

Les diodes D_1 et D_2 sont passantes chacune pendant une demi-période (fig. 11).

Relations : le redressement étant double alternance, la tension moyenne (\bar{u}_c) est égale à la tension redressée efficace (U_c) :

$$\bar{u}_c = \frac{2\hat{V}}{\pi} = U_c \text{ d'où : } U_c = \frac{2V\sqrt{2}}{\pi} = 0,90 V$$

La tension efficace V de sortie de chaque enroulement du transformateur est :

$$V = \frac{\pi}{2\sqrt{2}} \bar{u}_c = 1,11 U_c$$

Lorsque la charge est inductive, la tension RI aux bornes de la charge est celle de la figure 12.

b) Redressement en pont

C'est un montage symétrique dans lequel deux diodes conduisent en même temps. On l'appelle aussi pont de Graëtz (fig. 13 et 14).

Industriellement, on préfère la deuxième présentation (fig. 14).

La valeur moyenne \bar{u}_c est égale à la tension continue U_c .

$$\bar{u}_c = U_c = \frac{2}{\pi} \hat{V} = 0,637 \hat{V}$$

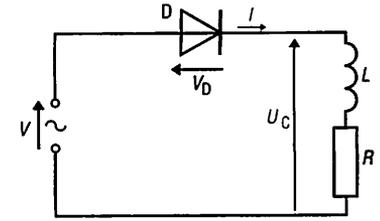


Fig. 8 : Redressement avec charge inductive.

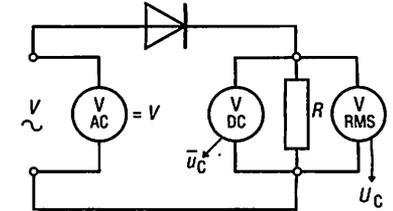


Fig. 9 : Mesures des grandeurs périodiques.

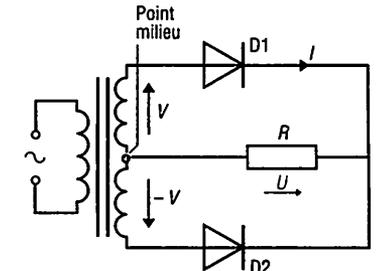


Fig. 10 : Schéma d'un redressement double alternance à point milieu.

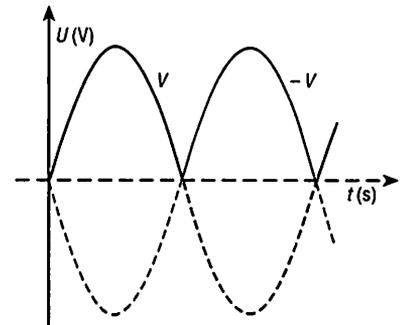


Fig. 11 : Les diodes D_1 et D_2 sont passantes à tour de rôle et elles bloquent les alternances négatives.

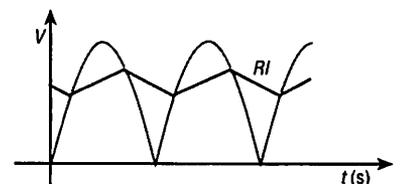


Fig. 12 : Oscillogramme du courant avec une charge inductive.

La valeur efficace donnée par le secondaire du transformateur est :

$$V = \frac{\hat{V}}{\sqrt{2}}$$

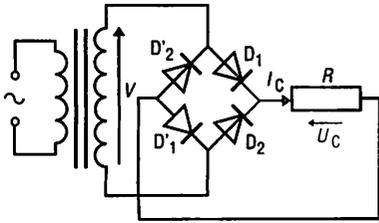


Fig. 13 : Montage en pont de Graëtz.

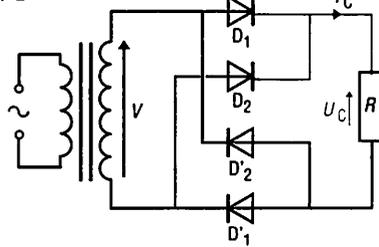


Fig. 14 : Pont de Graëtz, deuxième présentation.

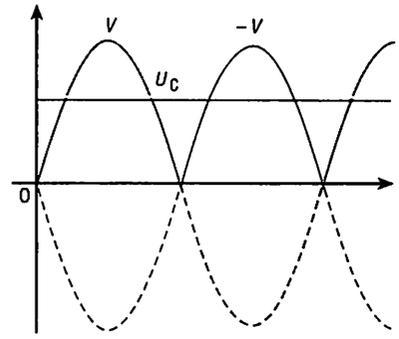


Fig. 15 : Redressement double alternance.

Si on exprime ces valeurs en fonction de la tension continue de sortie du redresseur, on obtient la tension nominale de crête :

$$\hat{V} = U_c \times \frac{\pi}{2} = 1,57 U_c$$

La tension efficace du transformateur (fig. 15) en fonction de la tension continue est alors de :

$$V = \frac{1,57}{\sqrt{2}} U_c = 1,11 U_c \quad \text{ou encore :} \quad U_c = 0,90 \times V$$

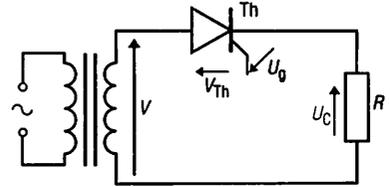


Fig. 16 : Redressement avec un thyristor.

4 Redressement monophasé contrôlé

En remplaçant les diodes par des thyristors, on peut retarder la conduction, le montage est alors appelé **redresseur contrôlé**.

4.1. Redressement contrôlé

Ce mode de redressement est étudié en vue de l'observation de signaux à l'oscilloscope. Avec les thyristors, on retarde la conduction ; on désigne par la lettre grecque α cet angle de retard.

Le schéma du montage est analogue à celui utilisé avec la diode (fig. 16).

a) Charge résistante

À l'apparition de l'impulsion d'amorçage, la tension s'établit aux bornes de la résistance (fig. 17). Lorsque la tension V est négative le thyristor se désamorce et se réamorce à l'impulsion suivante quand l'impulsion d'amorçage réapparaît.

b) Charge inductive (fig. 18)

- De zéro à t_1 l'inductance L emmagasine de l'énergie.
- De t_1 à t_2 l'inductance L restitue de l'énergie, ce qui crée une tension négative aux bornes de la charge.

4.2. Redressement contrôlé double alternance

On emploie essentiellement le montage en pont qui est symétrique, et avec lequel on obtient un meilleur facteur de puissance.

a) Pont complet (fig. 19)

Le circuit s'établit par Th_1 , la charge, et se referme par Th_3 , pour l'alternance positive. Pour l'alternance négative le circuit s'établit par Th_2 , la charge, et se referme par Th_4 . Les thyristors sont commandés deux par deux (Th_1 et Th_3) ou (Th_2 et Th_4), ils se désamorcent naturellement quand leur tension d'anode s'inverse.

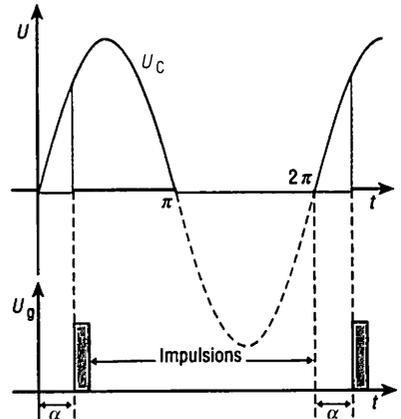


Fig. 17 : Impulsions d'amorçage et tension redressée par thyristor.

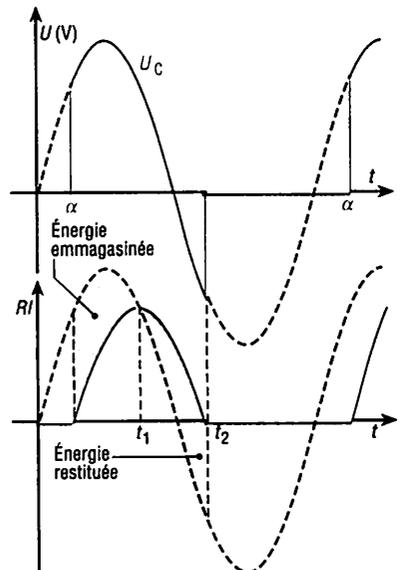


Fig. 18 : Forme d'onde avec un circuit inductif.

b) Pont mixte (fig. 20)

C'est un pont de Graëtz dans lequel on a remplacé deux thyristors par deux diodes. La branche qui comporte les diodes D_1 et D_2 laisse passer le courant accumulé dans l'inductance.

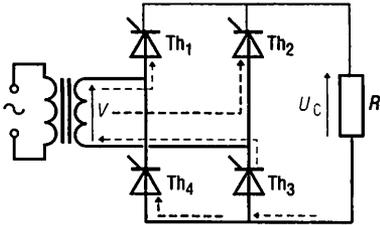


Fig. 19 : Redressement par pont à thyristor complet.

-----> Alternance positive.
 - - - - -> Alternance négative.

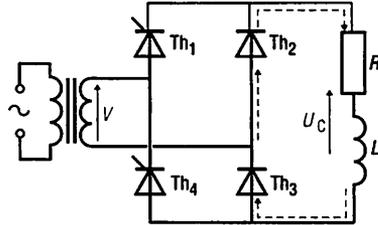


Fig. 20 : Redressement semi-contrôlé par pont mixte.

-----> Circuit possible pour restitution de l'énergie accumulée par l'inductance.

5 Redressement triphasé

Il est très utilisé industriellement pour les puissances importantes ($P > 3$ kVA).

5.1. Redressement simple alternance (fig. 21)

Dans le redressement triphasé simple alternance avec débit sur une charge comportant une résistance et une inductance L , on considère le courant comme continu car il est lissé par l'inductance (fig. 22).

Le facteur de puissance est de 0,675 ce qui est inférieur à celui du montage en pont.

Relations :

Tensions simples : V_1, V_2, V_3 avec la valeur maximale $\hat{V} = V\sqrt{2}$

V = valeur efficace

U_c = tension continue = \bar{u}_c

\bar{u}_c = valeur moyenne

$$u_c = \frac{3\sqrt{3}\hat{V}}{2\pi} = \frac{3\sqrt{6}V}{2\pi} = 1,17V$$

5.2. Redressement double alternance (fig. 23)

Pendant chaque sixième de période, deux diodes seulement laissent passer le courant dans un seul sens. La tension redressée (fig. 24) comporte 6 calottes qui représentent une fréquence d'ondulation 6 fois plus grande que la fréquence d'alimentation, mais avec une amplitude très faible.

Ce montage présente un très bon facteur de puissance (0,955) et ne nécessite pratiquement pas de filtrage.

Relations :

\hat{V} = tension maximale ou de crête = $V\sqrt{2}$

V = tension simple efficace

U_c = tension continue.

$$U_c = 2,34 \times V$$

6 Hacheurs

Le hacheur réalise en courant continu la même fonction que le transformateur en courant alternatif, c'est-à-dire le changement de tension sans perte d'énergie. Il permet d'élever ou de réduire une tension continue avec un excellent rendement.

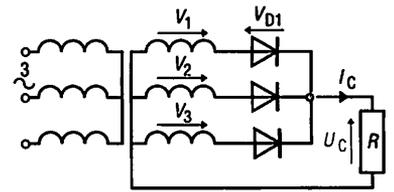


Fig. 21 : Redressement triphasé simple alternance.

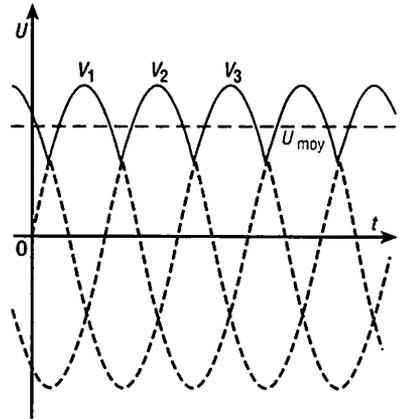


Fig. 22 : Courbe de la tension redressée simple alternance.

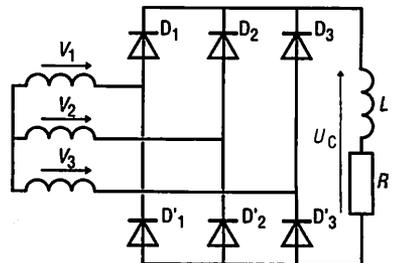


Fig. 23 : Courbe d'un redresseur en pont triphasé.

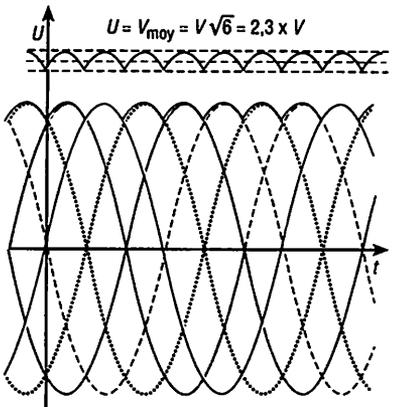


Fig. 24 : Courbe du redressement triphasé en pont.

6.1. Principe

Une source à tension continue constante (batterie d'accumulateurs) de tension V alimente une résistance R par l'intermédiaire d'un interrupteur qui s'ouvre et se ferme rapidement (plusieurs fois par seconde) (fig. 25).

La tension aux bornes de R peut avoir deux valeurs :

H ouvert état 0 : $U_c = 0$, aucun courant I_c ;

H fermé état 1 : $U_c = V$, courant $I = V/R$.

Selon la durée de fermeture, par rapport à la durée totale de la période, la tension moyenne ($U_{c\text{moy}}$) peut varier de 0 à V (fig. 26).

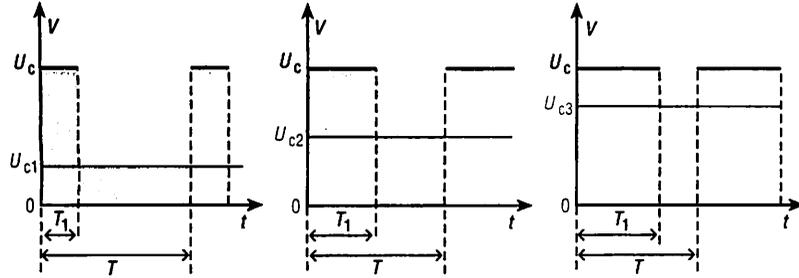


Fig. 27 : Variation du rapport du temps de fermeture par rapport à une période.

Si T est la période, on peut définir par T_1 la durée de fermeture et par T_2 la durée d'ouverture. On pose : $T_1 = \alpha T$, α représentant la durée de fermeture par rapport à la durée de la période :

$$\alpha = \frac{\text{durée de fermeture}}{\text{durée de la période}} = \frac{T_1}{T}$$

La tension moyenne U_c sera alors de $U_c \cdot T = V \cdot \alpha T$ soit : $U_c = \alpha V$

La tension continue est proportionnelle au temps de fermeture de l'interrupteur H (hacheur) (fig. 27).

6.2. Cas d'une charge résistive plus inductive (fig. 28)

Au schéma de montage comprenant une résistance et une inductance, il est nécessaire d'ajouter une diode appelée diode de « roue libre ». En l'absence de cette diode, on observerait des surtensions très importantes à l'ouverture et à la fermeture de H.

Relations :

La tension moyenne est toujours : $U_c = \alpha V$.

L'intensité dans le circuit est périodique, lorsque H est fermé ; I_c s'établit dans le circuit $R + L$ (inductance L), l'inductance accumule de l'énergie lorsque l'interrupteur H s'ouvre. L'énergie emmagasinée dans la self circule dans le circuit $R + L$ et la diode de roue libre ; la forme du courant I_c dans la charge est donnée dans la figure 29.

6.3. Réalisation d'un hacheur

Le transistor de puissance ou bipolaire utilisé en commutation permet de contrôler des courants de 100 à 200 A sous une tension de 400 à 1 000 V, avec une fréquence de 100 Hz à 20 kHz (fig. 30). C'est le cas pour les voitures électriques.

CCB : circuit de commande de base.

CACL : circuit d'aide à la commutation.

Pour les puissances plus importantes, le thyristor remplace le transistor bipolaire car il peut contrôler des courants intenses et des tensions élevées (Métro, TGV).

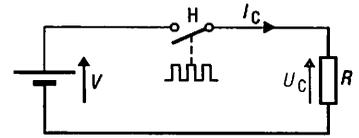


Fig. 25 : Schéma de principe d'un hacheur.

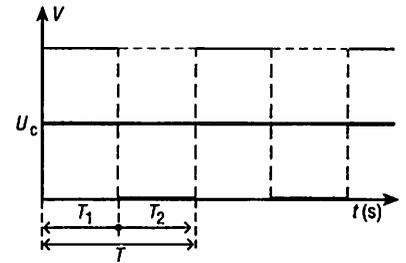


Fig. 26 : La période est la somme d'un temps de conduction et d'un temps de coupure.

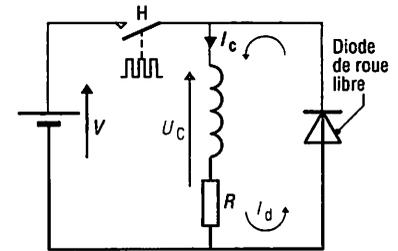


Fig. 28 : Schéma de hacheur avec inductance + résistance.

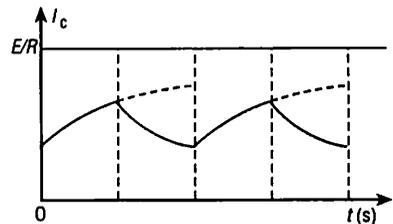
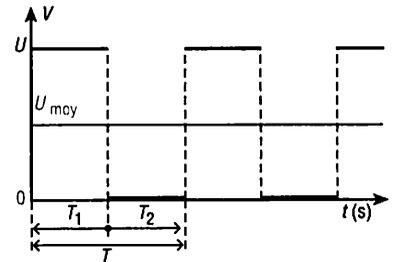


Fig. 29 : Variation de l'intensité dans le circuit $R + L$.

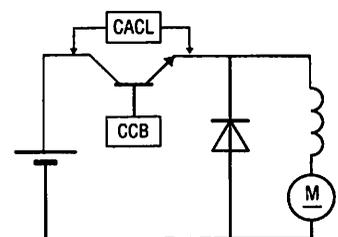


Fig. 30 : Hacheur à thyristor pour l'alimentation d'un moteur à courant continu.

L'essentiel

- On distingue quatre familles de convertisseurs statiques :
 - les redresseurs : courant alternatif → courant continu ;
 - les hacheurs : courant continu → courant continu ;
 - les onduleurs : courant continu → courant alternatif ;
 - les gradateurs : courant alternatif → courant alternatif ;
- Les grandeurs électriques employées sont :
 - du côté alternatif : la valeur de crête (\hat{V}), la valeur efficace (V) ;
 - du côté continu : la valeur moyenne (\bar{u}_c) ; la valeur efficace (U_c) ;
- Pour chaque type de redressement, les valeurs efficaces et moyennes sont différentes (voir tableau p. 150).
- Les redresseurs peuvent être alimentés en courant alternatif, monophasé ou triphasé ; ils sont à redressement simple ou double alternance.
- Les redresseurs contrôlés permettent de faire varier la tension redressée entre une valeur nulle et la valeur maximale redressée.
- Pour changer ou faire varier une tension en courant continu, on utilise un hacheur qui a pour effet de découper le courant continu. La tension obtenue dans un récepteur peut varier entre 0 et la tension d'entrée.
- Les hacheurs peuvent être réalisés avec des transistors de puissance, ou avec des thyristors. L'emploi de thyristors GTO permet de simplifier le désarmorage du thyristor, la gâchette permettant de provoquer à la fois l'amorçage et le désarmorage.



VRAI OU FAUX ?

Parmi les affirmations suivantes, indiquez celles qui sont vraies.

1. Un redresseur transforme le courant alternatif en courant continu.
2. Un gradateur permet de faire varier la tension du courant continu.
3. Un onduleur est un appareil qui transforme le courant alternatif en courant continu.
4. Un hacheur permet de transformer le courant continu en courant alternatif.
5. La valeur maximale d'une tension alternative sinusoïdale s'appelle aussi tension de crête.
6. En courant alternatif, la valeur moyenne est égale à la valeur efficace.
7. La valeur efficace s'exprime par rapport à la valeur maximale.
8. La valeur moyenne U en courant alternatif est égale à la valeur du courant redressé U_c .
9. La valeur efficace d'une grandeur périodique se mesure avec un appareil numérique RMS.
10. Les lettres RMS signifient Résistance Moyenne de Sécurité.
11. Le redressement monophasé s'effectue toujours en mono-alternance.
12. Le redressement à point milieu nécessite un transformateur spécial à deux demi-enroulements.
13. Un redresseur en pont permet d'obtenir le redressement de deux alternances.
14. Un redresseur contrôlé utilise toujours des thyristors.
15. Une charge inductive a toujours tendance à emmagasiner de l'énergie.
16. Un hacheur permet de faire varier une tension continue sans perte d'énergie.
17. La commutation dans un hacheur s'effectue à l'aide de transistors.
18. Le redressement en triphasé double alternance donne un fort taux d'ondulation.
19. La tension obtenue à la sortie d'un hacheur dépend du temps de fermeture du hacheur.
20. Une diode de roue libre est une diode qui permet de laisser passer le courant dans les deux sens.

RÉSOLUS

1. Un redresseur monophasé est branché sur le 230 V courant alternatif ; il comporte un transformateur et un redresseur en pont. Il est prévu pour donner 24 V en courant continu. Quelle doit être la tension à la sortie du transformateur ?

Solution :

Pour obtenir une tension de 24 V continue qui correspond à une tension moyenne $\bar{U}_c = U_c$, la tension efficace du transformateur est donnée par la relation :

$$V = \frac{1,57}{\sqrt{2}} U_c = 1,11 U_c$$

ou encore : $U_c = 0,90 \times V$

d'où : $V_{\text{eff}} = 24 \times 1,1 = 26,4 \text{ V}$.

2. Vous disposez d'un transformateur à point milieu qui, branché en 230 V alternatif, donne $2 \times 56 \text{ V}$.

Quelle sera la tension redressée :

a) avec un montage à point milieu ?

b) avec un montage en pont (le point milieu n'est pas utilisé) ?

Solution :

a) En montage avec point milieu, pour deux fois 56 V, la tension redressée sera de :

$$U_c = 0,90 V \text{ soit : } 0,90 \times 56 = 50,4 \text{ V}$$

b) En montage en pont branché aux extrémités du transformateur :

$$V = 2 \times 56 = 112 \text{ V}$$

d'où : $U_c = 0,90 \times 112 = 100,8 \text{ V}$.

3. Recherchez dans la documentation, la référence d'un variateur de vitesse unidirectionnel triphasé pour un moteur à courant continu de 15 kW tension d'induit 440 V.

Solution : D'après la documentation rectivar 4 (page 152), un variateur unidirectionnel triphasé à pont complet se situe dans le tableau de la partie supérieure. Pour la tension d'induit de 440 V, la tension du secteur alternatif est de 380 V avec une puissance de 15 kW (2^e ligne). La référence est : RTV-74D480. Le schéma développé est donné page 151, partie supérieure RTV-74.

À RÉSOUDRE

1. L'inducteur d'un moteur à courant continu doit être alimenté en courant continu 120 V, à partir du secteur alternatif 230 V.

Sachant qu'il absorbe 2 A, et que le rendement d'un petit transformateur est de 90 %, donnez les caractéristiques du transformateur d'un redresseur en pont.

2. Sur un redresseur alimenté en alternatif, vous relevez au voltmètre côté alternatif 15 V et côté continu 6,7 V avec un montage en pont. Est-ce normal ? Que faut-il faire ?

3. Lorsque vous mesurez la tension à la sortie d'un redresseur, quelle valeur relevez-vous : une tension continue ? efficace ? moyenne ? ou de crête ?

4. On veut alimenter un bac d'électrolyse sous 42 V courant continu à partir du réseau triphasé 400 V. Quelle tension devra-t-on avoir en sortie du transformateur triphasé en simple alternance, en double alternance ?

5. Un transformateur 230 V/24 V alimente un pont de Graëtz. Quelle est la valeur de la tension redressée ?

6. On veut alimenter un moteur à courant continu ayant une tension d'induit de 260 V par un variateur de vitesse

numérique ayant une gamme de vitesse de 1 à 300. Sachant que le moteur a une puissance 25 kW, donnez la référence du variateur et indiquez le schéma à utiliser (voir fiches documentation).

7. Recherchez dans la documentation, la référence d'un variateur de vitesse unidirectionnel triphasé pour un moteur à courant continu de tension d'induit : 260 V, et de puissance : 6 kW.

8. Précisez pour le variateur de l'exercice précédent, la valeur de l'intensité en ligne, ainsi que le calibre des fusibles à utiliser.

9. Recherchez dans la documentation, la référence d'un variateur de vitesse réversible triphasé à pont complet pour un moteur à courant continu de tension d'induit : 520 V, de puissance : 220 kW, alimenté en 440 V alternatif 50 Hz.

10. Précisez pour le moteur de l'exercice précédent, la valeur de l'intensité en ligne, ainsi que le calibre des fusibles de protection du variateur.

Tableau comparatif des différents montages redresseurs

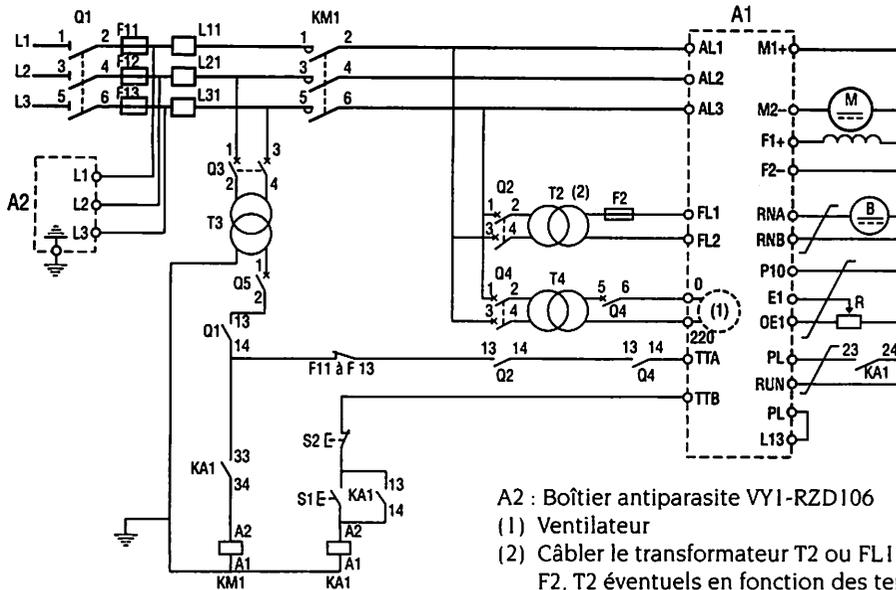
Le tableau donne l'expression des grandeurs sous formes de coefficients par rapport :
 - à la valeur moyenne de la tension continue (tension U_c aux bornes de la charge) ;
 - à la valeur moyenne du courant redressé (courant I_c dans la charge).
 Les définitions des différentes grandeurs sont données aux chapitres 14 et 15.

Tableau de détermination des caractéristiques des différents montages redresseurs	Schéma des montages					
Forme d'onde de la tension redressée	Relations entre les grandeurs					
Tension inverse crête appliquée aux diodes	$\frac{V_{RRM}}{U_c}$	3,14	3,14	1,57	2,10	1,05
Tension efficace alimentation (Secondaire transfo)	$\frac{V}{U_c}$	2,22	2,22	1,11	1,48	0,74
Tension efficace alimentation entre phase et neutre	$\frac{V_a}{U_c}$	-	1,11	-	0,855	0,427
Tension efficace alimentation entre phases opposées	-	-	2,22	-	-	-
Tension efficace de la tension redressée	$\frac{U_{c\text{eff}}}{U_c}$	1,57	1,11	1,11	1,017	1,001
Chute de tension dans les diodes ramenée côté alternatif	ΔU	$\approx 1,2$	$\approx 1,2$	$\approx 2,4$	$\approx 2,08$	$\approx 2,4$
Taux ondulation β	$\sqrt{F^2 - 1}$	121 %	48 %	48 %	18,3 %	4,2 %
Courant moyen redressé par diode	$\frac{I_D}{I_c}$	1	0,5	0,5	0,33	0,33
Courant efficace par diode	$\frac{I_{D\text{eff}}}{I_c}$	1,57	0,786	0,786	0,577	0,577
Courant efficace ligne	$\frac{I_V}{I_c}$	1,57	0,786	1,11	0,577	0,816
Valeur efficace du courant redressé	$\frac{I_{c\text{eff}}}{I_c}$	1,57	1,11	1,11	1,017	1,001
Courant crête répétitif par diode	$\frac{I_{FRM}}{I_c}$	3,14	1,57	1,57	1,21	1,05
Puissance apparente au secondaire du transformateur en VA	P_s	$3,49 I_c \cdot U_c$	$1,75 I_c \cdot U_c$	$1,23 I_c \cdot U_c$	$1,48 I_c \cdot U_c$	$1,05 I_c \cdot U_c$
Puissance apparente au primaire du transformateur en VA	P_p	$3,49 I_c \cdot U_c$	$1,23 I_c \cdot U_c$	$1,23 I_c \cdot U_c$	$1,23 I_c \cdot U_c$	$1,05 I_c \cdot U_c$
Puissance moyenne du transformateur en VA (P_T)	$\frac{P_s + P_p}{2}$	$3,49 I_c \cdot U_c$	$1,49 I_c \cdot U_c$	$1,23 I_c \cdot U_c$	$1,35 I_c \cdot U_c$	$1,05 I_c \cdot U_c$
Fréquence ondulation	$\frac{f_r}{f_i}$	1	2	2	3	6
Fréquence alimentation						

d'après Télémechanique

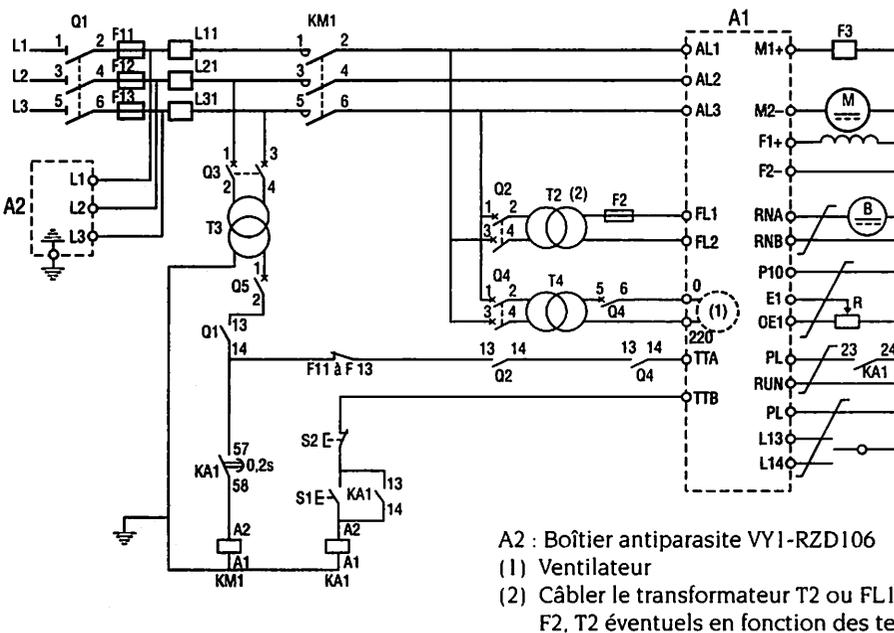
Variateurs de vitesse Rectivar 4 Numériques triphasés - Schémas développés conseillés

RTV-74 - Schéma conseillé pour variateurs de 180 à 650 A
1 sens de marche - Alimentation : 380/415 V ou 440 V 50/60 Hz



Schémas pour variateurs autres calibres :

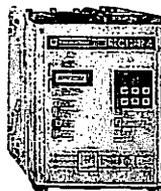
RTV-84 - Schéma conseillé pour variateurs de 180 à 650 A
2 sens de marche - Alimentation : 380/415 V ou 440 V 50/60 Hz



Rectivar 4, séries 74 et 84

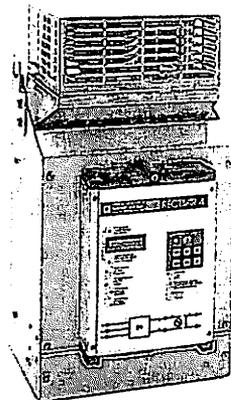
Pour moteurs à courant continu - Références

Unidirectionnels triphasés à pont complet



RTV-74D32Q.

variateur		moteur (CC)							Rectivar 4			
courants		fusibles UR calibre (1)	puissance maximale avec un rendement η 0,85 et Cd/Cn = 1,2 pour réseau 50/60 Hz et tensions (V)							courant I excitation (2)	référence	masse
I maxi permanent	I ligne		220	380	415	440	480	500	660			
A	A	A	kW	kW	kW	kW	kW	kW	A	kg		
tension d'induit (V)			260	440	460	520	500	570	750			
tension d'alimentation : 220...440 V \pm 10 %												
32	24	50	6	10	10,5	12			15	RTV-74D32Q	6,500	
48	36	50	9	15	16	18			15	RTV-74D48Q	10,000	
72	54	100	13,5	23	24	27			15	RTV-74D72Q	10,000	
180	135	200	33,5	57,5	60	67,5			15	RTV-74C18Q	11,000	
270	203	350	51	86	90	101			15	RTV-74C27Q	13,000	
400	300	500	78	132	138	156			15	RTV-74C40Q	47,000	
650	488	800	127	214	224	253			15	RTV-74C65Q	47,000	
800	600		156	264	275	312			30	RTV-74C80Q	54,000	
1250	938		244	413	432	487			30	RTV-74M12Q	54,000	
1750	1313		342	578	604	683			30	RTV-74M17Q	60,000	
3000	2250		585	990	1035	1170			30	RTV-74M30Q	220,000	



RTV-74C40Q, 74C65Q.

Réversibles statiques triphasés à pont complet

variateur		moteur (CC)							Rectivar 4			
courants		fusibles UR calibre (1)	puissance maximale avec un rendement η 0,85 et Cd/Cn = 1,2 pour réseau 50/60 Hz et tensions (V)							courant I excitation (2)	référence	masse
I maxi permanent	I ligne		220	380	415	440	480	500	660			
A	A	A	kW	kW	kW	kW	kW	kW	A	kg		
tension d'induit (V)			260	440	460	520	500	570	750			
tension d'alimentation : 220...440 V \pm 10 %												
16	12	40	2,7	4,7	5	5,3			2	RTV-84D16Q	6,000	
32	24	50	5,5	9,5	10	10,5			15	RTV-84D32Q	6,500	
48	36	50	8	14	15,5	16			15	RTV-84D48Q	10,000	
72	54	100	12	21	23	24			15	RTV-84D72Q	10,000	
180	135	200	30,5	54	59,5	63			15	RTV-84C18Q	11,000	
270	203	350	46	81	89	93			15	RTV-84C27Q	13,000	
400	300	500	69	120	132	138			15	RTV-84C40Q	47,000	
650	488	800	112	195	214	224			15	RTV-84C65Q	47,000	
800	600		138	240	264	275			30	RTV-84C80Q	108,000	
1250	938		215	375	413	432			30	RTV-84M12Q	108,000	
1750	1313		302	525	578	604			30	RTV-84M17Q	120,000	
3000	2250		518	900	990	1035			30	RTV-84M30Q	298,000	
tension d'alimentation : 660 V \pm 10 %												
800	600							408	30	RTV-84C80Y	108,000	
1250	938							637	30	RTV-84M12Y	108,000	
1750	1313							893	30	RTV-84M17Y	120,000	
3000	2250							1530	30	RTV-84M30Y	298,000	

(1) Fusibles à commander séparément, voir CD-Rom ou catalogue spécialisé.

(2) Excitation fixe jusqu'au calibre 650 A (avec possibilité d'ajouter l'option VW3-RZD1042). Excitation contrôlée de 800 à 3000 A.

16

Convertisseurs pour courant alternatif

L'évolution de l'électronique de puissance permet de réaliser des convertisseurs très performants sur les plans technique et économique. Les applications sont nombreuses, elles vont du démarrage progressif à la variation de vitesse des moteurs. Enfin, elle permet la commande en électrothermie résistive à partir de gradateurs à trains d'ondes.

1 Gradateur

Le gradateur est un appareil qui permet, à partir d'une source alternative, de convertir une tension sinusoïdale constante en une tension alternative de même fréquence mais de valeur efficace variable.

Les gradateurs permettent les réglages d'éclairage, de chauffage, le démarrage des moteurs à courant alternatif.

1.1. Principe (fig. 1)

Une charge est mise en série avec deux thyristors montés « tête-bêche », ou antiparallèles. La charge est supposée résistive.

- L'alternance positive passe par Th_1 dès qu'il est amorcé.
- L'alternance négative passe par Th_2 dès qu'il est amorcé (courbe fig. 2).

Remarques :

- Dans ce montage, il est nécessaire d'avoir deux commandes de gâchettes séparées, les cathodes étant à des potentiels différents.
- Dans un montage tête-bêche de deux thyristors, un thyristor ne peut être amorcé tant que l'autre conduit (tension d'anode négative).

1.2. Gradateur triphasé

Un gradateur triphasé peut être considéré comme l'équivalent de trois gradateurs monophasés montés en étoile (fig. 3) ou plus rarement en triangle.

Remarque :

- Le montage tête-bêche des thyristors peut s'effectuer uniquement sur 2 branches pour une économie de matériel.

1.3. Utilisation des gradateurs

On rencontre les gradateurs dans des applications telles que :

- le contrôle de l'éclairage (variation de luminosité) ;
 - la commande des petits moteurs universels (perceuses portatives) ;
 - le démarrage des moteurs asynchrones ;
 - la régulation du chauffage électrique (gradateurs à trains d'ondes).
- Pour les intensités inférieures à 30 A, on emploie souvent des triacs (voir symbole page 134) à la place des thyristors. Ils sont moins chers à mettre en œuvre (une seule gâchette).

OBJECTIFS

Les applications des convertisseurs statiques au réglage de l'énergie en courant alternatif nécessitent d'être capable de :

- décoder les schémas fonctionnels et structurels (puissance uniquement) ;
- mise en œuvre et maintenance par échange standard.

SAVOIR TECHNOLOGIQUE

S 4.2

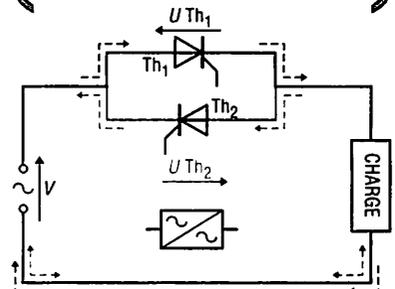


Fig. 1 : Principe et symbole d'un gradateur monophasé.

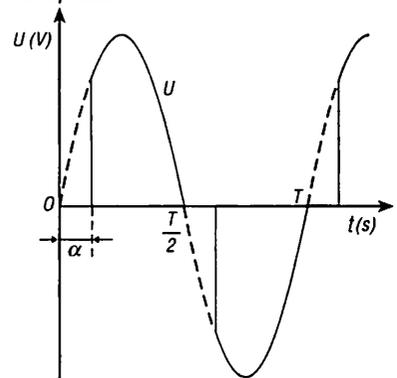


Fig. 2 : On désigne par α l'angle d'amorçage des thyristors.

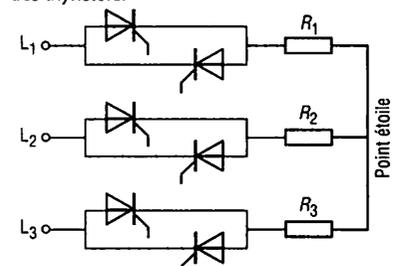


Fig. 3 : Gradateur triphasé.

2 Onduleurs

Un onduleur autonome est un convertisseur statique qui assure la transformation du courant continu en courant alternatif (fig. 4).

2.1. Principe

Le courant continu passe alternativement à l'intérieur du récepteur dans un sens ou dans l'autre. Le schéma de principe est donné figure 5.

Fonctionnement

À la fermeture des interrupteurs H_1 et H_4 , le courant s'établit selon les flèches en rouge, le récepteur est parcouru dans un sens. H_1 et H_4 étant ouverts, à la fermeture de H_3 et H_2 , le courant s'établit dans le récepteur mais en sens inverse.

Attention : cet onduleur peut présenter un fonctionnement dangereux dans les cas où H_1 et H_2 sont fermés ensemble, ce qui provoque un court-circuit de la source. Il en est de même pour H_3 et H_4 .

2.2. Onduleur à transistors

a) Schéma de principe (fig. 6)

Les transistors T_1 à T_4 se comportent comme des interrupteurs unidirectionnels. Les diodes sont montées en antiparallèle et permettent de prolonger le passage du courant.

b) Fonctionnement (fig. 7)

Les transistors T_1 et T_4 sont fermés pendant la première demi-période de 0 à $T/2$, alors que T_2 et T_3 sont ouverts. À l'instant $T/2$ les transistors T_1 et T_4 s'ouvrent, mais à cause de l'inductance du récepteur, le courant I retourne à la source en passant par les diodes D_2 et D_3 qui restent passantes tant que I est positif.

Les transistors T_2 et T_3 sont fermés pendant la deuxième demi-période, alors que T_1 et T_4 sont ouverts. Le fonctionnement est symétrique pour les diodes D_1 et D_4 .

2.3. Onduleur triphasé (fig. 8)

Un onduleur triphasé correspond à trois onduleurs monophasés.

La conduction des thyristors est décalée de 120° , soit de $T/3$.

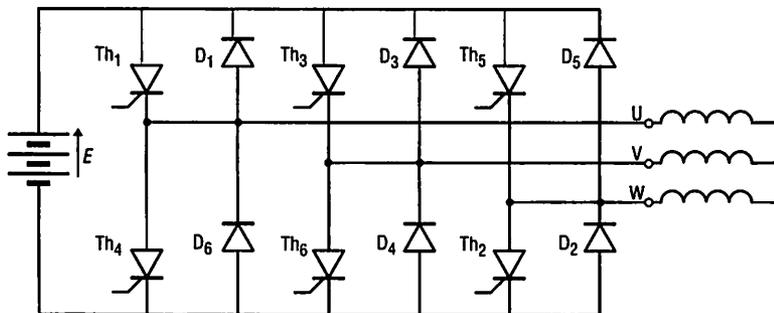


Fig. 8 : Schéma du circuit de puissance d'un onduleur triphasé à thyristors.

2.4. Onduleur MLI (fig. 9)

Un onduleur MLI est un onduleur dont le principe est basé sur une modulation de la largeur d'impulsions.

Le schéma du circuit de puissance est identique à celui de la figure 7. Mais la fréquence de découpage du courant continu est réalisée par microprocesseur selon la fonction sinusoïdale.



Fig. 4 : Symbole de l'onduleur.

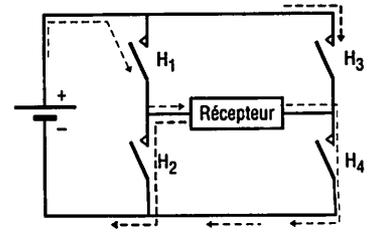


Fig. 5 : Schéma et symbole d'un onduleur monophasé.

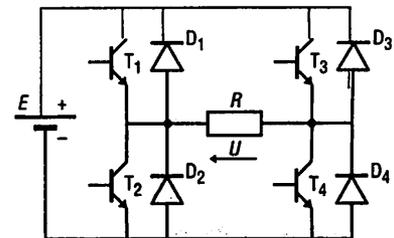


Fig. 6 : Schéma de principe d'un onduleur à transistors.

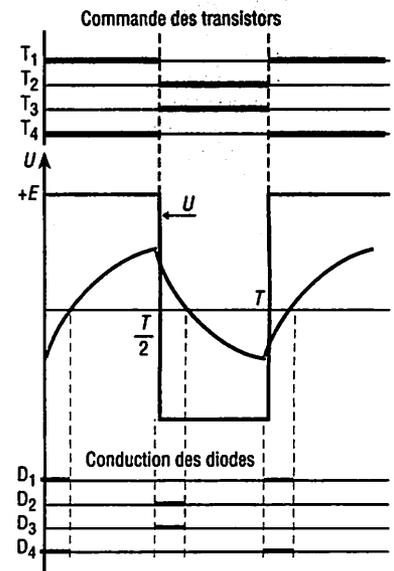


Fig. 7 : Courbe de la tension et du courant dans un récepteur inductif + résistance.

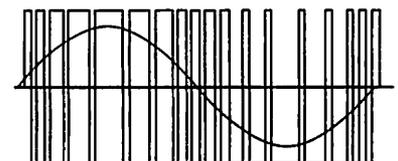


Fig. 9 : Sinusoïde obtenue par modulation de largeur d'impulsions (MLI).

3 Variateurs de vitesse

3.1. Principe

a) Moteurs à courant continu

Les convertisseurs alimentés en général par le réseau sont constitués par des redresseurs utilisant des ponts mixtes ou complets permettant de faire varier la tension d'induit de quelques volts à la tension nominale. Ceci a pour effet de faire varier la vitesse du moteur (fig. 10).

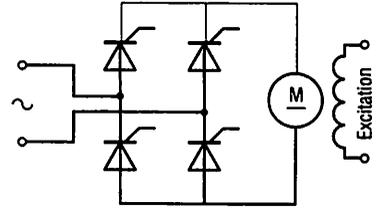


Fig. 10 : Variateur de vitesse pour moteur à courant continu.

b) Moteurs à courant alternatif

La variation de la vitesse s'obtient en faisant varier la fréquence à l'aide d'un onduleur. Cette variation de fréquence s'accompagne d'une variation de tension (rapport $U/f = \text{constant}$) (fig. 11).

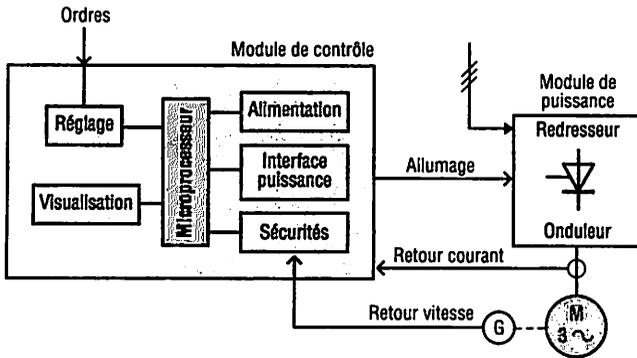


Fig. 11 : Schéma fonctionnel d'un variateur de vitesse pour moteur asynchrone.

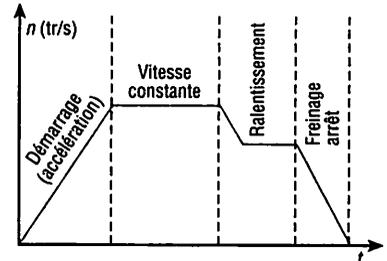


Fig. 12 : Évolution de la vitesse d'un moteur en fonction du temps.

3.2. Fonctions à réaliser

Il s'agit de permettre l'entraînement d'une machine :

- avec une vitesse variable (n en tr/s) ;
- avec un couple fixe ou variable (C en Nm).

Les fonctions à réaliser par un variateur de vitesse sont (fig. 12) :

- démarrage progressif ;
- réglage de la vitesse ;
- obtention d'une vitesse fixe avec un couple variable (fig. 13) ;
- freinage avec arrêt du moteur ;
- inversion du sens de marche.

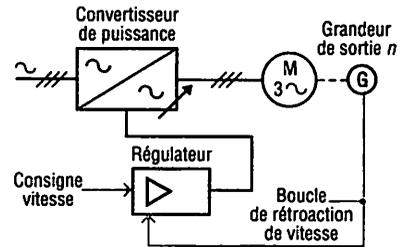


Fig. 13 : Schéma fonctionnel simplifié d'une régulation de vitesse.

3.3. Modes de fonctionnement

a) Unidirectionnel

Le convertisseur est dit unidirectionnel s'il ne permet le passage de l'énergie que dans le sens réseau vers le récepteur.

b) Bidirectionnel ou réversible

Le convertisseur autorise le transfert d'énergie aussi bien dans le sens réseau vers récepteur que dans le sens inverse. Ceci permet d'effectuer un freinage par récupération d'énergie, l'énergie étant renvoyée au réseau.

c) Les quatre quadrants (fig. 14)

On peut caractériser les différents fonctionnements d'un moteur en fonction de deux paramètres : la vitesse (deux sens de rotation), et le couple (couple moteur, couple de freinage).

Fonctionnement en quatre quadrants :

- Quadrants 1 et 3 : marche en moteur dans un sens, dans l'autre sens.
- Quadrants 2 et 4 : marche en freinage dans un sens et dans l'autre. En freinage, la machine tournante absorbe une puissance mécanique.

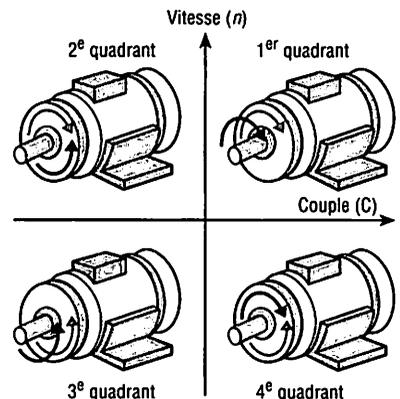


Fig. 14 : Fonctionnement en quatre quadrants.

Exemple : un moteur d'ascenseur à la montée fonctionne en quadrant 1 (Q1), à la descente, il change de sens et la charge est entraînée ; il est alors en quadrant 4 (Q4).

4 Démarreurs progressifs

Les gradateurs remplacent les démarreurs à contacteurs et permettent des démarrages plus progressifs. L'intensité de démarrage varie de façon continue.

4.1. Constitution (fig. 15)

a) Modules de puissance

Ce sont trois groupes de deux thyristors montés tête-bêche qui assurent le contrôle du circuit de puissance et permettent d'assurer le réglage de la tension et du courant au moment du démarrage du moteur.

b) Module de commande (fig. 16)

Il déclenche le courant de gâchette des thyristors et contrôle :

- la limitation du courant de 2 à 5 I_n ;
- le temps de démarrage ou rampe d'accélération ;
- la détection et la signalisation des défauts de fonctionnement.

4.2. Caractéristiques

Les gradateurs de démarrage sont caractérisés par :

- la tension du réseau (220/240 ou 380/415 V) ;
- la puissance du moteur asynchrone à démarrer.

Ils permettent :

- de limiter le courant au démarrage, ce qui a pour effet de réduire les chutes de tension en ligne et la puissance installée ;
- d'éliminer les à-coups au démarrage ou au freinage ;
- d'effectuer des arrêts en douceur.

(Voir pages de documentation et schémas.)

5 Gradateurs à trains d'ondes

Ces gradateurs sont surtout employés sur des charges résistives. Ils permettent d'assurer la régulation de la température en limitant le nombre de sinusoïdes dans un cycle. Au lieu d'agir sur la tension, on agit sur le courant moyen dans la charge.

5.1. Constitution (fig. 17)

C'est un montage avec deux thyristors montés tête-bêche, mais dans lequel la commande s'effectue par trains d'ondes entières. La durée d'un train d'ondes est de l'ordre de la seconde, par exemple pour 2,5 s on aura :

$$2,5 \times 50 \text{ Hz} = 250 \text{ ondes complètes.}$$

En agissant sur le nombre d'ondes dans un train d'ondes on peut réguler un chauffage (fig. 18).

5.2. Caractéristiques

- La tension du réseau et le nombre de phases (230/400 V).
- La puissance maximale et l'intensité en ligne.

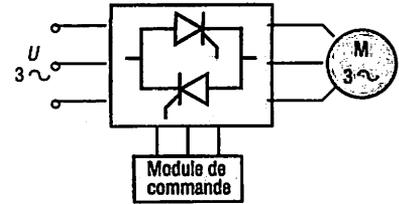


Fig. 15 : Constitution d'un gradateur pour démarrage de moteur.

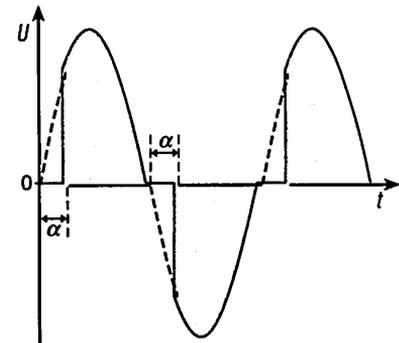


Fig. 16 : Selon l'angle d'amorçage α la tension augmente progressivement, à fréquence fixe.

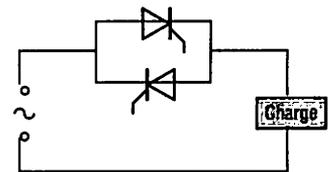


Fig. 17 : Gradateur à trains d'ondes alimentant une charge résistive.

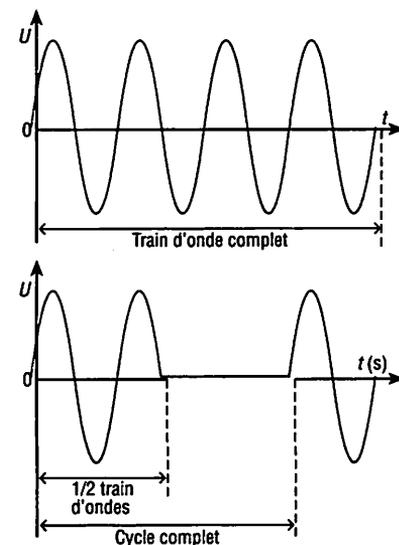


Fig. 18 : Trains d'ondes complet et train d'ondes moitié du cycle.

L'essentiel

■ **Le gradateur** est un appareil qui permet, à partir d'une source alternative, de convertir une tension sinusoïdale de valeur efficace constante en une tension alternative de même fréquence mais de valeur efficace variable.

■ **Un onduleur** est un convertisseur statique qui assure la transformation de l'énergie d'une source à courant continu en une énergie à courant alternatif. Les onduleurs peuvent être réalisés à partir de thyristors ou de transistors. La tendance est de réaliser des onduleurs MLI (Modulation Largeur Impulsions) qui par hachage à fréquence variable reconstitue une sinusoïde.

■ **Les variateurs de vitesse** s'appliquent aussi bien aux moteurs à courant continu qu'aux moteurs à courant alternatif ; leur fonctionnement électrique est différent mais ils doivent accomplir les mêmes fonctions :

- le démarrage, dans un temps donné ;
- la vitesse variable, avec ou sans régulation de vitesse ;
- le freinage pour ralentir ou s'arrêter.

■ **Les démarreurs à gradateur** ont tendance à remplacer les démarreurs à contacteurs, ils sont progressifs et permettent le ralentissement.

■ **Les gradateurs à trains d'ondes** sont surtout employés pour l'alimentation des récepteurs résistants, la coupure s'effectue au passage à 0 de la sinusoïde.



VRAI OU FAUX ?

Parmi les affirmations suivantes, indiquez celles qui sont vraies.

1. Un gradateur permet de convertir une tension alternative en une autre tension alternative de valeur différente.
2. Le montage tête-bêche de deux thyristors est un montage en série parallèle.
3. Un gradateur triphasé est équivalent à trois gradateurs monophasés.
4. Le gradateur est utilisé pour faire varier la tension d'un moteur asynchrone au moment du démarrage.
5. Un onduleur permet de transformer un courant continu en courant alternatif.
6. Dans un onduleur, la source, ou le générateur, est toujours une source de tension continue.
7. Dans un onduleur, les transistors se comportent comme des interrupteurs unidirectionnels.
8. Dans un onduleur à transistors, les diodes sont montés en antiparallèle.
9. Un onduleur MLI signifie Mode Logique Interrupteur.
10. Un variateur de vitesse pour moteur à courant continu utilise toujours un onduleur.

11. Pour faire varier la vitesse d'un moteur à courant continu, on fait varier la tension aux bornes de l'induit du moteur.

12. Un variateur de vitesse pour moteur à courant alternatif fait varier la fréquence du courant.

13. Pour faire varier la vitesse d'un moteur asynchrone, on fait varier à la fois la fréquence et la tension aux bornes du moteur.

14. Un variateur de vitesse ne permet pas d'avoir une vitesse constante du moteur.

15. Un variateur unidirectionnel ne fait tourner un moteur que dans un seul sens.

16. Un variateur bidirectionnel fait tourner un moteur dans les deux sens.

17. Un démarreur progressif de moteur utilise le plus souvent un montage gradateur.

18. Un gradateur permet de limiter le courant au moment du démarrage du moteur.

19. Le gradateur à train d'onde permet de régler le courant moyen dans une charge.

20. Le principe du train d'onde est utilisé pour la traction électrique.

RÉSOLUS

1. Quelles sont les différences que vous observez entre les deux schémas développés (page 159) concernant un variateur de vitesse pour moteur asynchrone triphasé ?

Indiquez comment un moteur triphasé peut fonctionner avec une alimentation monophasée.

Solution :

– La différence pour le branchement d'un variateur de vitesse de moteur asynchrone triphasé est due à l'alimentation en triphasé dans un cas, et en monophasé dans l'autre cas.

– Le moteur triphasé est alimenté à partir d'un onduleur, lequel reçoit son alimentation d'une source à courant continu. L'onduleur est précédé d'un redresseur monophasé ou triphasé.

2. Un moteur asynchrone triphasé entraîne une bande transporteuse ; on souhaite faire varier sa vitesse de 1 000 à 1 500 tr/min.

On relève sur la plaque signalétique les indications suivantes : vitesse 1 450 tr/min, puissance 4 kW ; tension

230/400 V ; 50 Hz. Cherchez, dans la documentation, la référence du variateur de vitesse.

Solution : Il faut consulter la documentation relative aux variateurs de vitesse (page 162). Il s'agit d'un moteur à quatre pôles (soit 2 P pôles), la fréquence correspondant à 1 000 tours/minute est de :

$$f = P \times n \text{ avec } (n = N/60) ;$$

$$\text{d'où } f = 2 \times 1\,000/60 = 33,33 \text{ Hz à } 50 \text{ Hz.}$$

On a, pour une tension triphasée de 380 à 460 V, puissance 4 kW, la référence suivante : ATV-18U72N4, dont la fréquence peut varier de 0,5 Hz à 320 Hz.

3. Pour faciliter le démarrage d'un moteur asynchrone triphasé, on souhaite utiliser un démarreur progressif sachant que la puissance du moteur est de 2,5 kW, tension d'alimentation 230/400 V. On vous demande d'indiquer la référence du démarreur progressif qui convient.

Solution : La documentation sur les démarreurs progressifs est donnée page 163.

Pour une puissance de 2,5 kW, tension 400 V, on prendra un variateur de référence : LH4-N106.

À RÉSOUDRE

1. Indiquez la différence que vous constatez sur la fiche relative au schéma de démarreur ralentisseur de la page 161, entre les schémas de la partie supérieure et les schémas de la partie inférieure.

2. Indiquez la différence entre les schémas de commande automatique avec inversion de sens de marche sans ralentissement de la page 160 (schémas de la partie inférieure).

3. Un moteur asynchrone triphasé entraîne une machine-outil ; on souhaite faire varier sa vitesse de 200 à 5 000 tr/min.

On relève sur la plaque signalétique les indications suivantes : vitesse 1 450 tr/min, puissance 4 kW, tension 230/400 V, 50 Hz.

Recherchez les valeurs de fréquences minimale et maximale à régler sur le variateur de vitesse et donnez sa référence.

4. En observant les schémas de la page 160 relative à la commande automatique avec inversion de sens de marche sans ralentissement, pouvez-vous indiquer le rôle des contacts S1 et S3 ?

5. Sur les schémas de la page 161 partie inférieure, pouvez-vous indiquer quel est le rôle du contact Q₃ ?

6. Quelle référence de variateur de vitesse utiliseriez-vous avec un moteur triphasé de 230/400 V, de puissance 7,5 kW ?

7. On veut remplacer un démarreur étoile-triangle par un démarreur progressif. Indiquez sa référence, sachant qu'il s'agit d'un moteur de puissance 5 kW sous 400 V.

8. Pour l'entraînement d'un télésiège, on utilise un moteur asynchrone triphasé d'une puissance 30 kW alimenté sous 400 V de triphasé. Sachant que ce démarreur devra être aussi ralentisseur, donnez sa référence.

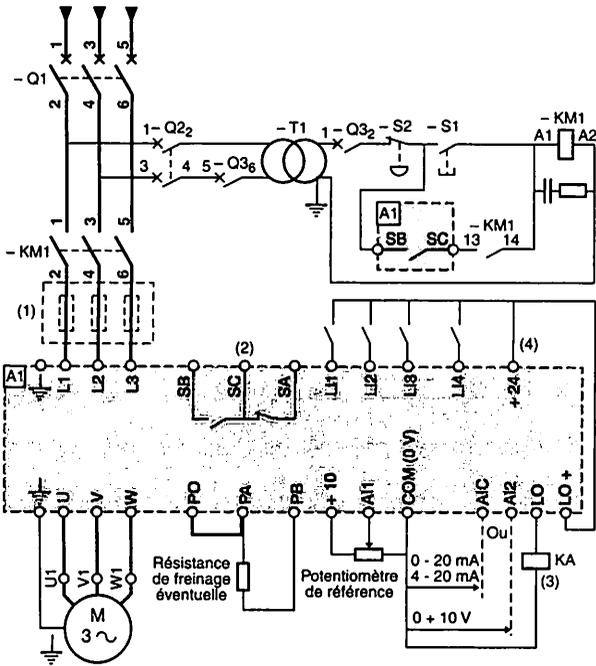
9. On relève sur un démarreur progressif la référence suivante : LH4-N225. Indiquez la puissance du moteur qu'il peut commander et sous quelle tension, ainsi que le courant assigné d'emploi.

10. On relève sur un variateur de vitesse la référence suivante : ATV-18D23N4. Indiquez la puissance du moteur qu'il peut commander et sous quelles tensions, ainsi que le courant de sortie permanent.

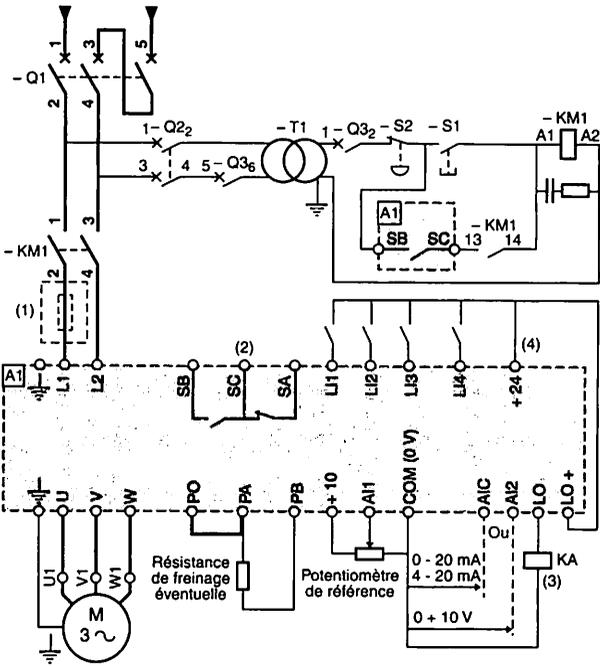
11. Dans la documentation des variateurs de vitesse Altivar, on donne une gamme de fréquences de 0,5 Hz à 320 Hz. Donnez pour un moteur quatre pôles, 50 Hz, les vitesses minimale et maximale que ce moteur peut atteindre.

Variateur de vitesse (onduleur) pour moteurs asynchrones triphasés Altivar 18

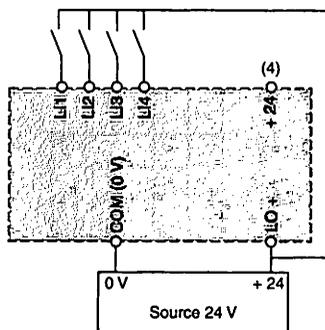
Alimentation triphasée



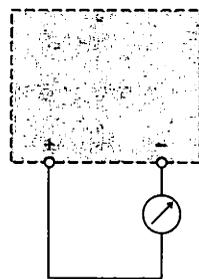
Alimentation monophasée



Autres raccordements - Source 24 V externe



Option - VW3-A18107



(1) Inductance de ligne éventuelle.

(2) Contacts du relais de sécurité ; pour signaler à distance l'état du variateur.

(3) Relais ou entrée d'automate 24 V.

(4) + 24 V interne. En cas d'utilisation d'une source externe + 24 V, relier le 0 V de celle-ci à la borne COM, ne pas utiliser la borne + 24 du variateur, et raccorder LO+ et le commun des entrées LI au + 24 V de la source externe.

Nota :

- toutes les bornes sont situées en bas du variateur.
- équiper d'antiparasites tous les circuits selfiques proches du variateur ou couplés sur le même circuit, tel que relais, contacteurs, électrovannes, éclairage fluorescent...

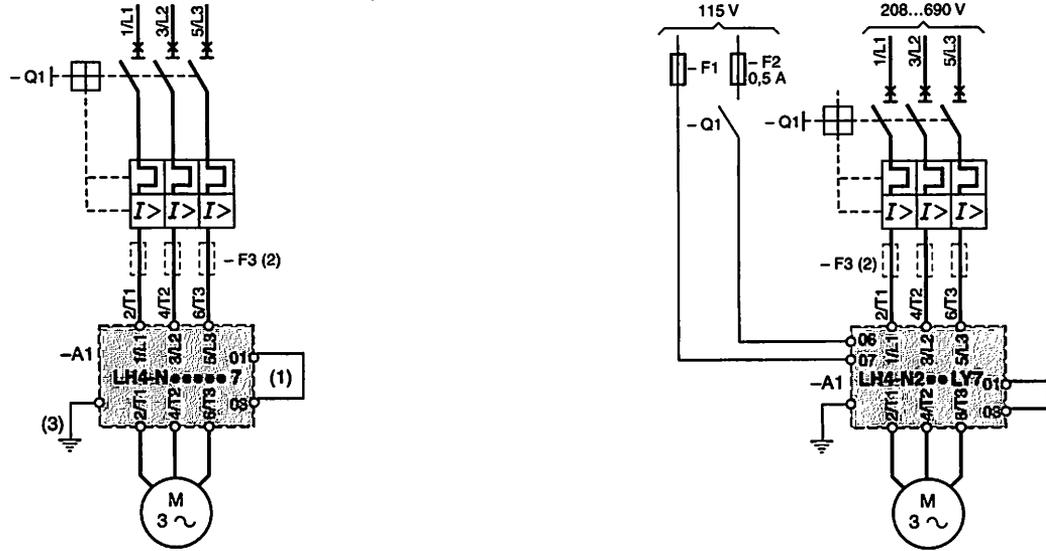
Constituants à associer

repère	désignation
Q1	GV2-L ou Compact NS (voir pages suivantes)
KM1	LC1-D... + LA4-DA2U (voir pages suivantes)
S1, S2	boutons-poussoirs XB2-B ou XA2-B
T1	transformateur 100 VA secondaire 220 V
Q2	GV2-L calibré à 2 fois le courant nominal primaire de T1
Q3	GB2-CB05

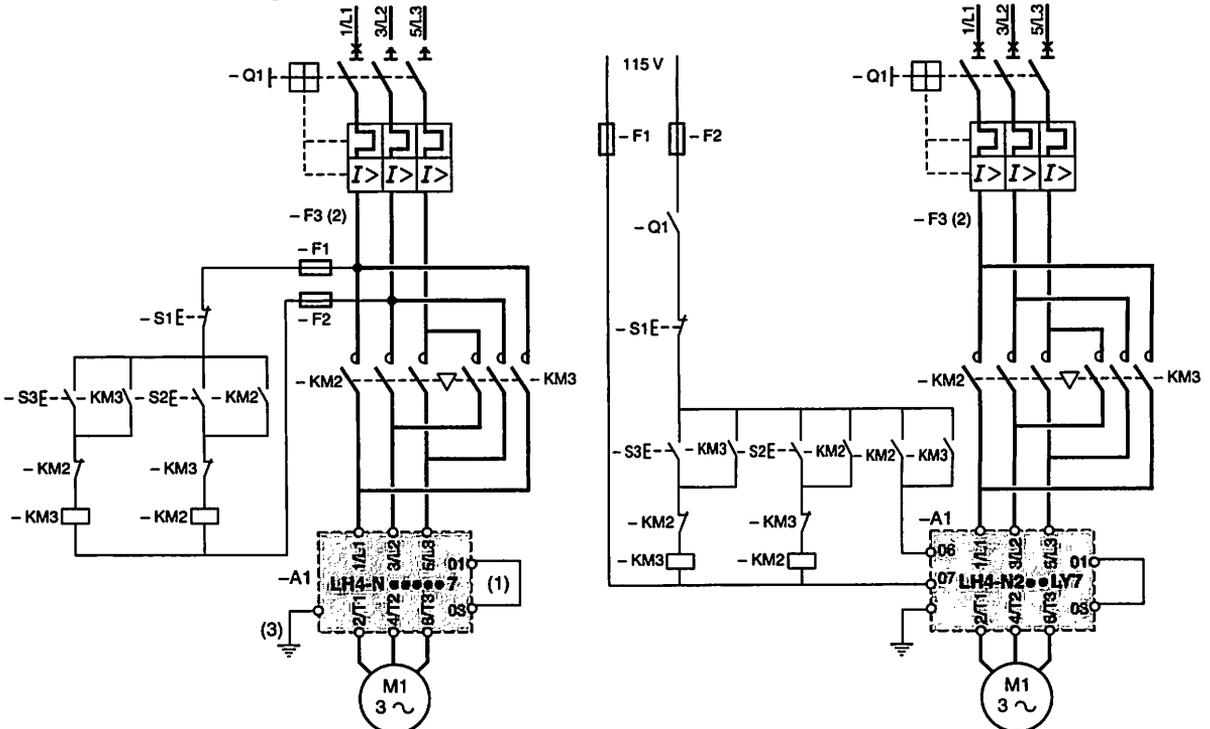
Démarrateurs progressifs LH4 pour moteurs asynchrones triphasés (Gradateurs)

Démarrateurs progressifs LH4-N1 et LH4-N2

Commande manuelle avec disjoncteur-moteur GV2, GV3 et GV7 sans ralentissement



Commande automatique avec inversion de sens de marche sans ralentissement



Nota : En monophasé, utiliser le LH4-N1, et ne pas utiliser la 3^e phase 5L3/6T3.

(1) LH4-N2 seulement.

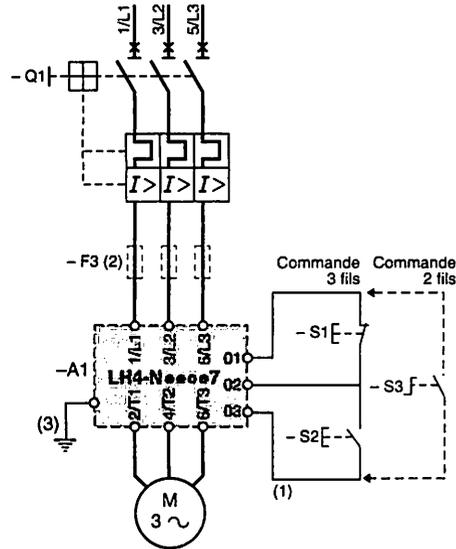
(2) Pour coordination type 2.

(3) À partir du LH4-N230Q7 seulement.

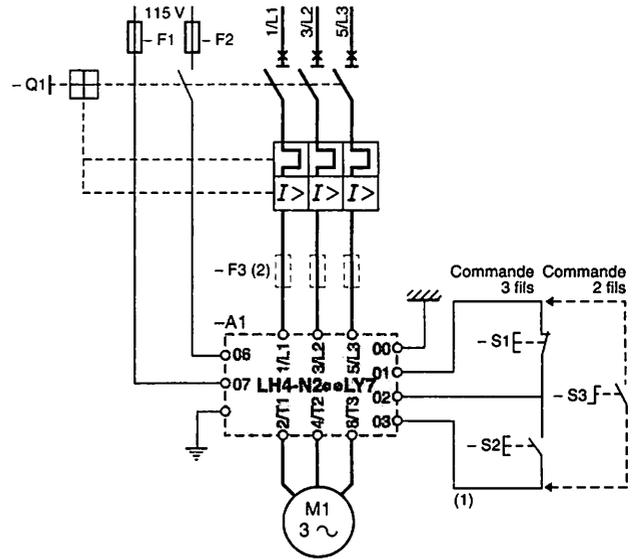
Démarrateurs-ralentisseurs progressifs LH4-N2 pour moteurs asynchrones triphasés (Gradateurs)

Démarrateurs-ralentisseurs progressifs LH4-N2

Commande automatique avec ou sans ralentissement, sans contacteur

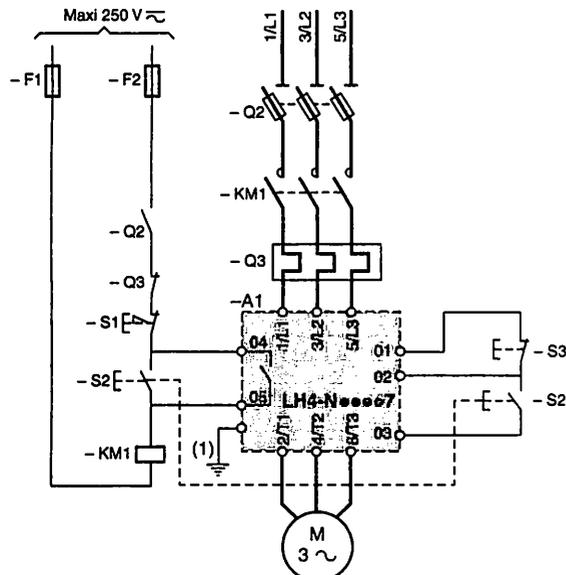


Commande automatique avec ou sans ralentissement, sans contacteur

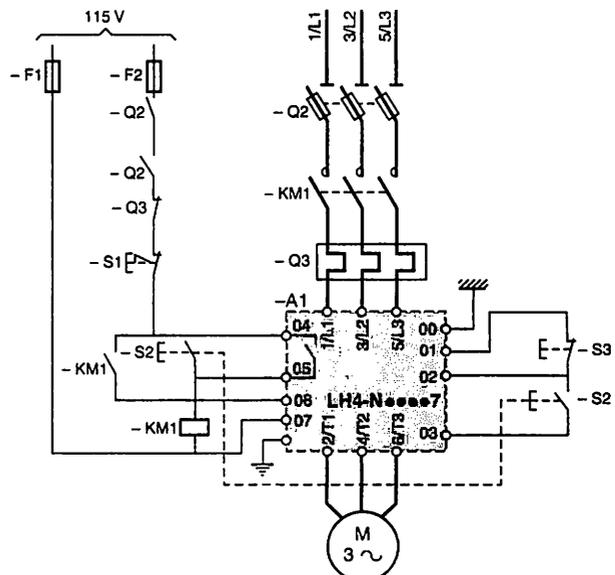


- (1) Au-delà de 1 m, utiliser des fils blindés.
- (2) Pour coordination type 2.
- (3) À partir du LH4-N230Q7 seulement.

Commande automatique avec ou sans ralentissement, avec contacteur



Commande automatique avec ou sans ralentissement, avec contacteur



- (1) À partir du LH4-N230Q7 seulement.

Variateurs de vitesse pour moteurs asynchrones triphasés Altivar 18 Caractéristiques et références

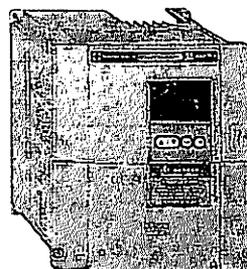
Caractéristiques électriques

alimentation	tension	V	200 - 15 % à 240 + 10 % monophasé 200 - 15 % à 230 + 10 % triphasé 380 - 15 % à 460 + 10 % triphasé
	fréquence	Hz	50/60 ± 5 %
sources internes disponibles			1 sortie + 10 V + 0 % + 15 % pour le potentiomètre de consigne (1 kΩ à 10 kΩ), débit maximal 10 mA 1 sortie + 24 V pour les entrées de commande, débit maximal 100 mA
entrées analogiques AI			1 entrée analogique en tension 0 + 10 V, impédance 30 kΩ : AI1 1 entrée analogique en tension 0 + 10 V, impédance 30,55 kΩ : AI2 1 entrée analogique en courant 0-20 mA ou 4-20 mA, impédance 400 kΩ : AIC AI2 et AIC ne sont pas utilisables en même temps
fréquence de découpage			réglable de 2,2 à 12 kHz
freinage d'arrêt			par injection de courant continu : ■ par ordre sur entrée logique affectable ■ automatiquement pendant un temps réglable de 0 à 25 s ou permanent, dès que la fréquence en décélération devient < 0,5 Hz
protections et sécurités du variateur			isolement galvanique entre puissance et contrôle (entrées, sorties, sources) protection contre les courts-circuits : ■ des sources internes disponibles ■ entre les phases de sortie protection thermique contre les échauffements excessifs et les surintensités sécurités de surtension et de sous-tension réseau sécurité de surtension au freinage
protection du moteur			protection thermique intégrée dans le variateur par calcul permanent du I ² t
relais de sécurité (sortie de l'information défaut)			1 contact « OF » pouvoir de commutation minimal : 10 mA pour ... 5 V pouvoir de commutation maximal : ■ sur charge résistive : 2 A pour ~ 250 V ou ... 30 V ■ sur charge inductive : 1,5 A pour ~ 250 V (cos φ = 0,4) ou 1,5 A pour ... 30 V
signalisation			1 DEL rouge en face avant : - DEL allumée = Altivar sous tension visualisation codée par 4 afficheurs à 7 segments

Variateurs avec gamme de fréquence de 0,5 Hz à 320 Hz



ATV-18U09M2



ATV-18U72N4

réseau	moteur		Altivar 18				référence ⁽⁴⁾	
tension d'alimentation U1...U2 ⁽¹⁾	courant de ligne ⁽²⁾ à U1 à U2		puissance indiquée sur plaque ⁽³⁾	courant de sortie permanent	courant transitoire maxi ⁽⁴⁾	puissance dissipée à la charge nominale		
V	A	A	KW	HP	A	A	W	
200...240	4,4	3,9	0,37	0,5	2,1	3,1	23	ATV-18U09M2
50/60 Hz	7,6	6,8	0,75	1	3,6	5,4	39	ATV-18U18M2
monophasé	13,9	12,4	1,5	2	6,8	10,2	60	ATV-18U29M2
	19,4	17,4	2,2	3	9,6	14,4	78	ATV-18U41M2
200...230	16,2	14,9	3		12,3	18,5	104	ATV-18U54M2
50/60 Hz	20,4	18,8	4	5	16,4	24,6	141	ATV-18U72M2
triphasé	28,7	26,5	5,5	7,5	22	33	200	ATV-18U90M2
	38,4	35,3	7,5	10	28	42	264	ATV-18D18M2
380...460	2,9	2,7	0,75	1	2,1	3,2	24	ATV-18U18N4
50/60 Hz	5,1	4,8	1,5	2	3,7	5,6	34	ATV-18U29N4
triphasé	6,8	6,3	2,2	3	5,3	8	49	ATV-18U41N4
	9,8	8,4	3		7,1	10,7	69	ATV-18U54N4
	12,5	10,9	4	5	9,2	13,8	94	ATV-18U72N4
	16,9	15,3	5,5	7,5	11,8	17,7	135	ATV-18U90N4
	21,5	19,4	7,5	10	16	24	175	ATV-18D12N4
	31,8	28,7	11	15	22	33	261	ATV-18D18N4
	42,9	38,6	15	20	29,3	44	342	ATV-18D23N4

(1) Tensions nominales d'alimentation mini : U1, maxi : U2.

(2) Valeur typique sans inductance additionnelle.

(3) Ces puissances sont données pour une fréquence de découpage réglée à 4 kHz.

(4) Pendant 60 secondes.

(5) Variateurs livrés avec guide d'exploitation quadrilingue (allemand, anglais, espagnol, français).

Démarrateurs progressifs LH4 pour moteurs asynchrones triphasés de 1 à 75 kW - Caractéristiques et références

Caractéristiques électriques

Caractéristiques des relais de sortie

courant assigné d'emploi	selon IEC 947-5-1		catégorie d'emploi AC-15 : le 3 A, Ue 250 V catégorie d'emploi DC-13 : le 2 A, Ue 24 V		
puissance d'emploi des contacts	~ 250 V	VA	2000 (6 A-250 V)		
type de démarrateurs			LH4-N106...	LH4-N112...	LH4-N125...
tension assignée d'emploi (Ue)		V	200...240 (LH4-N1..LU7), 380...415 (LH4-N1..QN7), 440...480 (LH4-N1..RT7) avec - 15... + 10 % sur toutes les valeurs		
tension de commande			interne au produit		
fréquence		Hz	50 ou 60		
courant assigné d'emploi		A	6	12	22
temps de démarrage	rampe de tension	s	réglable de 1 à 5		
temps de ralentissement	rampe de tension	s			
couple de décollage			réglable de 0,3 à 0,8 du couple de décollage du moteur en direct		
puissance dissipée	à pleine charge en fin de démarrage	W	2	3	3,5
visualisation par DEL	verte		allumée, appareil sous tension		
	jaune		allumée, pleine vitesse		
entrées logiques		mA	état logique 1 : I ≥ 10 - état logique 0 : I ≤ 3 tension fournie par le produit 24 V ± 25 % (pas de puissance disponible)		

Démarrateurs progressifs de 1,1 à 11 kW

puissances normalisées des moteurs 50/60 Hz ⁽¹⁾			courant assigné d'emploi A	référence de base à compléter ⁽²⁾
triphasés	400 V	monophasé		
230 V	400 V	230 V		
kW	kW	kW		
1,1	3	0,75	6	LH4-N106..7
2,2	5,5	1,5	12	LH4-N112..7
5,5	11	3	22	LH4-N125..7

Démarrateurs-ralentisseurs progressifs de 1,1 à 11 kW

puissances normalisées des moteurs 50/60 Hz ⁽¹⁾			courant assigné d'emploi A	référence de base à compléter ⁽²⁾
triphasés	400 V			
230 V	400 V			
kW	kW			
1,1	3		6	LH4-N206..7
2,2	5,5		12	LH4-N212..7
5,5	11		22	LH4-N225..7

Démarrateurs-ralentisseurs progressifs de 15 à 75 kW

puissances normalisées des moteurs 50/60 Hz ⁽¹⁾			courant assigné d'emploi A	référence de base à compléter ⁽²⁾
triphasés	400 V	690 V		
230 V	400 V	690 V		
kW	kW	kW		
	15		32	LH4-N230Q7
7,5	15	30	32	LH4-N230LY7
	22		44	LH4-N244Q7
11	22	37	44	LH4-N244LY7
	37		72	LH4-N272Q7
15	37	55	72	LH4-N244LY7
	45		85	LH4-N285Q7
22	45	75	85	LH4-N285LY7

(1) Pour 360 secondes de démarrage et de ralentissements par heure.

(2) Tensions d'alimentation puissance.

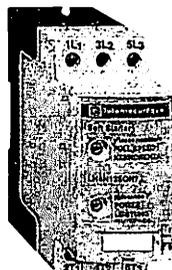
volts	200...240	380...415	440...480
repère	LU	QN	RT

Nota : Si les conditions de démarrages et de ralentissements sont sévères, ou s'il est nécessaire de bien contrôler le courant de démarrage, il est préférable d'utiliser l'Altistart 46.

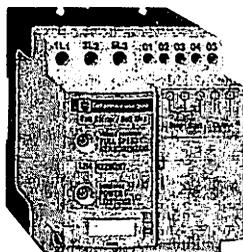
Accessoires

■ Une platine référence **VY1-H4101** peut être fixée sur le LH4-N230 et N244 pour montage rapide sur τ de 35 ou 70 mm.

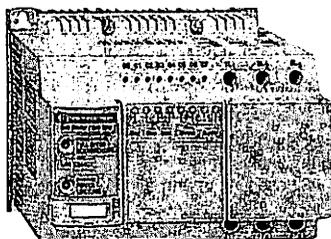
■ Sur les LH4-N2, à partir du calibre 32 A, il est possible de monter sur le contacteur de shuntage un contact auxiliaire **LA8-DN..** donnant l'information moteur à pleine vitesse.



LH4-N125QN7



LH4-N225QN7



LH4-N244Q7

17

Les fonctions logiques Les bascules

Un système de production automatique a pour fonction principale de produire des biens de consommation, ce qui implique de réaliser quatre autres fonctions :

ACQUÉRIR DES DONNÉES

TRAITER LES DONNÉES

COMMANDER L'ÉNERGIE

COMMUNIQUER AVEC LE SYSTÈME

OBJECTIFS

Pour la commande des systèmes, on fait appel à des fonctions logiques, des bascules.

Il faut être capable :

- de décoder les symboles ;
- d'exprimer la fonction satisfaite ;
- d'associer plusieurs opérateurs pour satisfaire une fonction.

SAVOIR TECHNOLOGIQUE

S 5.1

1 Rappels sur les fonctions logiques de base

Les fonctions logiques de base ont déjà été étudiées au chapitre 20 du manuel *Technologie d'électrotechnique* Tome 1.

Tableau 1 : Fonctions logiques de base.

Fonctions logiques de base	Symboles logiques		Équations logiques	Schémas électriques	Tables de vérité															
	Europe	Amérique																		
Fonction OUI ou fonction égalité			$S = a$		<table border="1"> <tr><th>a</th><th>S</th></tr> <tr><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td></tr> </table>	a	S	0	0	1	1									
a	S																			
0	0																			
1	1																			
Fonction NON			$S = \bar{a}$		<table border="1"> <tr><th>a</th><th>S</th></tr> <tr><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td></tr> </table>	a	S	0	1	1	0									
a	S																			
0	1																			
1	0																			
Fonction OU (OR) 2 ou plusieurs variables			$S = a \text{ OU } b$ s'écrit $S = a + b$		<p>Un seul 0 quand toutes les variables sont à 0</p> <table border="1"> <tr><th>b</th><th>a</th><th>b</th></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr> </table>	b	a	b	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1
b	a	b																		
0	0	0																		
0	1	1																		
1	0	1																		
1	1	1																		
Fonction OU-NON (NOR) Sortie inversée de la fonction OU			$S = \overline{a + b}$ $S = \bar{a} \cdot \bar{b}$		<p>Un seul 1 quand toutes les variables sont à 0</p> <table border="1"> <tr><th>b</th><th>a</th><th>b</th></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr> </table>	b	a	b	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1	1	0
b	a	b																		
0	0	1																		
0	1	0																		
1	0	0																		
1	1	0																		
Fonction ET (AND) 2 ou plusieurs variables			$S = a \text{ ET } b$ s'écrit $S = a \cdot b$		<p>Un seul 1 quand toutes les variables sont à 1</p> <table border="1"> <tr><th>b</th><th>a</th><th>b</th></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr> </table>	b	a	b	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	1
b	a	b																		
0	0	0																		
0	1	0																		
1	0	0																		
1	1	1																		
Fonction ET-NON (NAND) Sortie inversée de la fonction ET			$S = \overline{a \cdot b}$ $S = \bar{a} + \bar{b}$		<p>Un seul 0 quand toutes les variables sont à 1</p> <table border="1"> <tr><th>b</th><th>a</th><th>b</th></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr> </table>	b	a	b	0	0	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0
b	a	b																		
0	0	1																		
0	1	1																		
1	0	1																		
1	1	0																		

Chaque fonction logique est caractérisée par une ou des variables d'entrées qui ne peuvent prendre que deux états logiques 0 et 1, et elles ne possèdent qu'une seule sortie. Il faut surtout retenir les symboles, les équations et les tables de vérité. Ce sont ces trois représentations qui illustrent le mieux leur fonctionnement.

2 Circuits intégrés logiques

La matérialisation des fonctions logiques a d'abord été réalisée avec des composants discrets puis elle s'est transformée en intégrant plusieurs composants sur un seul circuit.

Les circuits intégrés se divisent en deux grandes catégories :

- les circuits intégrés **linéaires** comprenant les circuits électroniques d'amplification ;
- les circuits intégrés **numériques** qui fonctionnent en tout ou rien, c'est la base de la commutation et de l'informatique.

2.1. Rappels sur le transistor en commutation (fig. 1 et 2)

Lorsque l'interrupteur *a* est ouvert, il n'y a pas de courant de base, le transistor est bloqué, la résistance entre émetteur et collecteur est très grande devant la résistance R_c . La sortie *S* est sensiblement au potentiel *V*, par exemple + 5 V. Lorsque l'interrupteur *a* est fermé, un courant de base provoque la saturation du transistor, seule la résistance R_c limite le courant, **le potentiel de *S* est à 0 V.**

Il existe deux séries de circuits intégrés : la série 74 TTL (*Transistor Transistor Logic*) et la série 4 000 C-MOS (*MOS complémentaire*).

2.2. Série 74 xx

- Dans cette série il existe plusieurs familles dont les principales sont :
- 74 xxx : famille TTL standard ; xxx représente un nombre à 2 ou 3 chiffres qui définit le circuit intégré.
 - 74 L xxx : famille Low-power à faible dissipation thermique.
 - 74 S xxx : famille Schottky, à temps de propagation court.
 - 74 LS xxx : famille Low-power, Schottky.
 - 74 AS xxx : famille Advanced Schottky à temps de propagation extrêmement court.

La **figure 3** donne un exemple de schéma d'une fonction logique NAND (ET-NON à 2 entrées).

Exemple de désignation :

74 LS 02 Porte OU-NON (NOR) : famille Low-power, Schottky.

2.3. Série C-MOS série 4 000

Elle est réalisée à base de transistors MOS (Métal Oxyde Semi-conducteur), on distingue :

- la série UB : série normale ;
- la série B : série bufférisée, c'est-à-dire que les sorties sont amplifiées.

Avantages des circuits C-MOS sur les circuits TTL :

- très faible puissance dissipée ;
- tension de fonctionnement de 3 à 14 V ;
- sortance élevée.

Inconvénient : vitesse de propagation plus faible que la TTL.

Exemple de fonction OU-NON (fig. 4).

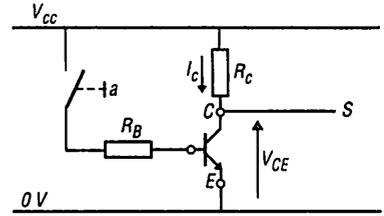


Fig. 1 : Transistor assurant une fonction logique NON.

<i>a</i>	<i>S</i>
0	1
1	0

Ce qui correspond à la fonction NON

$$S = \bar{a}$$

Fig. 2 : Table de vérité de la fonction NON.

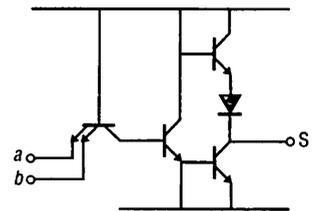


Fig. 3 : Porte ET-NON à 2 entrées en logique TTL.

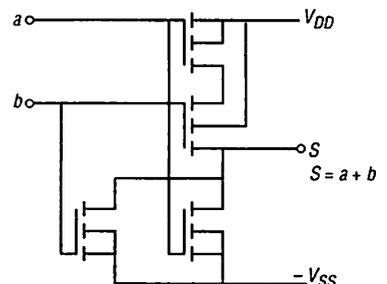


Fig. 4 : Porte OU-NON (NOR) à 2 entrées en logique CMOS.

2.4. Boîtiers des circuits intégrés

Il existe trois types de boîtiers :

- boîtier TO5, c'est un boîtier très utilisé surtout pour les transistors, il possède 8 ou 10 broches (fig. 5) ;
- boîtier plastique à double rangée de broches (DIL) (fig. 6) ; ce boîtier peut comporter 14, 16, 20, 24 ou 40 broches ;
- boîtier plat : destiné aux circuits montés en surface (CMS) (fig. 7).

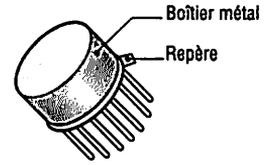


Fig. 5 : Boîtier TO 5 à 10 broches.

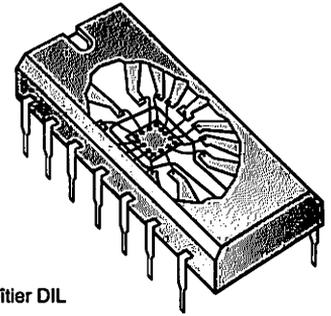
2.5. Caractéristiques de circuits intégrés logiques

Les circuits intégrés sont caractérisés par des tensions d'entrée et de sortie avec les courants correspondants.

Caractéristiques	Grandeurs	TTL 74 Standard	CMOS 74 HC	CMOS 4 000
Tension d'alimentation	V_{CC}	5 V	5	5 V
Tension d'entrée (in)				(3 à 10 V)
Niveau haut mini	V_{IH}	2 V	3,5	4,6 V
Niveau bas maxi	V_{IL}	0,8 V	1	0,5 V
Tension de sortie (out)				
Niveau haut mini	V_{OH}	2,4 V	4,9	4,6 V
Niveau bas maxi	V_{OL}	0,4 V	0,1 V	0,5 V
Courant d'entrée (in)				
Niveau bas maxi	I_{IL}	-1,6 mA	1 μ A	0,5 μ A
Niveau haut maxi	I_{IH}	-40 μ A		1
Courant de sortie				
Niveau bas maxi	I_{OL}	16 mA	4	-0,5 mA
Niveau haut maxi	I_{OH}	0,8 mA		0,5 mA
Temps de transition		10 ns	7 ns	40 ns

La figure 8 indique les différentes tensions et courants par rapport aux niveaux logiques 0 et 1.

Le tableau ci-dessus donne les valeurs caractéristiques comparées entre les séries 74 xx, CMOS 74 HC, CMOS 4 000.



Boîtier DIL

Fig. 6 : Boîtier circuit intégré à 14 broches (2 rangées de 7 broches).

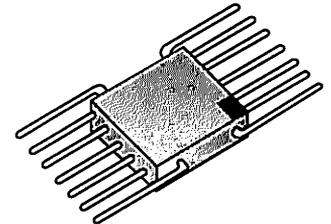


Fig. 7 : Boîtier plat de 14 broches.

2.6. Choix d'une famille logique

Le choix d'une famille logique pour une application donnée est déterminé selon les critères suivants : la vitesse de fonctionnement, l'entrance et la sortance, la consommation, la température de fonctionnement, le type de boîtier, l'influence des parasites (immunité aux bruits), le coût.

3 Bascule RS

Les bascules sont des éléments bistables qui peuvent prendre l'état 0, ou l'état 1 et le conserver. Elles constituent une mémoire élémentaire. Les bascules font partie des circuits séquentiels, c'est-à-dire que la succession des états sur les entrées détermine la sortie et non la combinaison des états.

3.1. Symbole (fig. 9)

La dénomination R et S provient des abréviations :

- S : SET (en anglais) qui signifie positionner.
- R : RESET (en anglais) signifie repositionner ou remettre à zéro.
- Q : sortie à 0 ou à 1 : \bar{Q} : sortie complémentaire de Q.

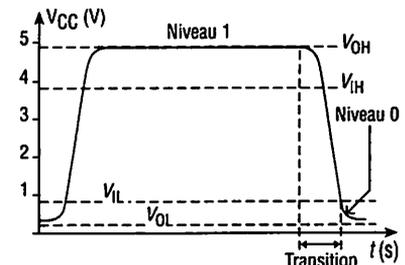


Fig. 8 : Tensions d'entrées et de sorties sur circuits intégrés.

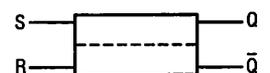


Fig. 9 : Symbole d'une bascule RS.

3.2. Schéma structurel

La bascule RS (fig. 10) est aussi désignée sous le nom de verrou. L'emploi d'inverseurs sur les entrées permet d'actionner la bascule avec des signaux S et R au lieu de \bar{S} et \bar{R} (complémentés).

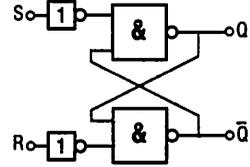


Fig. 10 : Bascule RS avec deux fonctions NAND (ET-NON).

3.3. Table de vérité (fig. 11)

- Au départ (1^{re} ligne), on considère qu'en l'absence de signal sur les entrées S ou R, la bascule est dans l'état où elle était précédemment, la sortie Q est dans l'état $Q_{(n-1)}$.

- Si l'entrée S passe à 1, la sortie Q passe à 1 et reste à 1 même si S disparaît (3^e ligne).

- Si l'entrée R passe à 1, la sortie Q passe à 0 et reste à 0 (4^e ligne).

Enfin si S et R sont tous les deux à 1, l'état de la sortie est indéterminée et peut détruire la bascule.

S	R	Q	\bar{Q}	Observations
0	0	$Q_{(n-1)}$	$\bar{Q}_{(n-1)}$	état précédent
1	0	1	0	
0	1	0	1	
1	1	x	x	état indéterminé

Fig. 11 : Table de vérité de la bascule RS.

3.4. Bascule RSH

Dans les schémas précédents, seuls les changements des entrées R et S opèrent une mobilisation des sorties Q et \bar{Q} . On peut asservir les changements d'état de la bascule à des impulsions extérieures dites de synchronisation ou d'horloge.

a) Schéma (fig. 12)

Les deux fonctions NAND d'entrée sont reliées à l'entrée de l'horloge appelée CP : commande pilotage, ou H : horloge, ou C : clock en anglais, ou CK.

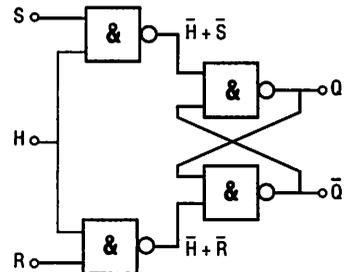


Fig. 12 : Bascule RSH avec entrée de synchronisation.

b) Chronogramme (fig. 13)

Les sorties ne changent d'état qu'à l'apparition d'une impulsion d'horloge et de l'impulsion S ou R.

Le symbole est donné figure 14.

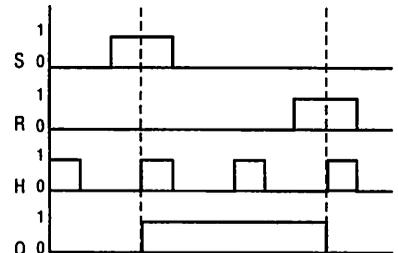


Fig. 13 : Chronogramme d'une bascule RSH.

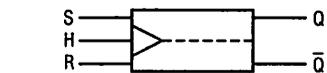


Fig. 14 : Symbole de la bascule RSH.

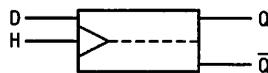


Fig. 15 : Symbole bascule D.

4 Bascule D

C'est une bascule qui possède une seule entrée appelée D ; elle peut être commandée en synchronisme avec une horloge, auquel cas elle possède en plus une entrée H (symbole, fig. 15).

a) Schéma (fig. 16)

Cette bascule D, est analogue à une bascule RS dans laquelle l'entrée R est alimentée par un inverseur, alors que S est alimentée directement.

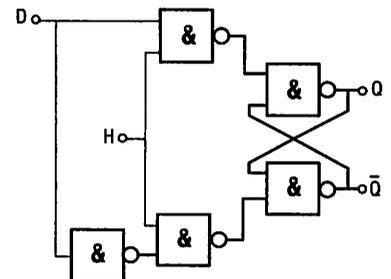


Fig. 16 : Bascule D avec entrée de synchronisation.

b) Fonctionnement

Lorsque l'entrée H = 0, la bascule conserve son état, quelle que soit la valeur 0 ou 1 sur l'entrée D. Lorsque l'entrée H = 1, la sortie change d'état à chaque passage de l'état 0 à l'état 1 (front montant de l'impulsion).

Le chronogramme (fig. 17) représente le fonctionnement.

Remarque : Le fait d'alimenter la bascule par des valeurs complémentaires élimine le cas indéterminé où S et R étaient égaux à 1.

La table de vérité de la bascule D est très simplifiée (fig. 18).

entrée →	T_n D	$T_{(n+1)}$ Q	impulsions horloge → sorties \bar{Q}
	0	0	1
	1	1	0

Fig. 18 : Table de vérité de la bascule D.

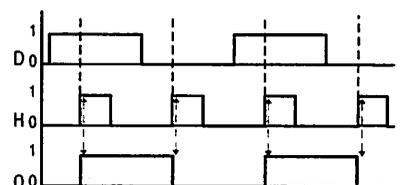


Fig. 17 : Chronogramme d'une bascule D.

L'essentiel

■ Dans tout système de production automatique, on rencontre la fonction traiter les données. Les fonctions logiques permettent d'assurer cette fonction.

– Les fonctions OUI, NON permettent d'assurer l'égalité ou la négation.

– Les fonctions OU, ET assurent l'union (OU), l'intersection (ET).

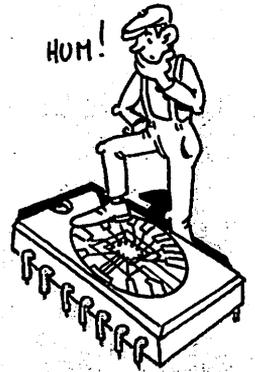
– Les fonctions OU-NON (NI) et ET-NON représentent l'association des quatre fonctions précédentes.

■ Les fonctions logiques sont réalisées à l'aide de circuits intégrés dont on distingue deux familles :

– les circuits intégrés TTL (Transistor Transistor Logique) ;

– les circuits C MOS (Transistors MOS). Ces circuits existent en boîtier à partir de 14 broches.

■ La fonction mémoire d'une information 0 ou 1 est assurée par des bascules : la bascule RS est l'image d'un dispositif à auto-alimentation. La bascule D ne comporte qu'une seule entrée, son image serait le télérupteur. Enfin ces bascules peuvent être synchronisées avec des impulsions d'horloge, afin de réaliser un fonctionnement synchrone de l'automatisme.



VRAI OU FAUX ?

EXERCICES

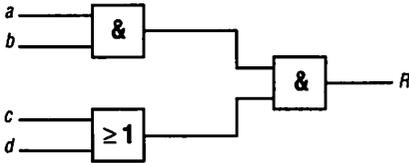
Parmi les affirmations suivantes, indiquez celles qui sont vraies.

1. Une fonction logique peut avoir plusieurs variables d'entrée.
2. Une fonction logique possède plusieurs sorties.
3. Une fonction NON inverse la sortie par rapport à l'entrée.
4. La fonction OU est aussi appelée fonction intersection.
5. La fonction OU possède un seul zéro quand toutes les variables sont à 0.
6. La fonction ET est aussi appelée fonction union.
7. La fonction ET possède un seul 1 quand toutes les variables sont à 1.
8. Une fonction NAND est l'inverse d'une fonction OU.
9. La fonction NAND possède un seul zéro quand toutes les variables sont à 1.
10. Les fonctions logiques sont réalisées à partir des circuits intégrés numériques.
11. Les circuits intégrés logiques de la série 4 000 sont réalisés en CMOS.
12. Les circuits de la série 74 sont alimentés sous 24 V.
13. Une bascule RS est analogue à une fonction mémoire.
14. L'entrée RESET d'une bascule RS permet de mettre la sortie Q de la bascule à 1.
15. La mise à 1 des deux entrées d'une bascule RS provoque la mise à 0 des deux sorties.
16. Une bascule RSH et une bascule qui donne l'heure.
17. Le changement d'état d'une bascule RSH, s'effectue à l'apparition de l'impulsion de pilotage.
18. Une bascule D ne possède qu'une seule entrée de commande.
19. La bascule D change d'état, lorsque l'entrée H est à 1.
20. Lorsque l'entrée H = 0, les sorties de la bascule D se mettent à 0.

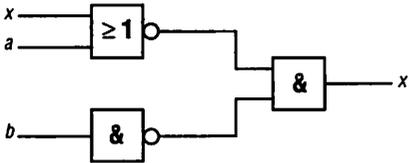
RÉSOLUS

1. Représentez la fonction logique suivante sous forme de logigramme : $R = a \cdot b \cdot (c + d)$.

Solution :



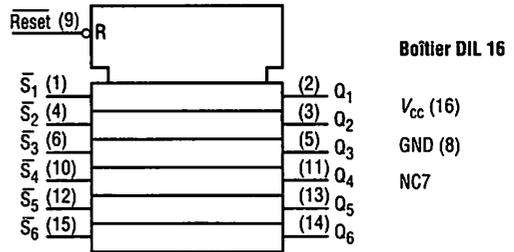
2. D'après le logigramme ci-dessous, retrouvez l'équation logique du circuit.



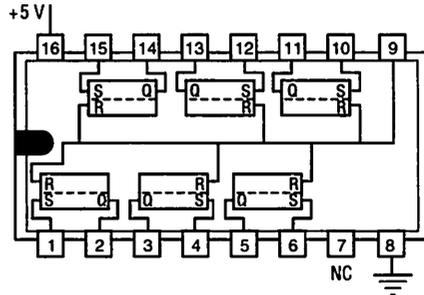
Solution : $(x + a) \cdot \bar{b} = X$.

3. On a relevé le schéma suivant sur un document de constructeur. Représentez le brochage du circuit intégré correspondant.

Sextuple bascule $\bar{R}\bar{S}$, R commune, 74 LS 118



Solution : Il s'agit d'un circuit comportant 6 bascules RS, avec la borne RESET commune aux 6 bascules.

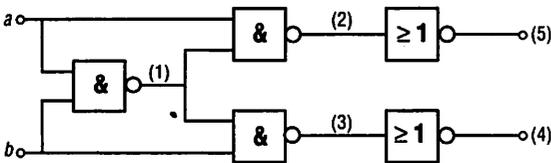


À RÉSOUDRE

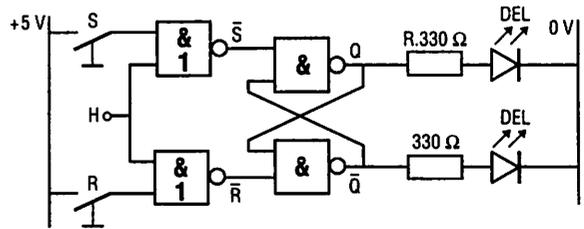
1. Traduisez l'équation logique suivante en logigramme : $X = (a \cdot \bar{b} \cdot c) + (a \cdot b \cdot \bar{c})$.

2. Traduisez l'équation logique suivante en logigramme en utilisant des fonctions logiques ET, OU, puis en utilisant des fonctions logiques NAND : $L = (a \cdot b) + (c \cdot d)$.

3. Traduisez en équations le schéma logique ci-dessous pour chaque repère de (1) à (5).

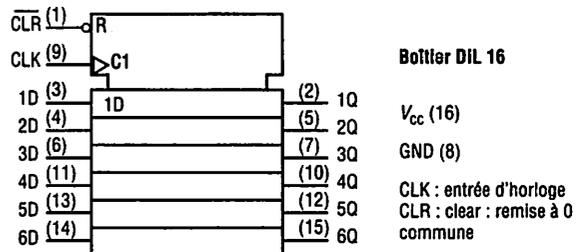


4. D'après le schéma ci-après d'une bascule RSH, avec des diodes électroluminescentes sur les sorties, réalisez le schéma de câblage en utilisant un circuit type 7400. Si vous disposez de matériel, relevez le chronogramme de fonctionnement. On pourra simuler les impulsions d'horloge en envoyant des impulsions avec un interrupteur.



5. Étant donné le schéma symbolique du circuit intégré 74174, composez de 6 bascules D, effectuez le schéma interne de ce circuit.

Sextuple bascule D avec R commune



Symboles des opérateurs logiques binaires

1. Définitions

- **Variable binaire** : c'est une grandeur physique qui ne peut prendre que deux valeurs. Ces valeurs sont comprises dans des tolérances données.
- **Opérateur binaire** : c'est un opérateur dont les variables d'entrées et de sorties sont liées entre elles par des fonctions définies.

- Compteurs-registres

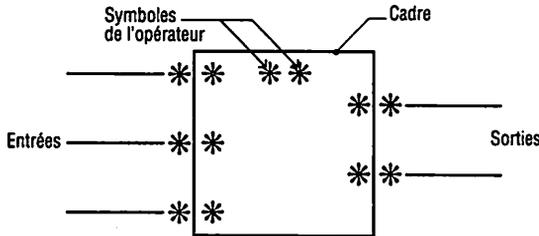
- CTR** : compteur
- REG** : registre
- CTR-DIV** : compteur-décompteur

- Mémoires

- EPROM** : mémoire effaçable et reprogrammable à lecture seule
- PROM** : mémoire programmable à lecture seule
- RAM** : mémoire vive à accès aléatoire
- ROM** : mémoire morte à lecture seule

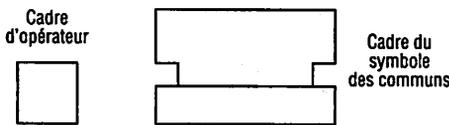
2. Composition d'un symbole

Un symbole comprend un cadre complété par des signes distinctifs.

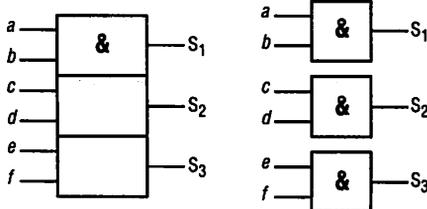


La taille du symbole doit être appropriée aux indications qu'il contient, aucun rapport longueur-largeur n'est imposé.

Différents cadres possibles :



Un circuit possédant des éléments simples identiques sera représenté comme ci-dessous avec un seul symbole de qualification.



Désignation d'opérateurs :

- Bascules

- D** : bascule de type D
- RS** : bascule de type RS
- JK** : bascule de type JK

Symboles distinctifs des opérateurs

Symboles	Désignation
≥ 1	OU logique
= 1	OU exclusif (1 et 1 seulement)
=	Identité logique : la sortie est à 1 si toutes les entrées sont dans le même état logique
1	OUI : l'opérateur NON utilise ce symbole avec le symbole de la négation en sortie
&	Symbole ET (intersection)
	Symbole de puissance
	Symbole « effet de seuil »
	Monostable
	Astable

Symboles pour les entrées et sorties

Symboles	Désignation
	Négation logique à l'entrée L'état interne 1 correspond à l'état externe 0
	Négation logique à la sortie L'état interne 0 correspond à l'état externe 1
	Entrée dynamique : l'état interne 1 apparaît pendant le passage de 0 à 1 de l'entrée Dans tous les autres cas, l'état interne est 0
	Entrée dynamique avec négation logique : l'état interne 1 apparaît pendant le passage de 1 à 0 sur l'entrée Dans tous les autres cas, l'état interne est 0

Symboles des opérateurs logiques binaires

Symboles pour les entrées et sorties

Quand une entrée aboutissant au symbole commun influence plusieurs opérateurs du circuit, des notations de dépendance seront utilisées.

Symboles intérieurs aux cadres

Symboles	Désignation
	Symbole d'effet différé sur une sortie
	Sortie fournissant un courant supérieur à celui des autres sorties
	Sortie à circuit ouvert
	Sortie à circuit ouvert du type H, par exemple PNP à collecteur ouvert
	Sortie à circuit ouvert du type L, par exemple NPN à collecteur ouvert

Lettres désignant une entrée ou une sortie :

- E :** entrée d'expansion, ou sortie d'un expanseur
- EN :** entrée de validation. Cette entrée est à effet prépondérant dans le cas de fonction ET
- D :** entrée d'une bascule D, l'état logique de cette entrée est mis en mémoire par l'opérateur
- J, K :** entrée d'une bascule JK
- R :** entrée R d'une bascule. Quand cette entrée prend l'état interne 1, un 0 est mémorisé par l'opérateur. Quand elle est à l'état 0, elle n'a aucun effet
- D :** entrée S ; quand cette entrée prend l'état interne 1, un 1 est mémorisé par l'opérateur. À l'état 0, elle n'a aucun effet
- T :** entrée T d'une bascule ; chaque fois qu'elle passe à 1, elle provoque le changement d'état de la bascule.

- m :** entrée de décalage d'un registre à droite
- ← m :** entrée de décalage d'un registre à gauche
- + m :** entrée de comptage
- m :** entrée de décomptage
- > :** entrée ou sortie « plus grand que » d'un comparateur
- < :** entrée ou sortie « plus petit que » d'un comparateur
- = :** entrée ou sortie d'égalité
- CI :** entrée d'une retenue
- CO :** sortie d'une retenue

Notation de dépendance :

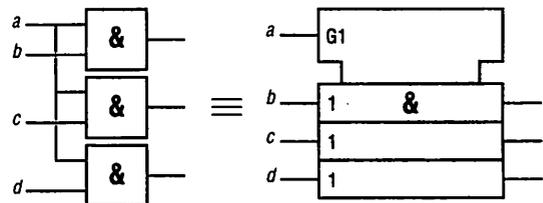
La notation de dépendance symbolise les relations entre accès, entrées et sorties, sans avoir à figurer le détail des sorties.

Cette notation est réservée aux opérateurs logiques complexes, on peut la rencontrer sur certains schémas, chaque lettre a une signification particulière.

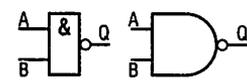
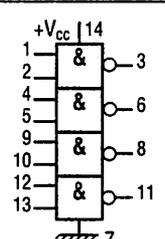
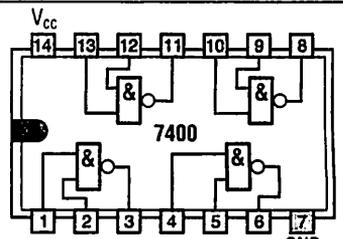
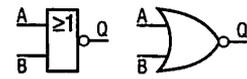
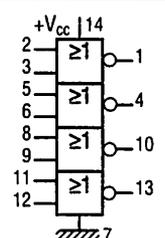
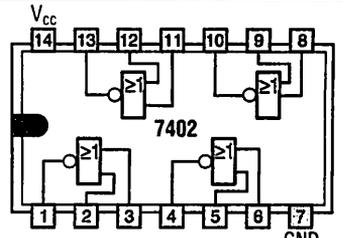
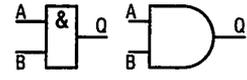
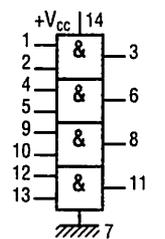
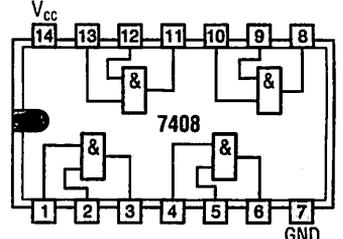
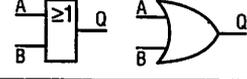
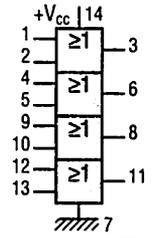
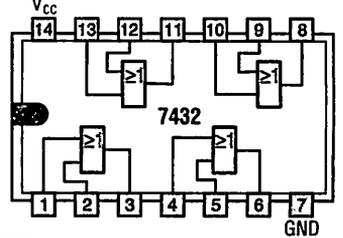
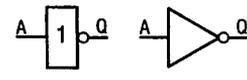
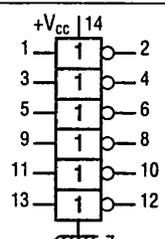
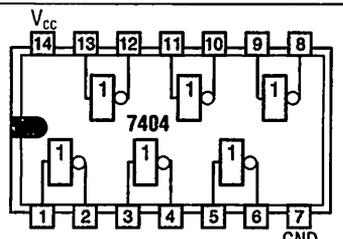
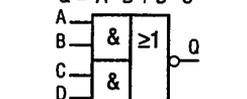
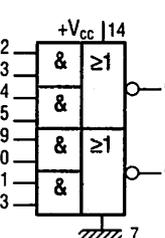
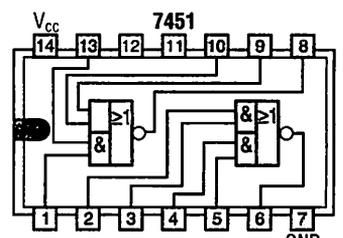
- Gm :** dépendance de type ET
- Vm :** dépendance de type OU
- N :** dépendance de négation
- Z :** dépendance d'interconnexion
- C :** dépendance de commande
- M :** dépendance de mode
- A :** dépendance d'adresse
- EN :** dépendance de validation

Exemple de dépendance de type G : la dépendance de type G est associée à la relation ET.

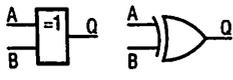
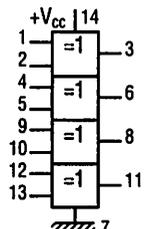
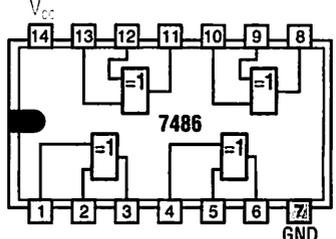
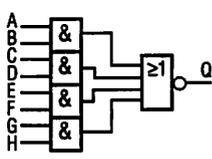
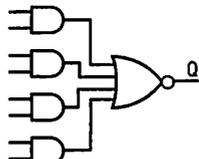
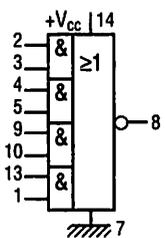
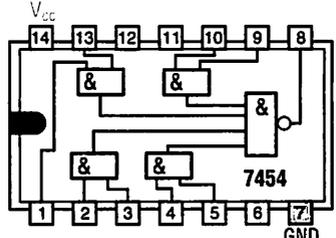
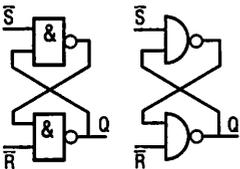
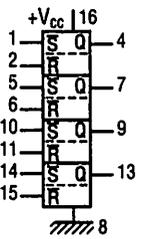
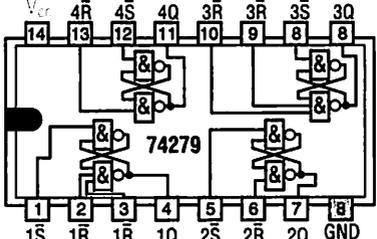
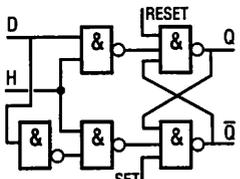
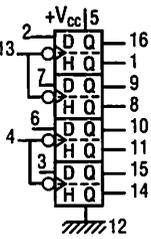
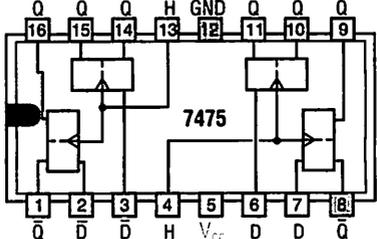
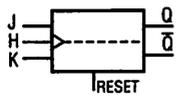
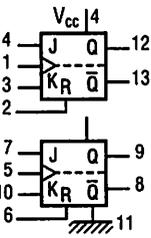
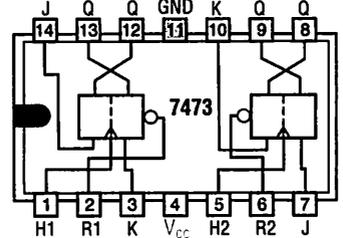
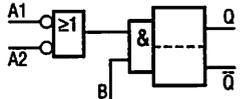
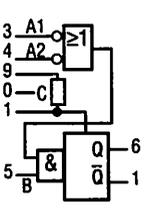
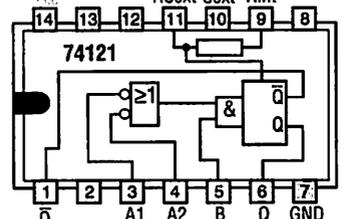
Elle est souvent utilisée pour la validation d'une entrée. Dans le schéma ci-dessous, si l'entrée *a* est à 1, tous les opérateurs *b*, *c*, *d* seront à l'état défini par celui de leurs entrées. Si l'entrée *a* est à 0, elle bloque tous les autres opérateurs.



Opérateurs de logique (TTL)

Désignation	Table de vérité	Symbolisation simplifiée	Brochage																				
<p>7 400</p> <p>4 × 2 ET-NON (NAND)</p> <p>$Q = \overline{A \cdot B}$</p> 	<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr><th>B</th><th>A</th><th>Q</th></tr> <tr><td>L</td><td>L</td><td>H</td></tr> <tr><td>L</td><td>H</td><td>H</td></tr> <tr><td>H</td><td>L</td><td>H</td></tr> <tr><td>H</td><td>H</td><td>L</td></tr> </table>	B	A	Q	L	L	H	L	H	H	H	L	H	H	H	L							
B	A	Q																					
L	L	H																					
L	H	H																					
H	L	H																					
H	H	L																					
<p>7 402</p> <p>OU NON-NI-(NOR)</p> <p>4 portes à 2 entrées</p> <p>$Q = \overline{A + B}$</p> 	<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr><th>B</th><th>A</th><th>Q</th></tr> <tr><td>L</td><td>L</td><td>H</td></tr> <tr><td>L</td><td>H</td><td>L</td></tr> <tr><td>H</td><td>L</td><td>L</td></tr> <tr><td>H</td><td>H</td><td>L</td></tr> </table>	B	A	Q	L	L	H	L	H	L	H	L	L	H	H	L							
B	A	Q																					
L	L	H																					
L	H	L																					
H	L	L																					
H	H	L																					
<p>7 408</p> <p>ET (AND)</p> <p>4 portes ET à 2 entrées</p> <p>$Q = A \cdot B$</p> 	<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr><th>B</th><th>A</th><th>Q</th></tr> <tr><td>L</td><td>L</td><td>L</td></tr> <tr><td>L</td><td>H</td><td>L</td></tr> <tr><td>H</td><td>L</td><td>L</td></tr> <tr><td>H</td><td>H</td><td>H</td></tr> </table>	B	A	Q	L	L	L	L	H	L	H	L	L	H	H	H							
B	A	Q																					
L	L	L																					
L	H	L																					
H	L	L																					
H	H	H																					
<p>7 432</p> <p>OU (OR)</p> <p>4 portes OU à 2 entrées</p> <p>$Q = A + B$</p> 	<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr><th>B</th><th>A</th><th>Q</th></tr> <tr><td>L</td><td>L</td><td>L</td></tr> <tr><td>L</td><td>H</td><td>H</td></tr> <tr><td>H</td><td>L</td><td>H</td></tr> <tr><td>H</td><td>H</td><td>H</td></tr> </table>	B	A	Q	L	L	L	L	H	H	H	L	H	H	H	H							
B	A	Q																					
L	L	L																					
L	H	H																					
H	L	H																					
H	H	H																					
<p>7 404</p> <p>INVERSEUR</p> <p>6 inverseurs</p> <p>$Q = \overline{A}$</p> 	<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr><th>A</th><th>Q</th></tr> <tr><td>L</td><td>H</td></tr> <tr><td>H</td><td>L</td></tr> </table>	A	Q	L	H	H	L																
A	Q																						
L	H																						
H	L																						
<p>7 451</p> <p>ET-OU-NON</p> <p>2 portes ET-OU-NON</p> <p>$Q = \overline{A \cdot B + B \cdot C}$</p> 	<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr><th>A · B</th><th>C · D</th><th>(A · B) + (C · D)</th><th>Q</th></tr> <tr><td>L</td><td>L</td><td>L</td><td>H</td></tr> <tr><td>L</td><td>H</td><td>H</td><td>L</td></tr> <tr><td>H</td><td>L</td><td>H</td><td>L</td></tr> <tr><td>H</td><td>H</td><td>H</td><td>L</td></tr> </table>	A · B	C · D	(A · B) + (C · D)	Q	L	L	L	H	L	H	H	L	H	L	H	L	H	H	H	L		
A · B	C · D	(A · B) + (C · D)	Q																				
L	L	L	H																				
L	H	H	L																				
H	L	H	L																				
H	H	H	L																				

Opérateurs logiques et bascules (TTL)

Désignation	Table de vérité	Symbolisation simplifiée	Brochage																								
7 486 4 OU exclusif 	<table border="1"> <tr><th>B</th><th>A</th><th>Q</th></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr> </table>	B	A	Q	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	0											
B	A	Q																									
0	0	0																									
0	1	1																									
1	0	1																									
1	1	0																									
7 454 ET-OU-NON $Q = A \cdot B + C \cdot D + D \cdot E + F \cdot C$ 																											
74 279 4 Bascules RS 	<table border="1"> <tr><th>S</th><th>R</th><th>Q</th><th>Q̄</th></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr> </table>	S	R	Q	Q̄	1	1	0	1	0	1	1	0	1	1	1	0	1	0	0	1						
S	R	Q	Q̄																								
1	1	0	1																								
0	1	1	0																								
1	1	1	0																								
1	0	0	1																								
7 475 4 Bascules D Latch 	<table border="1"> <tr><th>t_n</th><th>$t(n+1)$</th></tr> <tr><th>D</th><th>Q</th><th>Q̄</th></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr> </table>	t_n	$t(n+1)$	D	Q	Q̄	0	0	1	1	1	0															
t_n	$t(n+1)$																										
D	Q	Q̄																									
0	0	1																									
1	1	0																									
7 473 2 Bascules JK 	<table border="1"> <tr><th>t_n</th><th>$t(n+1)$</th></tr> <tr><th>J</th><th>K</th><th>Q</th><th>Q̄</th></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>Q_n</td><td>Q̄_n</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>Q̄_n</td><td>Q_n</td></tr> </table>	t_n	$t(n+1)$	J	K	Q	Q̄	0	0	Q _n	Q̄ _n	1	0	0	1	0	1	1	0	1	1	Q̄ _n	Q _n				
t_n	$t(n+1)$																										
J	K	Q	Q̄																								
0	0	Q _n	Q̄ _n																								
1	0	0	1																								
0	1	1	0																								
1	1	Q̄ _n	Q _n																								
74 121 1 monostable 	<p>x = niveau 0 ou 1 / passage de 0 à 1</p> <table border="1"> <tr><th colspan="2">Entrées</th><th colspan="2">Sorties</th></tr> <tr><th>A</th><th>B</th><th>Q</th><th>Q̄</th></tr> <tr><td>1</td><td>x</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>x</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>0</td><td>/</td><td>/</td><td>/</td></tr> <tr><td>/</td><td>1</td><td>/</td><td>/</td></tr> </table> <p>/ passage de 1 à 0</p>	Entrées		Sorties		A	B	Q	Q̄	1	x	0	1	x	0	0	1	0	/	/	/	/	1	/	/		
Entrées		Sorties																									
A	B	Q	Q̄																								
1	x	0	1																								
x	0	0	1																								
0	/	/	/																								
/	1	/	/																								

18

Bascules JK Compteurs

Les bascules sont les éléments de base de la logique séquentielle et plus particulièrement du comptage. Les bascules RS et D ont été étudiées dans le chapitre précédent, mais la bascule JK est la forme la plus évoluée des bascules, son rôle est essentiel en comptage.

1 Bascule maître-esclave

Pour éviter les aléas de fonctionnement quand plusieurs bascules changent d'état simultanément, on a développé la structure maître-esclave.

1.1. Principe maître-esclave

On utilise deux bascules RSH soit en série, soit l'une derrière l'autre et dont les entrées d'horloge sont complémentaires (fig. 1).

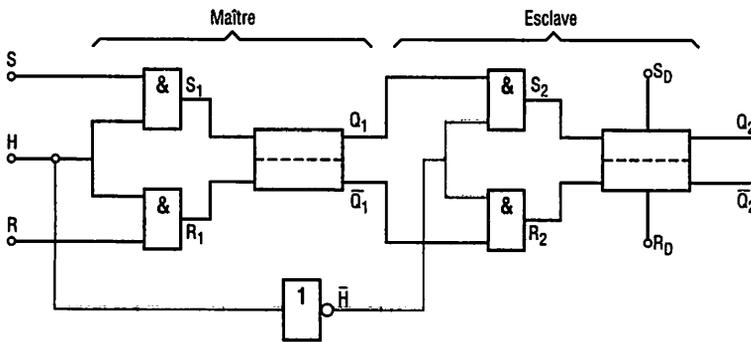


Fig. 1 : Schéma d'une bascule RSH maître-esclave.

1.2. Fonctionnement (fig. 2)

- La bascule maître fonctionne dès que le signal d'horloge passe à 1 (front montant). Pendant ce temps la bascule esclave est bloquée (signal d'horloge à 0).
- Lorsque le signal d'horloge passe à 0 sur la bascule maître, il passe à 1 sur la bascule esclave et elle enregistre l'état de la bascule maître.

Conclusion :

La bascule maître enregistre l'état des entrées au front montant, et elle change les sorties Q et \bar{Q} , dès le front descendant (symbole fig. 3).

1.3. Bascule JK (fig. 4)

a) Schéma de principe (fig. 5)

C'est une bascule RS maître-esclave avec une rétroaction croisée entre les sorties et les entrées.

b) Fonctionnement (fig. 6)

La table de vérité de la bascule JK indique quatre possibilités de fonctionnement, selon les valeurs 0 ou 1 sur les entrées J et K.

OBJECTIFS

Dans le domaine de l'électronique numérique et plus particulièrement pour les bascules et le comptage, il faut être capable :

- de décoder les symboles ;
- d'exprimer la fonction satisfaite ;
- d'associer plusieurs opérateurs pour satisfaire une fonction globale imposée ;
- de contrôler la validité de l'association.

SAVOIR TECHNOLOGIQUE

S 5.1

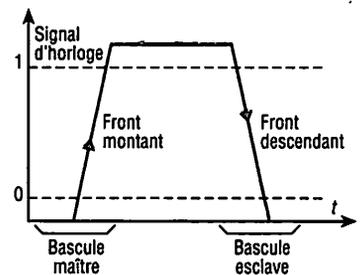


Fig. 2 : Fonctionnement de la bascule maître et esclave.

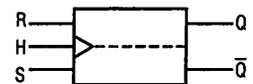


Fig. 3 : Symbole d'une bascule RSH.

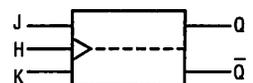


Fig. 4 : Symbole d'une bascule JK.

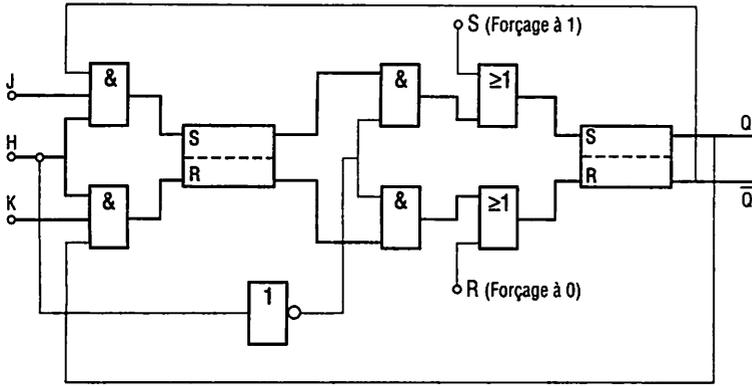


Fig. 5 : Schéma de principe d'une bascule JK.

H	J	K	Q_{t-1}	Q_t
0	0	0	0	0
0	0	0	1	1
0	0	1	0	0
0	0	1	1	0
0	1	0	0	1
0	1	0	1	1
0	1	1	0	1
0	1	1	1	0

La sortie Q :

- ne change pas d'état lorsque $J = 0$ et $K = 0$
- prend la valeur 0 lorsque $J = 0$ et $K = 1$
- prend la valeur 1 lorsque $J = 1$ et $K = 0$
- change d'état après chaque top d'horloge lorsque $J = 1$ et $K = 1$

Fig. 6 : Table de vérité de la bascule JK.

c) Conclusion

La bascule JK maître-esclave est une bascule qui change d'état après chaque top d'horloge, si les entrées J et K sont à 1. Si seule l'entrée J = 1, elle positionne la sortie Q à 1, si seule l'entrée K = 1, elle positionne la sortie Q à 0, et cela toujours après un top d'horloge.

La bascule JK fonctionne en diviseur par deux pour $J = K = 1$ (fig. 7) car la sortie Q change d'état pour deux changements d'état du signal d'horloge.

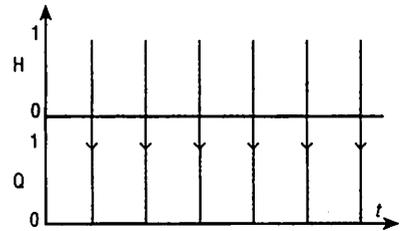


Fig. 7 : Pour $J = K = 1$, la bascule JK est un diviseur par deux.

2) Comptage binaire

2.1. Principe

Si l'on place deux bascules montées en cascade, chaque bascule effectuant une division par deux, on aura une division par quatre, et avec trois bascules une division par huit ($2^3 = 8$).

2.2. Schéma (fig. 8)

On utilise trois bascules JK dont les entrées J et K sont reliées au 1, des impulsions sont envoyées sur la première entrée H.

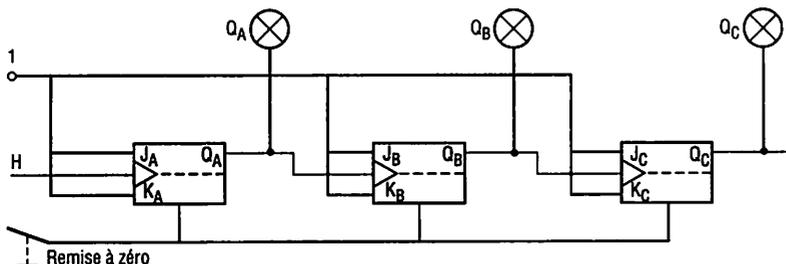


Fig. 8 : Schéma d'un compteur binaire à 3 bascules.

2.3. Table de vérité et chronogramme (fig. 9 et 10)

Ils représentent les huit états d'un compteur à base 8 (octal). On obtient la représentation par Q_A , Q_B , Q_C des huit valeurs binaires.

Pour pouvoir remettre à 0 toutes les bascules du compteur, on utilise l'entrée R (Reset) qui permet de forcer à 0 toutes les sorties Q.

Les voyants logiques Q_A , Q_B , Q_C permettent de visualiser l'état des sorties des bascules. Ces voyants sont constitués d'une diode électroluminescente en série avec une résistance de 330Ω .

H	Q_C	Q_B	Q_A
0	0	0	0
1	0	0	1
2	0	1	0
3	0	1	1
4	1	0	0
5	1	0	1
6	1	1	0
7	1	1	1
0	0	0	0

Fig. 9 : Table de vérité d'un compteur binaire.

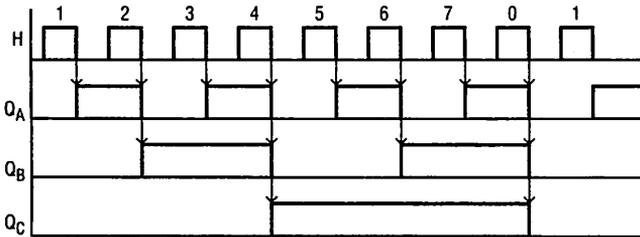


Fig. 10 : Chronogramme d'un compteur à 3 bascules.

2.4. Décompteur binaire asynchrone

On transforme facilement un compteur en décompteur en inversant les signaux appliqués sur les entrées, c'est-à-dire en reliant les sorties \bar{Q} au lieu des sorties Q aux entrées (fig. 11).

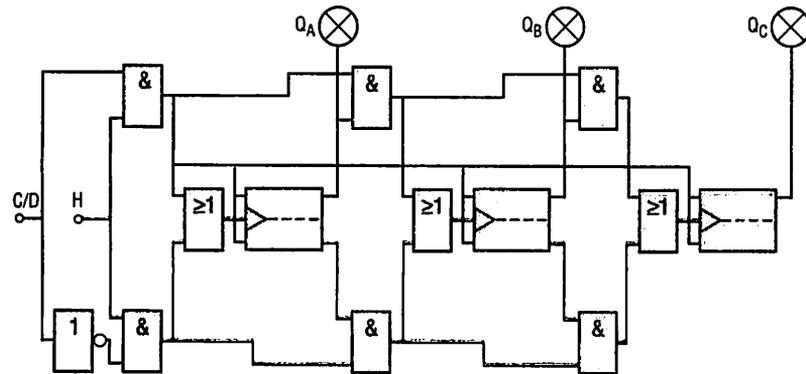
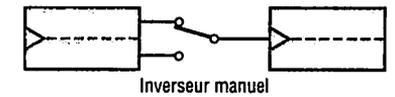


Fig. 11 : Schéma d'un compteur-décompteur binaire asynchrone.

Explication de l'inversion (fig. 12) :

La liaison entre les sorties Q et l'entrée H de la bascule suivante s'effectue par deux portes ET et une porte OU. Un signal de comptage ou de décomptage permet de passer d'un mode de fonctionnement à l'autre. En appliquant sur l'entrée C/D (fig. 11) un « 1 », on est en comptage, en appliquant un « 0 » sur cette même entrée, on est en décomptage (circuit en rouge).



Inverseur manuel

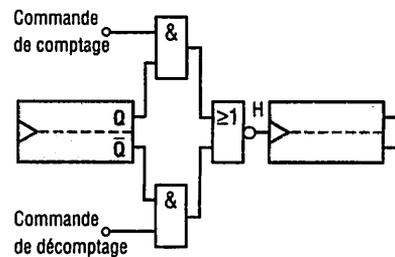


Fig. 12 : Commande d'inversion avec des fonctions logiques.

3 Comptage binaire synchrone

Dans le comptage binaire asynchrone, le basculement de chaque étage est commandé par le retour à 0 de l'étage précédent, ce qui introduit un retard dans ce basculement.

3.1. Principe (fig. 13)

Un compteur est synchrone quand le basculement des différents étages s'effectue au même moment, en synchronisme avec les tops d'horloge.

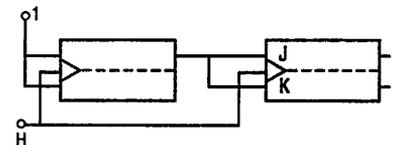


Fig. 13 : Principe du comptage synchrone.

Le même signal d'horloge commande toutes les bascules selon le pré-positionnement par les entrées J et K. Elles changent d'état ou non, mais toujours en synchronisme avec les tops d'horloge (fig. 14).

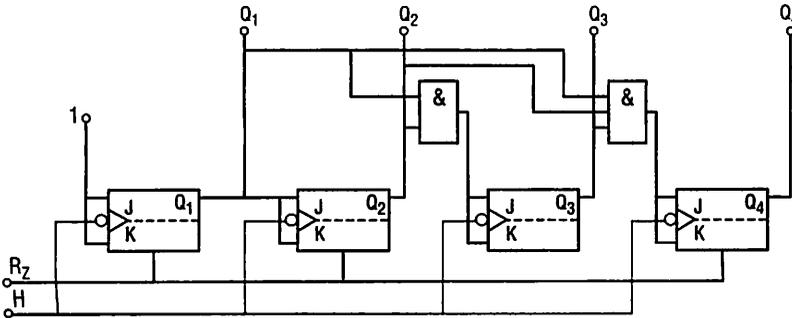


Fig. 14 : Schéma d'un compteur binaire synchrone.

3.2. Fonctionnement

- Après avoir remis à zéro toutes les bascules par envoi d'une impulsion sur R_Z , les sorties Q_1 et Q_2 sont à 0 ainsi que les entrées J_2 et K_2 .
- La première impulsion fait basculer la première bascule Q_1 qui passe à 1, ce qui entraîne J_2 et K_2 à 1. À la deuxième impulsion, la deuxième bascule va changer d'état en même temps que la première puisque J_2 et K_2 sont à 1.
- En définitive, une bascule est sensible au signal d'horloge, quand la bascule qui la précède à sa sortie Q est à l'état 1.

3.3. Chronogramme (fig. 15)

C'est l'impulsion d'horloge sur chaque bascule qui provoque son basculement. Pour réaliser la condition de prédétermination à 1 d'une bascule, il faut que toutes les bascules qui la précèdent soient à 1. On utilise une fonction ET à 2 ou 3 entrées pour que cette condition soit remplie.

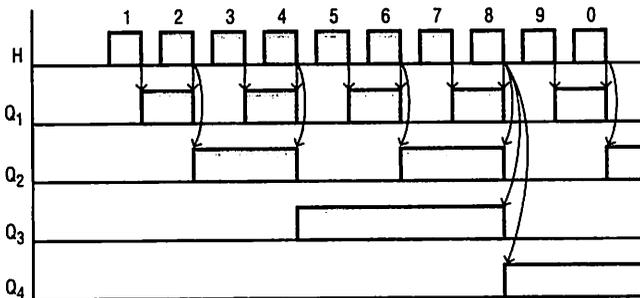


Fig. 15 : Chronogramme d'un compteur synchrone.

	États	Q_4	Q_3	Q_2	Q_1
États utilisés	0	0	0	0	0
	1	0	0	0	1
	2	0	0	1	0
	3	0	0	1	1
	4	0	1	0	0
	5	0	1	0	1
	6	0	1	1	0
	7	0	1	1	1
	8	1	0	0	0
	9	1	0	0	1
États non utilisés	10	1	0	1	0
	11	1	0	1	1
	12	1	1	0	0
	13	1	1	0	1
	14	1	1	1	0
	15	1	1	1	1
	16	0	0	0	0

Fig. 16 : Code DCB (Décimal Codé Binaire) ou Code binaire naturel.

4 Comptage décimal

4.1. Principe

Pour compter jusqu'à 10, il faut disposer de quatre bascules qui nous donnent $2^4 = 16$ états différents. Le compteur décimal est un compteur qui ne retient que dix états sur les seize disponibles.

4.2. Code DCB

Le code DCB signifie Décimal Codé Binaire. C'est un code qui utilise les dix premières combinaisons et ensuite repasse à 0 (fig. 16). Il existe de nombreuses autres possibilités de codes qui utilisent 10 combinaisons parmi les 16 possibles, par exemple le code de Gray (fig. 17).

Code décimal	Code de Gray
0	0000
1	0001
2	11
3	10
4	110
5	111
6	101
7	100
8	1100
9	1101

Le passage d'un nombre au nombre suivant nécessite le changement d'un seul bit.

Fig. 17 : Code de Gray ou Code binaire réfléchi.

4.3. Compteur décimal (fig. 18)

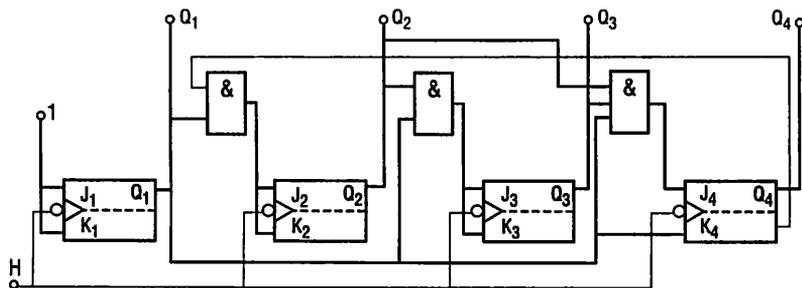


Fig. 18 : Schéma d'un compteur décimal synchrone code DCB.

4.4. Fonctionnement de la décade (fig. 19)

Au passage de l'impulsion 9 à 10 il faut remettre à zéro toutes les bascules, ce qui revient à sauter à la ligne 16 du tableau (fig. 16).

Le comptage fonctionne normalement jusqu'à la huitième impulsion ; en fin de cette huitième impulsion, la liaison $\overline{Q_4}$ interdit le passage à 1 de Q_2 à l'impulsion 9. Ensuite, K_4 étant mis à 1 par Q_1 qui force à 0 la bascule 4, la liaison Q_1-K_4 permet de supprimer les états 10 à 15.

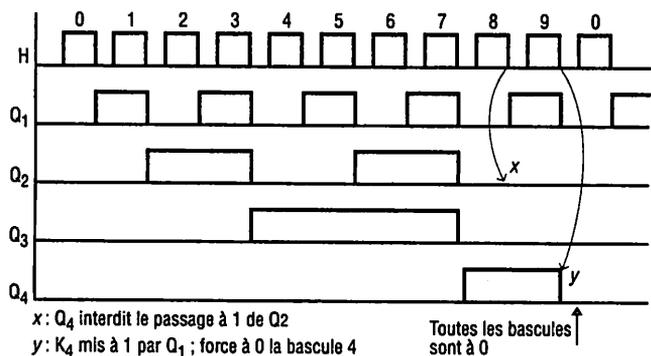


Fig. 19 : Chronogramme de la décade synchrone DCB.

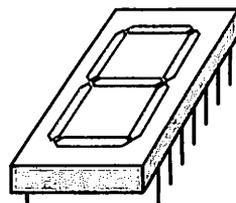


Fig. 20 : Module d'affichage numérique à 7 segments.

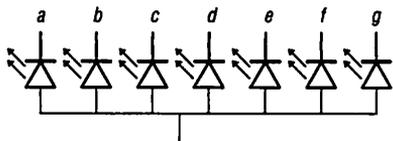


Fig. 21 : Chaque segment est une diode électroluminescente. Montage avec anode commune.

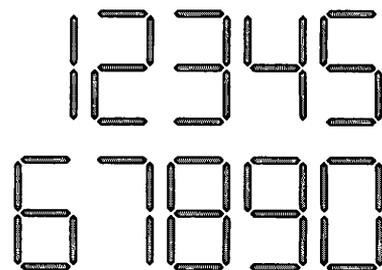


Fig. 22 : Représentation des chiffres de 0 à 9.

5 Visualisation numérique

Pour traduire les valeurs binaires en numérique, on a créé des modules de visualisation numérique ou à sept segments.

5.1. Constitution (fig. 20)

C'est un bloc analogue à un circuit intégré comprenant sur la face supérieure des segments et sur la partie inférieure des broches au pas des circuits intégrés.

Électriquement, ce sont 8 diodes électroluminescentes repérées de « a » à « g », avec éventuellement un point (fig. 21).

5.2. Principe (fig. 22)

Selon le chiffre à représenter, on alimente les diodes correspondantes ; chaque segment est désigné par une lettre (fig. 23).

Entre le compteur qui sort les informations en code DCB et l'afficheur sept segments il faut un décodeur, ou transcodeur qui passe du code DCB au code sept segments (fig. 24).

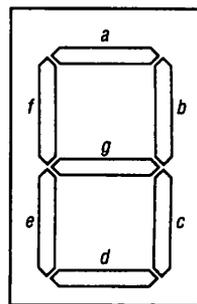


Fig. 23 : Repérage par des lettres de a à g des segments fluorescents.

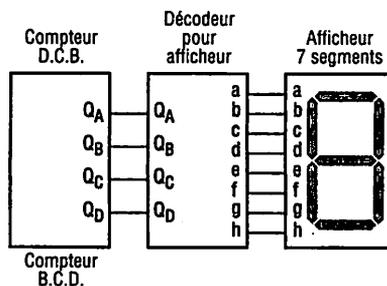


Fig. 24 : Ensemble compteur avec afficheur.

L'essentiel

- Il existe trois types de bascules : les bascules RS (encore appelées verrous), les bascules D, les bascules JK.
 - Une bascule JK maître-esclave peut mettre à 1 ou à 0 des sorties Q et \bar{Q} . Ce changement peut s'effectuer en synchronisme avec l'horloge selon l'état à 0 ou à 1 des entrées J et K. Enfin, cette bascule dispose de deux entrées R et S permettant de forcer les sorties à 1 ou à 0.
 - Le comptage binaire asynchrone s'effectue avec des bascules montées en cascade, chaque bascule effectuant une division par deux. Avec quatre bascules, on a $2^4 = 16$ états différents.
 - On préfère le comptage synchrone, dans lequel toutes les bascules reçoivent les impulsions d'horloge en même temps, ce qui permet d'avoir un changement d'état simultané des bascules.
- Le comptage décimal s'effectue avec quatre bascules ; on ne retient que dix états sur les seize disponibles. Selon le code retenu, on peut en DCB (décimal codé binaire) sauter de la valeur 9 à la valeur 16.
- La visualisation des états d'un compteur peut s'effectuer en binaire avec des diodes, mais elle est difficilement lisible, on préfère la visualisation en numérique avec des circuits à sept segments.



VRAI OU FAUX ?

Parmi les affirmations suivantes, indiquez celles qui sont vraies.

1. Lorsque deux bascules sont placées l'une derrière l'autre, il s'agit d'un montage maître-esclave.
2. Le fonctionnement des bascules s'effectue toujours en l'absence de top d'horloge.
3. On appelle front montant d'une impulsion le passage de la valeur 1 à la valeur 0.
4. La bascule JK est une bascule maître-esclave.
5. L'entrée J = 0 permet de positionner la sortie de la bascule à Q = 0.
6. L'entrée de la bascule K = 1 permet de positionner la sortie de cette bascule à Q = 1.
7. Une bascule permet de multiplier par deux les tops d'horloge.
8. En montant des bascules les unes à la suite des autres, on réalise un compteur.
9. Avec trois bascules placées les unes à la suite des autres, on peut différencier 16 états différents.
10. L'entrée RESET d'un compteur permet de remettre toutes les bascules à zéro.
11. Un compteur est dit synchrone, quand le basculement des différents étages s'effectue au même moment.
12. Le synchronisme d'un compteur est effectué par les tops d'horloge.
13. Pour compter jusqu'à 10, il faut disposer d'au moins trois bascules.
14. Les trois lettres DCB signifient : Décodeur Comptage Bascule.
15. Le code de Gray est un code binaire réfléchi.
16. Avec un afficheur sept segments, on représente les chiffres de 0 à 9.
17. Une décade est un ensemble de quatre bascules qui permet de compter de 0 à 9.
18. Avec un ensemble de quatre bascules, on peut compter de 0 à 15.
19. Un compteur décimal ne possède que quatre sorties.
20. Les sept segments d'un afficheur sont repérés de t à z.

RÉSOLUS

1. Une diode LED doit être alimentée sous 15 V courant continu. On admet qu'elle consomme 12 mA. Quelle est la valeur de la résistance à monter en série ? Quelle sera la puissance dissipée dans cette résistance ?

Solution :

La chute de tension dans la résistance sera de :

$$15 - 1,6 = 13,4 \text{ V.}$$

La valeur de la résistance sera de :

$$R = U/I = 13,4/0,012 = 1\ 117 \ \Omega.$$

On choisira une résistance de 1 100 Ω .

La puissance dissipée dans la résistance sera de :

$$P = U \times I = 13,4 \times 0,012 = 0,16 \text{ W.}$$

2. En partant de la table de vérité du décodeur sept segments (p. 182), indiquez la forme de l'affichage pour les nombres 12 et 13.

Solution :

À la ligne 12 du tableau, on relève les valeurs : $b = 1$, $f = 1$, $g = 1$. Pour la ligne 13 : $a = 1$, $d = 1$, $f = 1$, $g = 1$.

On obtient la disposition ci-dessous :

$$\text{ligne 12 : } f \begin{array}{|c|} \hline _ \\ \hline \end{array} b \quad \text{ligne 13 : } f \begin{array}{|c|} \hline a \\ \hline _ \\ \hline \end{array} g \\ \hline d$$

3. Étant donné le principe de fonctionnement du compteur binaire synchrone et son schéma (fig. 14), analysez le fonctionnement du passage de l'impulsion 8 à 9 sur le chronogramme (fig. 15).

Solution :

Durant l'impulsion 8, les sorties Q_1 , Q_2 et Q_3 sont à 1. En fin d'impulsion 8, les sorties Q_1 , Q_2 et Q_3 passent à 0, et la sortie Q_4 passe à 1.

À RÉSOUDRE

1. Une diode électroluminescente doit être alimentée sous 4,5 V et parcourue par un courant de 20 mA. Quelle est la valeur de résistance à monter en série ?

2. Recherchez la forme de l'affichage obtenu avec un décodeur sept segments pour les nombres 10 et 11.

3. Indiquez sur un tableau quelles sont les valeurs des sorties à 1 des segments a , b , c ,... g , pour obtenir les affichages suivants : b et d .

4. En reprenant le schéma du compteur binaire avec 3 bascules (fig. 8, p. 175) et à l'aide de la documentation sur les opérateurs logiques (p. 173), représentez le schéma de branchement de deux circuits intégrés 7473 (2 JK par boîtier) pour obtenir ce compteur binaire.

5. Étant donné le symbole logique du compteur décimal 74290 page 181 (1d), établissez le schéma de brochage de ce compteur.

6. En observant le schéma d'application du compteur décimal avec affichage sept segments de la page 182, pouvez-vous indiquer ce qui se passe si :

- a) on débranche les bornes 2 et 3 ;
- b) on débranche les bornes 6 et 7.

7. Quelle différence faites-vous entre les impulsions d'horloge de la figure 15 et celles de la figure 19 ?

8. Comparez les valeurs du code DCB de la figure 16 page 177, avec les valeurs de la table de vérité du décodeur sept segments, pour les entrées des lignes : 10, 11, 12, 13, 14, 15.

9. Pour utiliser toutes les possibilités d'un compteur binaire à 4 bascules, soit 16 positions, de 0 à 15, on associe les chiffres 10 à 15 aux lettres a , b , c , d , e , f .

A B C D E F

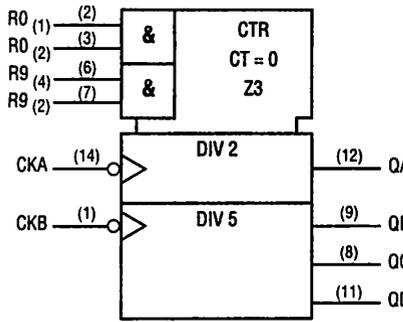
Représentez pour chacune de ces lettres les valeurs des sorties (a , b ,... g), pour un afficheur sept segments (table de vérité du décodeur sept segments de 10 à 15).

10. Dans quel cas une bascule J K change-t-elle d'état après chaque top d'horloge ?

Fonctions numériques

1. Compteur décimal

Les compteurs 7490 (base 10) 7492 (base 12) et 7493 (base 16), on dit aussi modulo 10, modulo 12 ou modulo 16, sont des compteurs synchrones composés de quatre bascules dont les connexions internes varient selon le type de compteur. Chacun comporte une bascule A séparée des trois autres B, C, D. On a donc deux entrées, une entrée A et une entrée B.



a) Caractéristiques électriques

- Tension d'alimentation : $V_{cc} = 5 V$,
- courant d'utilisation : I_{cc} de 9 à 15 mA,
- fréquence limite : 16 MHz,
- température d'utilisation : 0 à 70 °C.

Table de vérité

États	Q_D	Q_C	Q_B	Q_A
0	L	L	L	L
1	L	L	L	H
2	L	L	H	L
3	L	L	H	H
4	L	H	L	L
5	L	H	L	H
6	L	H	H	L
7	L	H	H	H
8	H	L	L	L
9	H	L	L	H

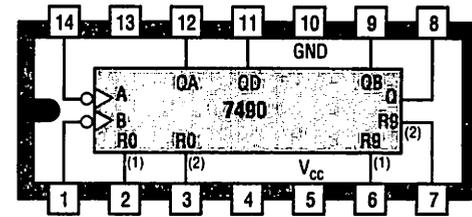
L = niveau bas (0)
H = niveau haut (1)

b) Branchement

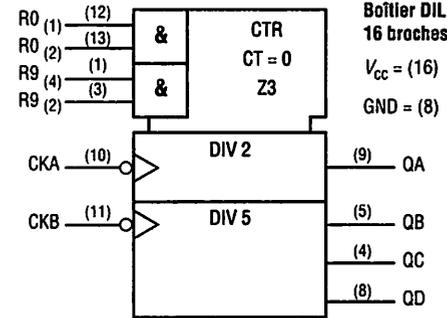
Pour obtenir le cycle de comptage maximal (base 10), l'entrée B doit être reliée à la sortie QA. Les impulsions de comptage sont appliquées à l'entrée A.

Ce compteur comporte des entrées de mise à zéro R0(1) et R0(2) et de mise à 9 R9(1) R9(2), ces entrées sont appelées aussi restauration à 0 ou à 9.

c) Brochage d'un compteur 7490



d) Symbole du compteur décimal 74290

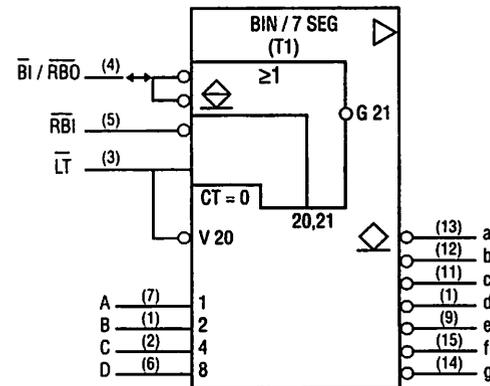


2. Décodeur DCB en 7 segments 7447

Ce décodeur permet une commande directe d'afficheur LED avec une tension maxi de 14 V et un courant maxi de 24 mA.

Ce décodeur possède de plus :

- une entrée test de lampes (LT),
- la suppression des zéros décimaux,
- la commande de variations d'éclaircement qui peut s'effectuer par l'entrée BI.



a) Caractéristiques électriques

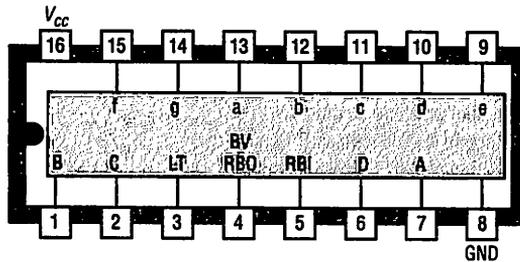
- Tension d'alimentation de 4,75 à 5,25 V.
 - Courant d'utilisation I_{cc} de 7 à 13 mA.
 - Température d'utilisation de 0 à 70 °C.
- Sortie à collecteur ouvert courant maxi 40 mA.

Table de vérité du décodeur sept segments

Nombre	Entrées				Sorties						
	D	C	B	A	a	b	c	d	e	f	g
0	L	L	L	L	1	1	1	1	1	1	0
1	L	L	L	H	0	1	1	0	0	0	0
2	L	L	H	L	1	1	0	1	1	0	1
3	L	L	H	H	1	1	1	1	0	0	1
4	L	H	L	L	0	1	1	0	0	1	1
5	L	H	L	H	1	0	1	1	0	1	1
6	L	H	H	L	0	0	1	1	1	1	1
7	L	H	H	H	1	1	1	0	0	0	0
8	H	L	L	L	1	1	1	1	1	1	1
9	H	L	L	H	1	1	1	0	0	1	1
10	H	L	H	L	0	0	0	1	1	0	1
11	H	L	H	H	0	0	1	1	0	0	1
12	H	H	L	L	0	1	0	0	0	1	1
13	H	H	L	H	1	0	0	1	0	1	1
14	H	H	H	L	0	0	0	1	1	1	1
15	H	H	H	H	0	0	0	0	0	0	0

H, niveau haut ; L, niveau bas.

b) Brochage du décodeur 7447



3. Afficheurs

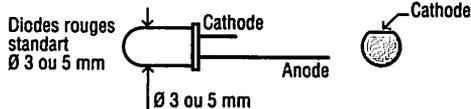
a) Diodes électroluminescentes (DEL)

(Light Emitting Diodes - LED)

Elles existent en trois couleurs : rouge, vert, jaune.

– **Caractéristiques électriques standard** : consommation : 20 mA ; tension : 1,6 V ; tension inverse : $V_r = 10$ V ; temps de réponse : 10 ns.

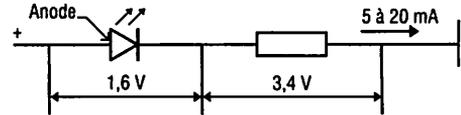
– **Repérage** : plat sur la colerette = cathode. Fil de la cathode plus court que l'anode.



– Montage

Sous 5 V, mettre une résistance en série, ce qui provoque une chute de tension de $5 - 1,6 = 3,4$ V.

Courant dans le circuit de 5 à 20 mA ; on prend : 10 mA d'où $R = U/I = 3,4/0,01 = 340 \Omega$.



b) Afficheurs sept segments

Boîtier de type circuit intégré 14 broches.

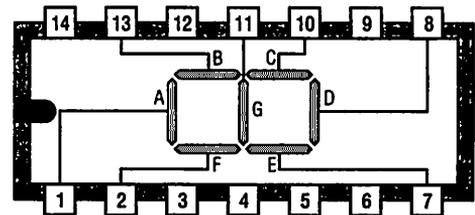
– Couleurs : vert, orange, rouge, jaune.

– Anode commune ou cathode commune.

Exemple de désignation : MAN 72 A = afficheur sept segments de General Instrument, anode commune, point décimal à gauche.

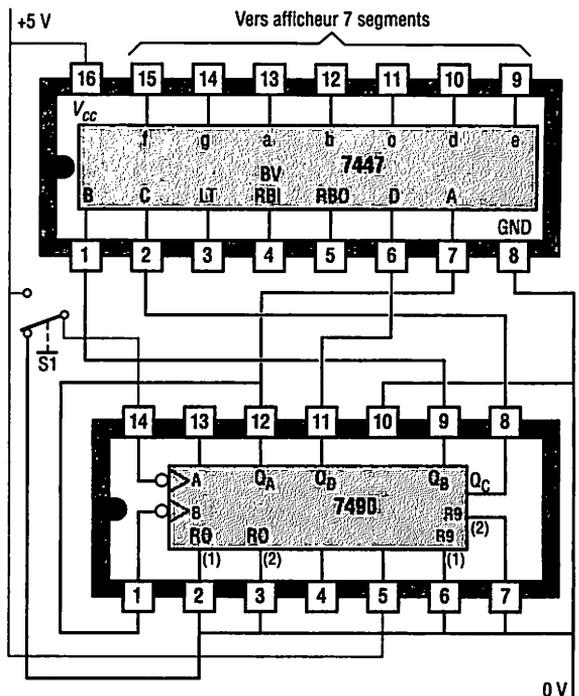
– Tension 2 V sous 20 mA.

– Tension inverse $V_r = 6$ V.



c) Schéma d'application

Compteur décimal avec afficheur sept segments.



19

Fonctions en logique numérique

Les opérateurs logiques étudiés dans ce chapitre sont employés surtout dans le traitement numérique de l'information, ils permettent d'assurer les fonctions arithmétiques, la fonction mémoire, la fonction aiguillage. On les utilise dans les automates programmables industriels et dans les ordinateurs.

1 Les registres

Pour le comptable, un registre est un livre où sont inscrites toutes les dépenses ou les recettes afin d'en conserver le souvenir. En logique numérique, le registre est une mémoire permettant de stocker un ensemble de bits (4 bits ou 8 bits ou plus) qui forment un **mot**. Ce mot doit être écrit, mémorisé, puis transféré.

1.1. Principe d'un registre

Un registre est formé d'autant de bascules que de bits à stocker. On emploie des bascules RS, D ou JK, ayant une entrée d'horloge.

a) Schéma de principe (fig. 3)

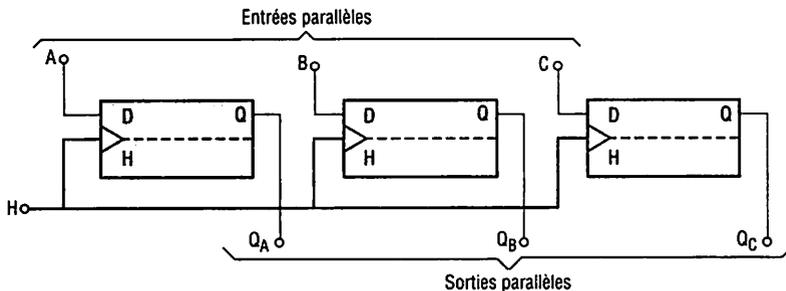


Fig. 3 : Registre à entrées parallèles, sorties parallèles.

b) Fonctionnement

Les données à mémoriser se présentent sur les entrées A, B, C simultanément sous forme d'un mot binaire de 3 bits. Lors d'une impulsion d'horloge sur l'entrée H, les données sont enregistrées dans les bascules et disponibles sur les sorties Q_A , Q_B , Q_C .

1.2. Registre à décalage

Le registre peut être utilisé en mémoire, comme dans le paragraphe précédent, ou en registre à décalage.

En alimentant l'entrée d'une bascule par la sortie de la précédente, on obtient un registre à décalage.

OBJECTIFS

Les fonctions utilisées en logique numérique sont le plus souvent connues dans des ensembles programmables : automates, ordinateurs.

Il faut savoir :

- décoder les symboles ;
- exprimer la fonction satisfaite et s'informer sur l'évolution des techniques.

SAVOIR TECHNOLOGIQUE

S 5.1



Fig. 1 : Registre parallèle.



Fig. 2 : Registre série.

a) Schéma de principe (fig. 4)

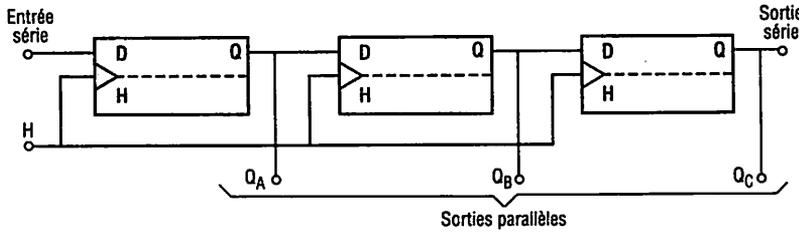


Fig. 4 : Registre à décalage ou à entrée série.

b) Fonctionnement (fig. 5)

Pour décaler un 1 logique, on doit d'abord appliquer un 1 sur l'entrée série ; puis dès la première impulsion d'horloge, on le remplace par un « 0 » logique que l'on maintient, ainsi le « 1 » logique va se propager de bascule en bascule jusqu'à ce qu'il disparaisse.

1.3. Classement des registres en fonction des entrées sorties

- Entrée série/sortie série (fig. 6a).
- Entrée série/sortie parallèle (fig. 6b).
- Entrée parallèle/sortie série (fig. 6c).
- Entrée parallèle/sortie parallèle (fig. 6d).

1.4. Décalages possibles des registres

- Décalage à droite (fig. 7a).
- Décalage à gauche (fig. 7b).
- Décalage circulaire à droite (fig. 7c).
- Décalage circulaire à gauche (fig. 7d).

1.5. Caractéristiques d'un registre

- Un registre est désigné par sa fonction, registre à décalage ou registre de stockage (Latches).
- Il est caractérisé par son fonctionnement sur front montant ou descendant des tops d'horloge.
- Des commandes particulières sont utilisées pour : le décalage, la remise à zéro, l'écriture ou la lecture.

2 Additionneur

C'est l'opérateur logique de base qui permet ensuite d'effectuer les soustractions, les multiplications et les divisions.

2.1. Principe de l'addition (fig. 8)

L'addition de deux nombres binaires se résume par la table d'addition ci-dessous.

La dernière ligne correspond à l'opération 1 + 1 = 10 dans laquelle je pose 0 et je retiens 1.

Table d'addition		Table de vérité			
		<i>b</i>	<i>a</i>	Somme <i>S</i>	Retenue <i>R</i>
0	0	0	0	0	0
0	1	0	1	1	0
1	0	1	0	1	0
1	1	1	1	0	1

Fig. 8 : Table de vérité de l'addition.

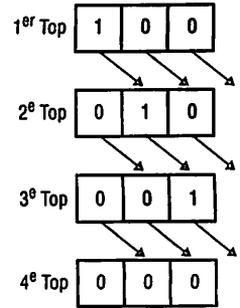


Fig. 5 : Registre à décalage vers la droite.

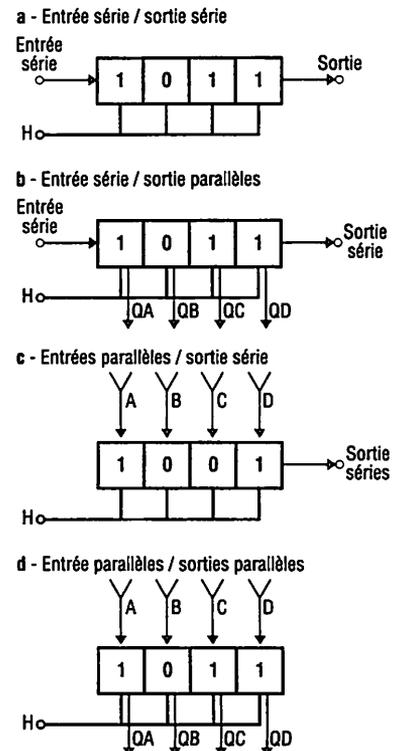


Fig. 6 : Différentes configurations de registres.

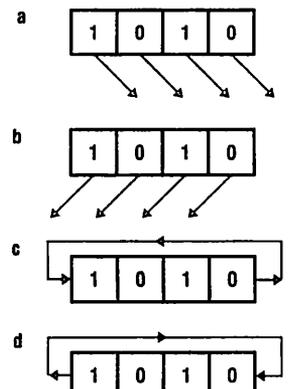


Fig. 7 : Différents décalages possibles.

À cette table d'addition, on peut faire correspondre la table de vérité, dans laquelle « a » et « b » sont les nombres binaires à additionner.

En observant cette table de vérité, on constate que la somme S correspond aux valeurs données par un OU exclusif entre a et b. La colonne R correspond au résultat d'un ET entre a et b.

On peut écrire les équations logiques pour la somme :

$$S = a \oplus b \quad \text{et pour la retenue :} \quad R = a \cdot b$$

\oplus : **OU exclusif**, il exclut la valeur $a = 1, b = 1$.

Le schéma logique (fig. 9) représente un demi-additionneur ; il ne peut pas prendre en compte la retenue d'un étage précédent.

Exemple :

Soit à ajouter les deux nombres binaires de 4 bits suivants : 1110 + 0110.

11	Retenues :	
1110	Le bit 3 doit ajouter la retenue qui est le résultat de	
+ 0110	l'addition du bit 2 et les deux 1 du bit 3. C'est pourquoi	
10100	il faut associer pour chaque bit deux demi-addition-	
└ bit 3	neurs (fig. 10).	

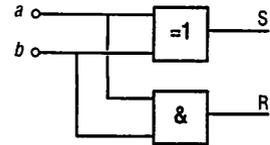


Fig. 9 : Demi-additionneur.

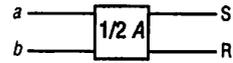


Fig. 10 : Symbole d'un demi-additionneur.

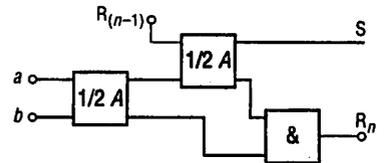


Fig. 11 : Schéma complet d'un étage additionneur.

2.2. Additionneur (fig. 11)

Un additionneur complet comporte deux demi-additionneurs, le deuxième servant à ajouter la somme $a + b$ à la retenue de l'étage précédent désignée par $R_{(n-1)}$. En cas de retenue à cet étage, on a une sortie R_n (symbole fig. 12).

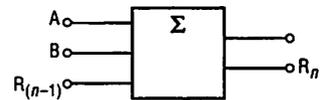


Fig. 12 : Symbole d'un additionneur 1 bit.

2.3. Schéma d'un additionneur 4 bits

Les nombres binaires A et B sont appliqués aux entrées A_1, A_2, A_3, A_4 et B_1, B_2, B_3, B_4 . La somme est obtenue aux sorties $\Sigma_1, \Sigma_2, \Sigma_3, \Sigma_4$. La retenue du premier additionneur est mise à 0, la sortie C4 (C comme carry en anglais) donne la retenue de la somme totale (fig. 13).

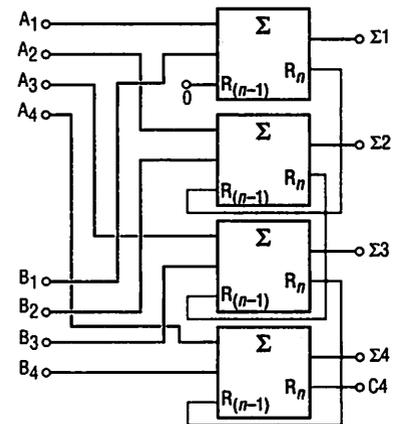


Fig. 13 : Schéma complet d'un additionneur 4 bits.

3 Comparateur

3.1. Principe

La comparaison entre deux nombres binaires A et B présente 3 états possibles :

$$A > B \quad A = B \quad A < B$$

Pour une comparaison, un seul de ces trois états est réalisé.

Tableau d'analyse

b	a	a = b	a > b	a < b
0	0	1	0	0
0	1	0	1	0
1	0	0	0	1
1	1	1	0	0

On pose :
 S pour $A = B$
 S_a pour $A > B$
 S_b pour $B > A$

Le comparateur 1 bit comporte trois sorties possibles qui, d'après le tableau d'analyse, correspondent aux équations logiques :

$$S = \overline{a \oplus b} \quad S_a = a \cdot \overline{b} \quad S_b = \overline{a} \cdot b$$

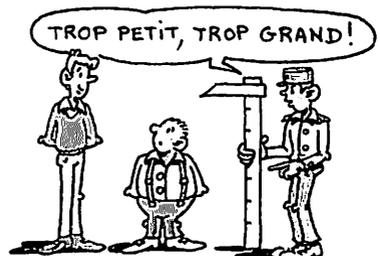


Fig. 14 : La comparaison.

3.2. Schéma logique et symbole (fig. 15 et 16)

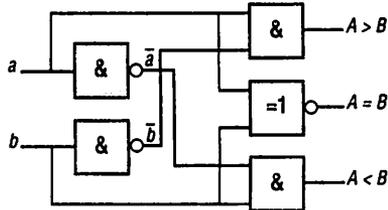


Fig. 15 : Logigramme d'un comparateur 1 bit.

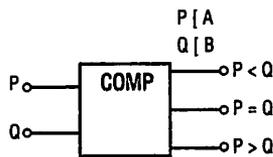


Fig. 16 : Symbole d'un comparateur.

3.3. Comparateurs sur quatre bits

La table d'analyse sur 4 bits conduit à envisager pour chacun des trois états possibles en sortie 14 cas différents. Le circuit intégré 7485 donné dans la documentation permet de faire cette comparaison.

4 Multiplexeur - Démultiplexeur

Dans les systèmes de traitement d'informations, on peut faire passer des informations différentes sur un même fil de ligne, ce qui nécessite des aiguillages réalisés par les multiplexeurs et démultiplexeurs.

4.1. Principe (fig. 19)

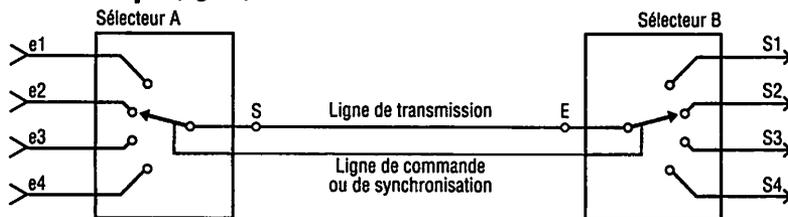


Fig. 19 : Deux sélecteurs commandés simultanément permettent de transmettre successivement les informations qui viennent des entrées e_1, e_2, e_3, e_4 sur les sorties S_1, S_2, S_3, S_4 .

En logique électronique, les sélecteurs A et B sont remplacés par des circuits logiques de combinaison ou d'aiguillage que l'on appelle **multiplexeurs** et **démultiplexeurs**.

Les positions de sélection sont repérées par des compteurs, et la synchronisation est effectuée par les impulsions d'horloge (fig. 20).

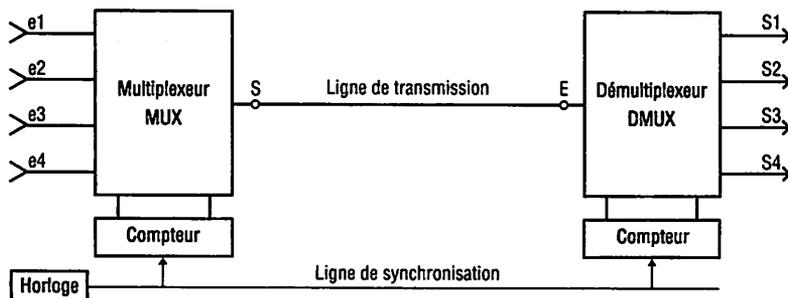


Fig. 20 : Chaque multiplexeur et démultiplexeur est commandé par un compteur qui donne selon un cycle une succession de combinaisons binaires ou adresses des entrées et sorties correspondantes.

4.2. Multiplexeur et démultiplexeur

Le multiplexeur permet de convertir des informations binaires, qui arrivent en **parallèle**, en informations binaires **série** (schéma logique figure 21).

Le démultiplexeur permet de convertir des informations binaires **séries** en informations binaires **parallèles**.

Le schéma logique d'un démultiplexeur est représenté figure 22.

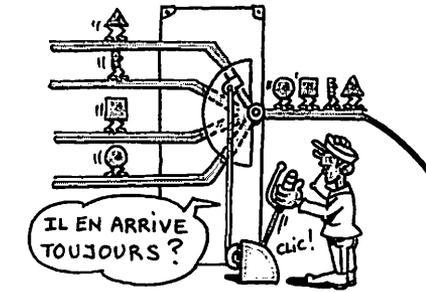


Fig. 17 : Aiguillage au départ.

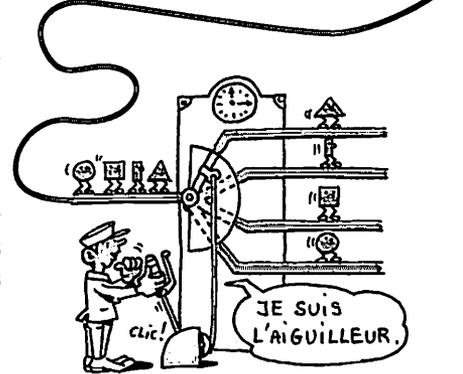


Fig. 18 : Aiguillage à l'arrivée.

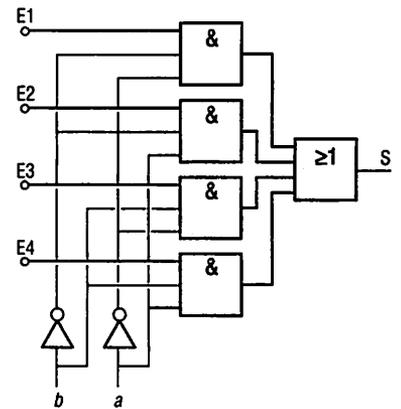


Fig. 21 : Multiplexeur 4 vers 1 avec adresses par a et b .

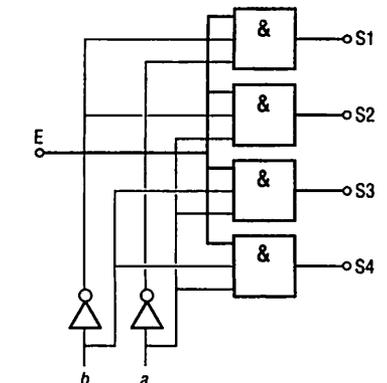


Fig. 22 : Démultiplexeur 1 vers 4 ou décodeur 2 lignes d'adresse vers 4.

5 Mémoire d'un mot

Dans tout système de traitement d'informations, il est nécessaire de conserver en mémoire des données ou des résultats de traitement. L'originalité des ordinateurs ou des automates programmables réside dans leur capacité importante de mémoire (fig. 23).



Fig. 23 : Notion de mémoire.

5.1. Fonctions réalisées par une mémoire (fig. 24)

Une mémoire a pour fonction principale de retenir ou de se souvenir de valeurs binaires groupées sous forme de 8 bits (octet).

Il faut pouvoir **écrire** les mots dans la mémoire et, pour retrouver ces mots, ces derniers doivent être **rangés à une adresse** précise. Pour l'exécution d'un programme par un microprocesseur, il faut **lire** les données dans la mémoire, les traiter (microprocesseur), écrire les résultats. Les temps d'exécutions sont très liés aux temps d'accès à la mémoire.

5.2. Différentes mémoires statiques

a) Mémoires vives : RAM

C'est une mémoire réalisée à l'aide de bascules, et dans laquelle on recopie des programmes ou des informations, mais ces informations sont perdues en cas de coupure de courant. Un ordinateur actuel nécessite de 16 à 128 Mo de mémoire RAM.

RAM (Random Access Memory) : mémoire à lecture et écriture possible.

b) Mémoires mortes : ROM

Ce sont des mémoires qui sont programmées une fois pour toutes, elles ne sont pas sensibles aux coupures de courant. Elles contiennent les paramètres de base de l'ordinateur (1 Mo pour un ordinateur).

ROM (Read Only Memory) : mémoire à lecture seulement.

c) Mémoires reprogrammables : EPROM

Ce sont des mémoires mortes particulières, en effet on peut les régénérer ou les effacer et les reprogrammer. Elles sont très utilisées sur les automates pour conserver les programmes des systèmes automatisés.

EPROM (Erasable Programmable Read Only Memory) : mémoire effaçable, programmable à lecture seulement.

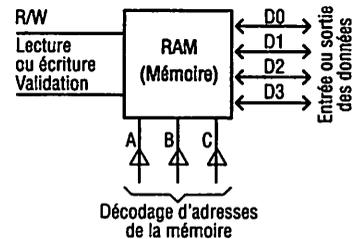


Fig. 24 : Schéma de principe d'une mémoire.

5.3. Mémoires de masse

Pour stocker les données ou les programmes, on utilise différents supports magnétiques ou optiques :

- disquettes de 3,5 pouces de 720 ko à 1,4 Mo ; disque « Zip » 100 Mo ;
- disque dur de 500 Mo (0,5 Giga octets) à 20 Go ;
- CD-Rom de 650 Mo, suivi par les CD-RW, et DVD (17 Go)...

5.4. Quelques caractéristiques

- 1 kilo-octet peut être représenté par un empilage de 8 matrices de 32 lignes par 32 colonnes, soit $32 \times 32 = 1024$ octets.
- Le temps d'accès à une mémoire vive est de 15 à 60 nanosecondes.
- Les mémoires vives ou RAM existent en SD-Ram (Synchronous Dynamic), elles se présentent sous forme de barrettes SIM de 8 à 32 bits (1 octet ou 4 octets) ou Dimm de 64 bits (soit 8 octets).
- Une barrette Dimm de 128 Mo peut contenir l'équivalent de 45 000 pages de roman.

L'essentiel

- Les opérateurs logiques employés dans le traitement de l'information permettent d'assurer les fonctions arithmétiques (additionneur, comparateur), mémoire (mémoire d'un mot) et aiguillage (multiplexeur et démultiplexeur).
- Le registre est une mémoire dont l'accès et la sortie des données peuvent s'effectuer en série ou en parallèle : l'élément de base du registre est une bascule D ou JK.
- Les additionneurs permettent d'effectuer des additions binaires sur un ou plusieurs bits, ils prennent en compte les retenues.
- Les comparateurs assurent la comparaison entre deux nombres binaires, les résultats possibles étant plus grand que, égal, plus petit que.
- Les multiplexeurs et démultiplexeurs sont employés surtout pour les transmissions de valeurs binaires. Ils assurent le multiplexage de données parallèles vers une ligne (multiplexage), ou de valeurs binaires sur une ligne vers plusieurs lignes (démultiplexage).
- Les mémoires pour le traitement d'informations permettent d'écrire à une adresse et de pouvoir aller lire la donnée à cette même adresse.



VRAI OU FAUX ?

EXERCICES

Parmi les affirmations suivantes, indiquez celles qui sont vraies.

1. Un registre est une mémoire permettant de stocker ensemble plusieurs bits.
2. Dans un registre à entrée parallèle, les données se présentent les unes à la suite des autres.
3. Un registre à décalage est appelé aussi registre série.
4. Pour un registre à décalage circulaire à gauche, l'entrée est reliée à la sortie.
5. Le fonctionnement d'un registre est toujours synchronisé avec des tops d'horloge.
6. Un registre peut avoir une entrée série et une sortie en parallèle.
7. Un circuit additionneur doit permettre de faire des additions et des multiplications.
8. Dans un circuit additionneur, il n'y a pas de retenue.
9. Il faut deux demi-additionneurs pour effectuer un additionneur complet.
10. Il faut autant de circuits additionneurs que de bits à additionner.
11. Un comparateur possède trois sorties possibles.
12. Un comparateur utilise des circuits additionneurs.
13. Avec un multiplexeur, on peut faire passer des informations différentes sur un même fil de ligne.
14. Le multiplexeur permet de concentrer plusieurs informations sur un fil.
15. Un démultiplexeur possède n entrées et une seule sortie.
16. Les multiplexeurs et démultiplexeurs sont toujours associés à des compteurs.
17. Une mémoire RAM signifie Réversible Action Magnétique.
18. Une mémoire morte de type ROM est une mémoire défectueuse.
19. Une mémoire EPROM est une mémoire reprogrammable.
20. Un disque CD-ROM constitue une mémoire de masse.

RÉSOLUS

1. Pour un décodeur de trois lignes vers huit lignes, donnez sa table de vérité et les équations de ses sorties.

Solution :

On désigne par a, b, c, les entrées, et par : S0, S1, S2,... S7, les sorties.

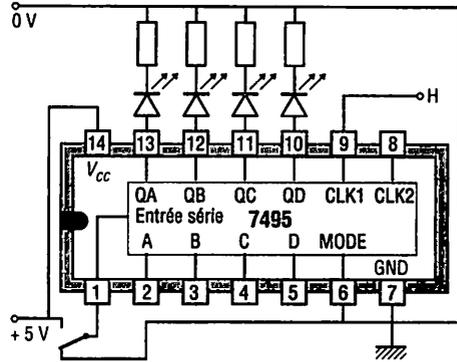
Table de vérité et équations des sorties :

c	b	a	Sortie	Équations des sorties
0	0	0	S0	$S0 = \bar{a} \cdot \bar{b} \cdot \bar{c}$
0	0	1	S1	$S1 = a \cdot \bar{b} \cdot \bar{c}$
0	1	0	S2	$S2 = \bar{a} \cdot b \cdot \bar{c}$
0	1	1	S3	$S3 = a \cdot b \cdot \bar{c}$
1	0	0	S4	$S4 = \bar{a} \cdot \bar{b} \cdot c$
1	0	1	S5	$S5 = a \cdot \bar{b} \cdot c$
1	1	0	S6	$S6 = \bar{a} \cdot b \cdot c$
1	1	1	S7	$S7 = a \cdot b \cdot c$

L'entrée MODE est à 0, ce qui valide l'entrée série et verrouille l'entrée d'horloge à décalage à gauche.

L'entrée d'horloge est reliée à la borne 9. Les sorties QA, QB, QC, QD sont branchées sur des DEL de signalisation.

Résultats : en manœuvrant l'interrupteur l'entrée série entre 2 fronts descendant d'horloge, on entre les valeurs 1 qui glissent vers la droite, et on observe les valeurs 1011 sur les sorties Q.



En arrêtant l'horloge, le registre conserve les valeurs.

2. Effectuez le branchement du registre 7495 pour obtenir le fonctionnement en entrée série et décalage à droite. On affichera sur les diodes (DEL) la valeur binaire 1011.

Solution :

Schéma de montage

L'inverseur I permet d'entrer les valeurs 0 ou 1 dans le registre (1 avec 5 V et 0 sur 0 V).

À RÉSOUDRE

1. Effectuez le schéma de montage du registre 7495 pour obtenir en entrée série un décalage à gauche, avec :

- entrée horloge sur la borne 8 ;
- borne QB reliée à la borne 2, QC reliée à la borne 3 et QD reliée à la borne 4 ;
- l'inverseur I envoi du 0 V ou du 5 V sur la borne 5 ;
- borne 6 de mode reliée au + 5 V (1 logique) ;
- les sorties QA, QB, QC, QD reliées aux DEL.

Que se passe-t-il si on entre la valeur binaire 1010 avec l'inverseur, entre deux tops d'horloge ? Établissez la table de l'état des sorties après chaque top d'horloge.

2. Effectuez le schéma de montage du comparateur 4 bits 7485.

- Entrées P (0,3) 4 inverseurs pour le mot A.
- Entrées Q (0,3) 4 inverseurs pour le mot B.

Mettez les sorties (bornes 5, 6, 7) sur des DEL. Que doit-il se passer si on entre sur les entrées P la valeur 1010 et sur les entrées Q la valeur 0111 ? Les bornes 2, 3, 4 sont reliées à 0 V.

3. Effectuez le schéma de montage de l'additionneur 74283 et indiquez, pour les valeurs binaires A = 1001 et B = 1011, la valeur obtenue en sortie Σ.

4. Effectuez le schéma de montage pour transmettre des informations sur une ligne à l'aide du multiplexeur 74151 et du démultiplexeur 74138. Le circuit de codage et de décodage sera le même pour ces deux circuits.

5. Donnez la table de vérité, les équations de sortie, et le schéma logique pour un décodeur de deux lignes : a, b, vers quatre lignes : S0, S1, S2, S3.

6. Établissez pour un multiplexeur à quatre entrées e1, e2, e3 et e4, la table de vérité en fonction du chiffre représentant l'adresse affichée par les deux lignes de sélection a et b. Précisez le rôle d'un circuit multiplexeur.

7. À partir de la table de vérité de l'exercice précédent, donnez l'équation de la sortie S du multiplexeur.

Fonctions arithmétiques

1. Registre 4 bits 7495

C'est un registre à décalage à 4 bits comportant des entrées parallèles et série, des sorties série et deux entrées d'horloge.

a) Mode de fonctionnement

• Chargement parallèle

Il s'effectue lorsque les 4 bits de données sont présents sur les entrées et en portant l'entrée de mode au niveau haut.

Les données sont chargées dans les bascules et apparaissent à la sortie sur front descendant de l'horloge 2.

• Décalage à droite

Il se fait sur front descendant de l'horloge 1 quand l'entrée de mode est au niveau bas.

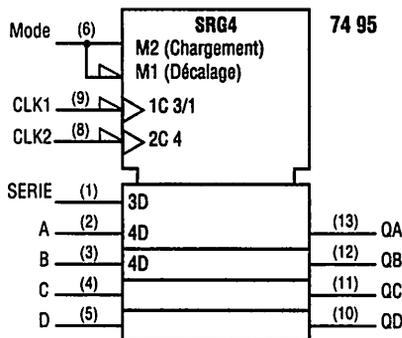
• Décalage à gauche

Il se fait sur front descendant de l'horloge 2 et l'entrée de mode est au niveau haut.

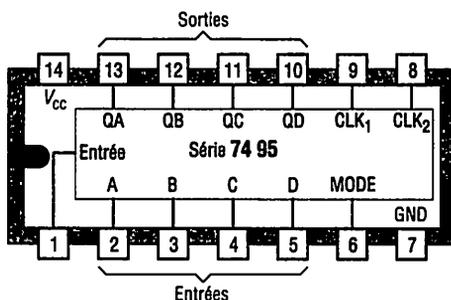
b) Caractéristiques électriques

- Tension d'alimentation : $V_{cc} = 5$,
- courant d'utilisation : $I_{cc} \approx 20$ mA,
- température : 0 à 70 °C,
- fréquence d'horloge : 25 MHz.

c) Schéma logique



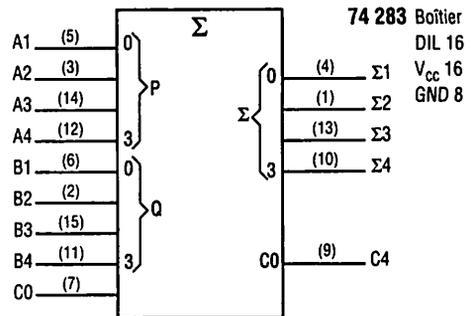
d) Brochage



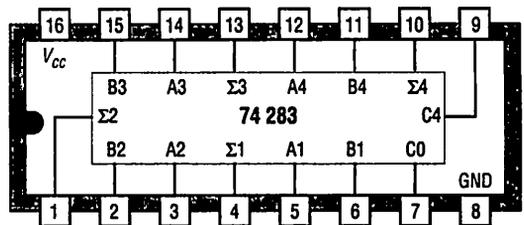
2. Additionneur binaire 4 bits 74283

C'est un additionneur complet qui effectue l'addition de deux nombres binaires de 4 bits avec la sortie Σ sur 4 bits et la retenue C4.

a) Schéma logique



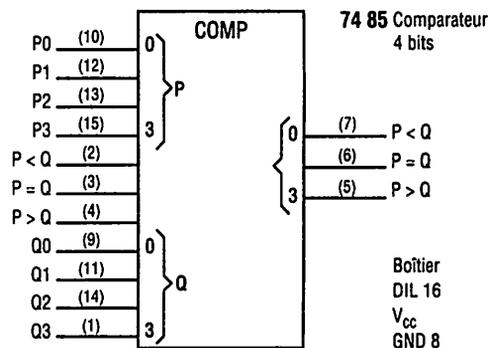
b) Brochage



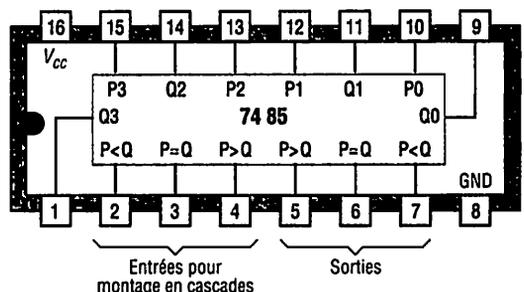
3. Comparateur sur 4 bits 7485

Il effectue la comparaison de mots binaires sur 4 bits.

a) Schéma logique



b) Brochage



4. Multiplexeur 74157

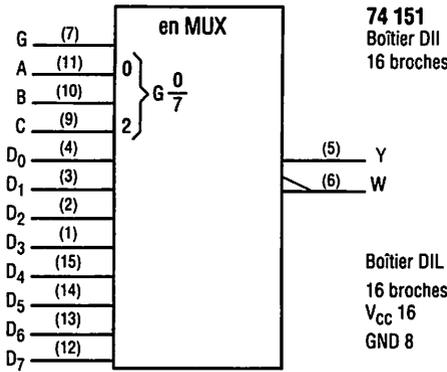
Ce multiplexeur, encore appelé sélecteur de données, comporte un décodage binaire permettant de sélectionner une ligne de données entre huit lignes.

Une entrée de commande ou de validation appelée strobe doit être au niveau bas pour valider le circuit.

Les deux sorties Y et W sont complémentaires.

A, B, C : entrées de sélection ou d'adressage.

a) Schéma logique



b) Brochage

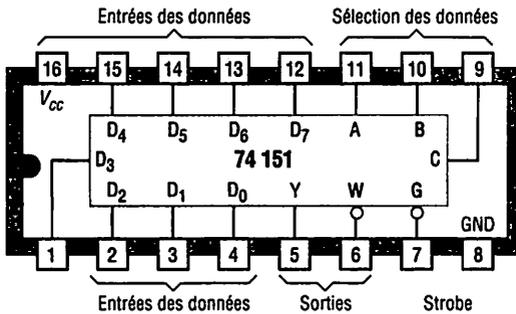


Table de vérité (74151)

Entrées			Strobe	Sorties	
Sélection				Y	W
C	B	A	\bar{G}		
X	X	X	H	L	H
L	L	L	L	D0	$\frac{D0}{D0}$
L	L	H	L	D1	$\frac{D1}{D1}$
L	H	L	L	D2	$\frac{D2}{D2}$
L	H	H	L	D3	$\frac{D3}{D3}$
H	L	L	L	D4	$\frac{D4}{D4}$
H	L	H	L	D5	$\frac{D5}{D5}$
H	H	L	L	D6	$\frac{D6}{D6}$
H	H	H	L	D7	$\frac{D7}{D7}$

X : sans importance, H : niveau haut, L : niveau bas.

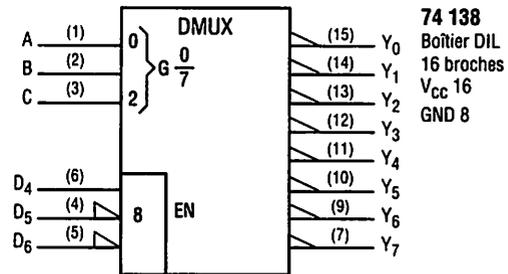
5. Démultiplexeur 74138

Ce circuit démultiplexeur est encore appelé décodeur de trois lignes en huit lignes.

Il est utilisé pour les transmissions de données, mais aussi pour les décodages de mémoire.

Ce circuit sélectionne une ligne parmi huit lignes suivant les niveaux logiques présents sur les trois entrées de sélection. Deux entrées de validation actives au niveau bas et une entrée active au niveau haut permettent de réduire la logique externe. En montage démultiplexeur, on utilise une entrée de validation comme entrée de données.

a) Schéma logique



b) Brochage

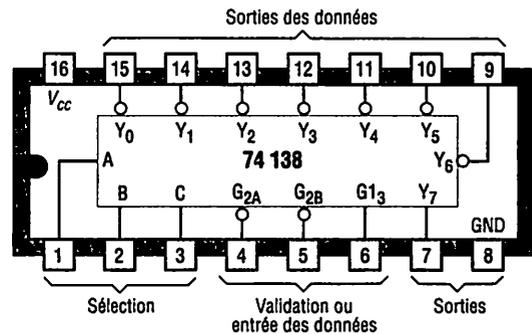


Table de vérité (74138)

Entrées					Sorties							
Validation		Sélection			Y0	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6	Y7
G1	G2	C	B	A								
X	H	X	X	X	H	H	H	H	H	H	H	H
L	X	X	X	X	H	H	H	H	H	H	H	H
H	L	L	L	L	L	H	H	H	H	H	H	H
H	L	L	L	H	L	H	L	H	H	H	H	H
H	L	L	H	L	H	H	L	H	H	H	H	H
H	L	H	L	L	H	H	H	H	L	H	H	H
H	L	H	L	H	H	H	H	H	H	L	H	H
H	L	H	H	L	H	H	H	H	H	H	L	H
H	L	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	L

X : sans importance, H : niveau haut, L : niveau bas.

20

Fonctions analogiques

Alors qu'une fonction logique ne peut prendre que deux valeurs, zéro ou un, les fonctions analogiques donnent en sortie une valeur qui peut varier de façon continue. Ces fonctions sont utilisées par exemple dans le voltmètre à aiguille qui mesure une tension comprise entre 0 et 300 V. On dit que c'est un appareil analogique.

1 Qu'est-ce qu'un amplificateur ?

C'est un appareil qui est destiné à augmenter la tension, le courant ou la puissance dans un circuit. Par exemple, la tension obtenue à la sortie d'un microphone est amplifiée et restituée dans des hauts-parleurs.

1.1. Constitution générale (fig. 2)

Un amplificateur comprend, en plus de ses circuits internes :

- un circuit d'entrée ou de commande ;
- un circuit de sortie ou d'utilisation, encore appelé circuit de charge ;
- une source d'alimentation, qui est la source d'énergie pour amplifier la grandeur d'entrée.

1.2. Notion de quadripole

Un quadripole est une boîte noire qui comporte deux bornes d'entrée et deux bornes de sortie. Dans l'étude des quadripoles on ne s'occupe que de ce qui se passe sur l'entrée et la sortie et on définit une relation entre l'entrée et la sortie appelée caractéristique de transfert.

Un amplificateur est assimilable à un quadripole (fig. 3) avec ses bornes d'entrée A et B auxquelles on applique une tension d'entrée V_e , et ses bornes de sortie A'B', où l'on recueille le signal amplifié V_s . La source d'alimentation est indépendante du fonctionnement.

1.3. Amplification

Dans un circuit parcouru par du courant alternatif sinusoïdal, on peut définir un facteur d'amplification A pour les grandeurs électriques telles que tension, courant, puissance.

a) Amplification en tension

C'est le rapport entre la tension de sortie et la tension d'entrée.

$$A_v = \frac{V_s}{V_e}$$

A_v = facteur d'amplification en tension ;
 V_s = tension de sortie ;
 V_e = tension d'entrée.

Exemple : on applique une tension d'entrée de 0,2 V à une entrée d'amplificateur et on mesure en sortie une valeur de 14 V.

Le facteur $A_v = \frac{V_s}{V_e} = \frac{14}{0,2} = 70$.

OBJECTIFS

L'étude des circuits analogiques est limitée aux fonctions : amplification, génération de signaux et comparaison.

Pour chacune de ces fonctions, il faut être capable :

- de décoder les symboles ;
- d'exprimer, par une relation, la fonction satisfaite ;
- de mettre en œuvre et de contrôler l'opérateur analogique.

SAVOIR TECHNOLOGIQUE

S 5.1

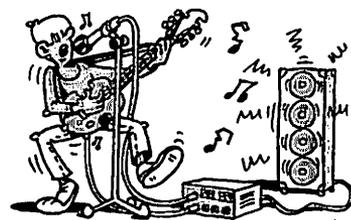


Fig. 1 : Notion d'amplification.

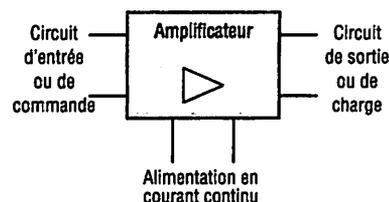


Fig. 2 : Constitution générale d'un amplificateur.

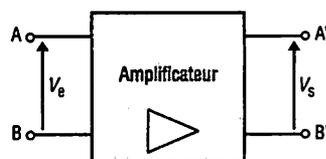


Fig. 3 : Le quadripole amplificateur.

b) Amplification en courant

C'est le rapport entre la valeur efficace du courant de sortie et d'entrée.

$$A_i = \frac{I_s}{I_e}$$

A_i = facteur d'amplification en courant ;
 I_s = courant de sortie ;
 I_e = courant d'entrée.

c) Amplification en puissance

C'est le rapport des puissances moyennes de sortie et d'entrée.

$$A_p = \frac{P_s}{P_e}$$

A_p = facteur d'amplification en puissance ;
 P_s = puissance de sortie ;
 P_e = puissance d'entrée.



Fig. 4 : Pour doubler l'intensité du son d'une trompette, il faut dix trompettes.

En savoir plus...

Qu'est-ce que le gain d'un amplificateur ? L'amplification en puissance est parfois très grande, elle s'exprime en puissance de 10 (fig. 4). On préfère utiliser le gain en puissance qui s'exprime en bels (symbole B).

Le gain en puissance G_p est égal au logarithme décimal du facteur d'amplification A_p .

$$G_p = \lg A_p$$

G_p = gain en puissance en bels
 \lg = « logarithme décimal »
 A_p = amplification en puissance.

L'unité pratique de gain est le décibel (dB), la relation devient : $G_p = 10 \lg A_p$ (G_p = gain en puissance en décibels avec 1 B = 10 dB).

Table de correspondance entre A_p et G_p

A_p	1	2	10	10^2	10^3	10^4	10^5
G_p (dB)	0	3	10	20	30	40	50

Par définition, le gain en tension exprimé en décibels est : $G_v = 20 \log A_v$.

Le gain en courant exprimé en décibels est : $G_i = 20 \log A_i$.

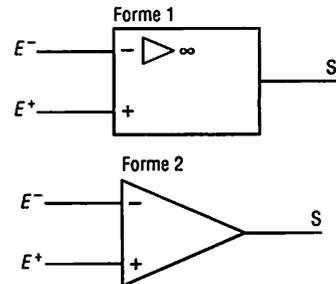


Fig. 5 : Symbole d'un amplificateur opérationnel (A.O.).

2 Amplificateur opérationnel

Un amplificateur opérationnel se présente sous la forme d'un circuit intégré, on l'appelle opérationnel car il peut ajouter, soustraire, comparer... des tensions et courants, mais c'est à la base un montage amplificateur comportant un grand nombre de transistors.

2.1. Présentation (symboles fig. 5)

L'amplificateur opérationnel (OP) est aussi appelé amplificateur à circuit intégré linéaire (ACIL).

Il comporte deux entrées repérées + et -, et une sortie.

La tension d'alimentation peut être fournie par une source à point milieu (fig. 6) ou par une tension continue (fig. 7). La valeur de la tension est variable selon les modèles, elle peut être comprise entre 5 et 30 V.

Dans les montages suivants, nous ne représenterons pas les tensions d'alimentation en courant continu.

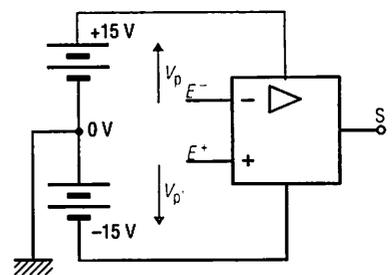


Fig. 6 : A.O. alimenté par une source à courant continu à tension symétrique.

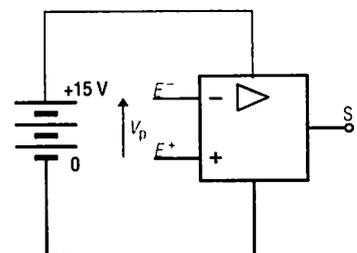


Fig. 7 : A.O. alimenté par une source à courant continu.

2.2. Propriétés

L'amplificateur opérationnel est un circuit intégré linéaire qui amplifie la différence des tensions V_1^+ et V_1^- appliquées entre ses entrées + et - et la masse (fig. 8).

On désigne par A_d le facteur d'amplification différentiel.

$$V_2 = A_d(V_1^+ - V_1^-)$$

Le facteur A_d est très grand, de l'ordre de 10^5 .

La tension de sortie ne peut dépasser la tension d'alimentation, encore appelée tension de polarisation, de l'ordre de 5 à 30 V par exemple.

Exemple : une tension différentielle V_d de 0,001 V donnerait une tension V_2 de : $V_2 = 10^5 \times 0,01 = 1\ 000$ V.

Dans ce cas, la sortie étant la valeur de la tension d'alimentation, on dit que l'amplificateur est **saturé**.

2.3. Régime de fonctionnement (fig. 9)

- **Régime linéaire** : la tension de sortie V_2 est directement proportionnelle à la tension d'entrée.
- **Régime saturé** : la tension de sortie V_2 est maximale et ne dépend que du signe de la tension d'entrée.

2.4. Règles de fonctionnement

- Les **courants d'entrées** d'un amplificateur opérationnel sont **négligeables** devant les courants du montage. On dit que l'entrée présente une résistance très grande proche de l'infini : $i^+ \approx 0$ et $i^- \approx 0$.
- La tension qui existe entre les bornes E^+ et E^- est négligeable devant les autres tensions du montage : $v_d \approx 0$.

2.5. Montage expérimental

Si on réalise le montage de la **figure 10**, l'amplificateur fonctionne en régime linéaire et on peut considérer que :

- la tension différentielle est $v_d \approx 0$;
- d'autre part, au point A, $i^- = 0$, ce qui entraîne : $i_1 + i_s = 0$.

On peut donc écrire :

- **pour l'entrée** : $v_1 - R_1 i_1 = 0$;

- **pour la sortie** : $v_2 - R_2 i_s = 0$.

L'amplification du montage se calcule à partir des trois relations précédentes :

$$A_v = \frac{v_2}{v_1} = \frac{R_2 i_s}{R_1 i_1}$$

sachant que : $i_s = i_1$.

On remplace i_s par $-i_1$, ce qui donne :

$$A_v = -\frac{R_2}{R_1}$$

L'amplification est négative.

Exemple : on prend les valeurs $R_1 = 1\ \text{k}\Omega$, $R_2 = 5\ \text{k}\Omega$. Si on applique sur l'entrée E une tension sinusoïdale de 1 V, on obtiendra sur la sortie S une tension sinusoïdale de 5 V en opposition de phase (fig. 11).

En effet : $-\frac{R_2}{R_1} = -\frac{5\ 000}{1\ 000} = -5 = A_v$.

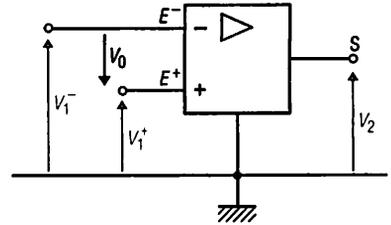


Fig. 8 : Tensions appliquées sur un amplificateur différentiel.

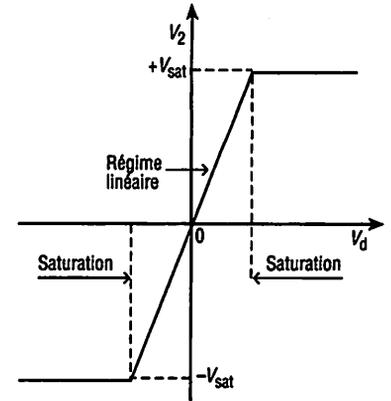


Fig. 9 : Différents régimes de fonctionnement de l'A.O.

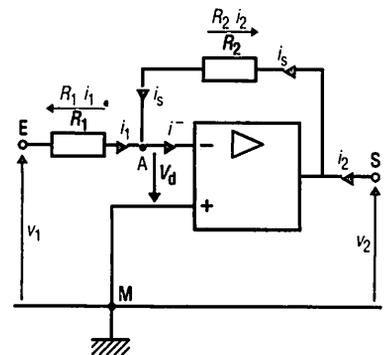


Fig. 10 : Montage amplificateur proportionnel.

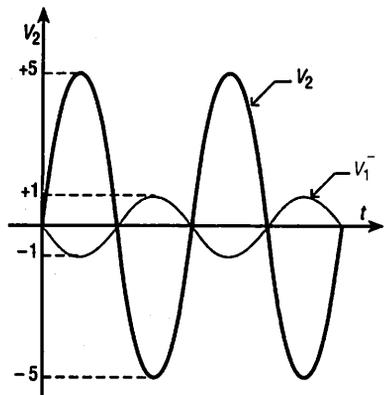


Fig. 11 : Tensions variables sur l'entrée et la sortie.

Le montage de la **figure 10** représente un **amplificateur inverseur**. La valeur de la tension en sortie est :

$$v_s = -v_1 \frac{R_2}{R_1}$$

Elle est en opposition de phase avec la tension d'entrée.

2.6. Amplificateur non inverseur (fig. 12)

On réalise le montage de la **figure 12** dans lequel la résistance R_1 est reliée à la masse, tandis que l'entrée E est reliée à E^+ par l'intermédiaire d'une résistance R_3 . La présence de R_3 ne change rien car le courant $i^+ = 0$, donc : $R_3 i = 0$.

On considère que v_1 est directement appliqué à l'entrée E^+ .

– Au point A, on a : $i^- = 0$ d'où : $i'_1 = i_s$.

On considère que $v_d = 0$, on peut écrire :

– à l'entrée : $v_1 - R_1 i'_1 = 0$ ou $v_1 = R_1 i'_1$;

– à la sortie : $v_2 - R_2 i'_1 - R_1 i'_1 = 0$ ou $v_2 = i'_1 (R_2 + R_1)$.

L'amplification est alors : $A_v = \frac{v_2}{v_1} = \frac{i'_1 (R_2 + R_1)}{i'_1 R_1} = \frac{R_1 + R_2}{R_1}$.

L'amplification est positive, on écrit :

$$A_v = \frac{R_1 + R_2}{R_1} = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

Les tensions d'entrée et de sortie sont en phase.

Exemple : $R_1 = 2 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 16 \text{ k}\Omega$; la tension d'entrée 0,5 V. Quelle est la tension de sortie ?

L'amplification est : $A_v = 1 + \frac{16\,000}{2\,000} = 9$.

La tension de sortie est alors de : $v_2 = A_v \times v_1 = 9 \times 0,5 = 4,5 \text{ V}$.

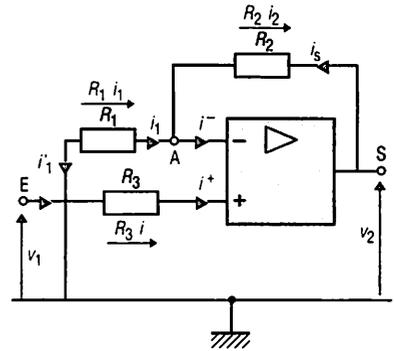


Fig. 12 : Amplificateur de tension non inverseur.

3 Fonction comparaison

Elle est réalisée avec un amplificateur qui fonctionne en régime saturé.

3.1. Principe (fig. 13)

On applique deux tensions sur les entrées E^+ et E^- d'un amplificateur opérationnel. L'égalité parfaite ne peut être obtenue, puisqu'il suffit de 1 mV pour déséquilibrer l'amplificateur. La tension différentielle V_d est soit positive, soit négative, ce qui entraîne la saturation de l'amplificateur. Le dispositif ne possède que deux états stables.

$$v_1 < v_r \text{ ce qui entraîne : } v_2 = +V_{\text{sat}}$$

$$v_1 > v_r \text{ ce qui entraîne : } v_2 = -V_{\text{sat}}$$

La tension v_1 sur l'entrée E^- est la tension à comparer. La tension v_r sur l'entrée E^+ est la tension de référence.

3.2. Fonctionnement en courant continu (fig. 14)

Si on règle l'entrée E^+ à +2 V, la tension sur l'entrée E^- pouvant varier de -5 V à +5 V, la valeur de V_2 change instantanément de sens et passe de $+V_{\text{saturation}}$ à $-V_{\text{saturation}}$:

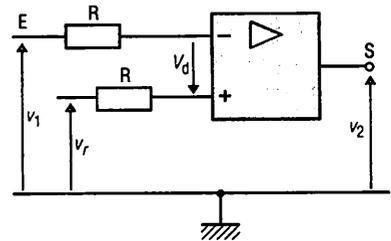


Fig. 13 : Principe du montage comparateur.

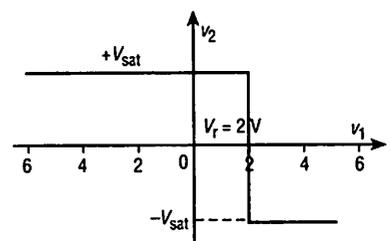


Fig. 14 : Courbe de la tension v_2 de sortie en fonction de v_1 pour $v_r = 2 \text{ V}$.

3.3. Fonctionnement en courant alternatif (fig. 15)

Si on applique sur l'entrée E^+ une tension de référence (tension continue) et sur l'entrée E^- une tension alternative supérieure à V_r , nous obtenons en sortie des signaux rectangulaires qui ont pour amplitude :

$$+V_{sat} \text{ à } -V_{sat}$$

3.4. Exemple d'application (fig. 16)

On peut réaliser un thermostat simple selon le montage (fig. 16).

- L'entrée E^+ permet de fixer un potentiel de référence, c'est le réglage du thermostat, on a un pont diviseur réglable par R_2 .
- L'entrée E^- est alimentée par un autre pont diviseur composé de R_3 et R_4 qui est une résistance variable avec la température (thermistance). Chaque fois que la température baisse, la diode électroluminescente s'éclaire.

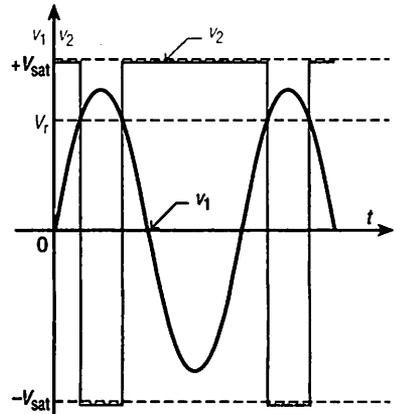


Fig. 15 : Courbe rectangulaire de la tension v_2 de sortie du comparateur.

4 Génération de signaux

On appelle génération de signaux, la création par un dispositif électronique d'une tension variable en fonction du temps, à fréquence fixe.

Des exemples de signaux sont donnés à la figure 17.

Ces signaux sont dits périodiques, ils servent soit de base de temps (signaux carrés d'horloge), soit d'impulsions pour thyristors..

Générateur de signaux carrés

On utilise la charge et la décharge d'un condensateur pour faire varier la tension sur l'entrée E^- d'un amplificateur opérationnel.

a) Schéma (fig. 18)

C'est un comparateur avec sur une entrée une tension variable (E^-) et sur l'autre une tension de référence (E^+).

b) Fonctionnement (fig. 19)

- À la mise sous tension $v_c = 0$, le condensateur est déchargé, la sortie est saturée positivement ($v_2 = V_{sat}$).

- Le condensateur C se charge à travers la résistance R_1 , la tension v_c augmente et dépasse v_r . Il y a basculement et la sortie S passe de $+V_{sat}$ à $-V_{sat}$.

- La sortie S étant à $-V_{sat}$, le condensateur décharge sa tension v_c , passe en dessous de v_r . À ce moment il y a un nouveau basculement, la sortie passe de $-V_{sat}$ à $+V_{sat}$.

- Le cycle recommence.

Ce montage appelé *Trigger de Schmidt* est un multivibrateur astable.

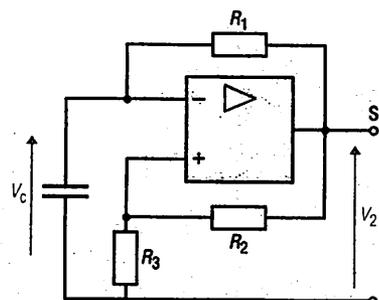


Fig. 18 : Schéma d'un multivibrateur astable.

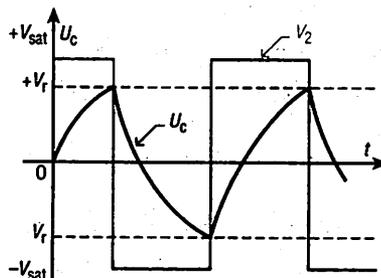


Fig. 19 : Courbes de fonctionnement du générateur de signaux carrés.

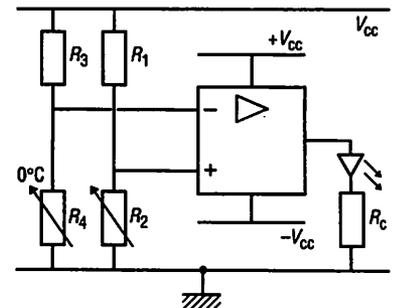


Fig. 16 : Exemple de thermostat électronique.

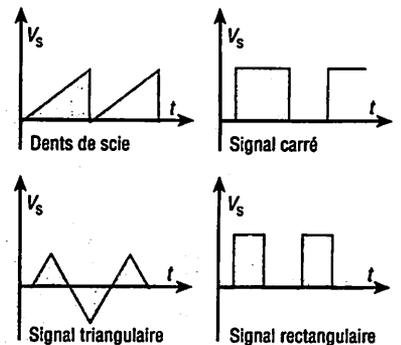


Fig. 17 : Exemples de signaux électriques.

L'essentiel

- Une fonction analogique fonctionne avec des signaux qui varient de façon continue.
- Un amplificateur est un appareil qui est destiné à augmenter la tension, le courant ou la puissance dans un circuit ; il emprunte son énergie à une source à courant continu. L'amplification est désigné par un facteur ou coefficient qui est le rapport entre la valeur de sortie et la valeur d'entrée.



Tension : $A_v = \frac{V_s}{V_e}$ Courant : $A_i = \frac{I_s}{I_e}$ Puissance : $A_p = \frac{P_s}{P_e}$

- L'amplificateur opérationnel (AOP), appelé encore amplificateur à circuit intégré linéaire (ACIL), présente deux entrées + et - ayant une grande impédance et une sortie de très faible impédance. Il amplifie la différence des tensions V^+ et V^- appliquées entre ses entrées et la masse.
- Le montage amplificateur inverseur présente une amplification en tension :

$$A_v = -R_2/R_1$$

- La fonction comparaison de deux signaux se fait en régime saturé.
- Les amplificateurs opérationnels permettent de générer différentes sortes de signaux carrés, triangulaires, en dents de scie, rectangulaires ou sinusoïdaux.

VRAI OU FAUX ?

Parmi les affirmations suivantes, indiquez celles qui sont vraies.

1. Un amplificateur est un appareil qui permet d'augmenter une tension.
2. Un quadripôle est un appareil qui possède deux pôles nord et deux pôles sud.
3. On peut associer un amplificateur à un quadripôle.
4. Le facteur d'amplification est le rapport entre la valeur à l'entrée et la valeur à la sortie.
5. Le gain en puissance d'un amplificateur est différent du facteur d'amplification.
6. Le gain en puissance d'un amplificateur est égal au logarithme décimal du facteur d'amplification.
7. Un amplificateur opérationnel est un circuit intégré qui réalise un montage arithmétique.
8. Un amplificateur opérationnel fonctionne toujours en binaire.
9. Lorsqu'un amplificateur opérationnel fonctionne en régime linéaire, sa tension de sortie est proportionnelle à sa tension d'entrée.
10. En régime saturé, un amplificateur donne la tension de sortie maximale.
11. Un amplificateur inverseur présente une amplification négative.
12. Dans un amplificateur non inverseur, les tensions d'entrée et de sortie sont en opposition de phase.
13. Avec un amplificateur opérationnel, on peut comparer une tension à une tension de référence.
14. Un amplificateur monté en comparateur ne peut fonctionner qu'en courant continu.
15. Un signal carré ne peut pas être périodique.
16. Un générateur de signaux est un dispositif qui crée des signaux à tension variable en fonction du temps.
17. On peut réaliser des signaux carrés avec un montage comparateur.
18. La fréquence d'un signal périodique dépend de la valeur du couple résistance-condensateur.
19. Un circuit intégré LM 324 possède quatre amplificateurs opérationnels.
20. Le circuit 555 permet de générer des signaux, et en particulier des signaux carrés.

RÉSOLUS

1. Un amplificateur opérationnel type LM 324 est monté comme sur la **figure 10**. Il est alimenté en ± 12 V. Les résistances ont pour valeurs $R_1 = 10$ k Ω et $R_2 = 50$ k Ω . Pour une tension de 1,5 V sur l'entrée, quelle sera la tension de sortie ?

Solution : On applique la formule : $v_s = v_e \frac{R_2}{R_1}$
 d'où : $v_s = -1,5 \times \frac{50}{10} = -7,5$ V.

Cette valeur est inférieure à la valeur de saturation.

2. Un amplificateur opérationnel non inverseur est alimenté en ± 12 V (montage **fig. 12**). Sachant que la résistance R_1 a pour valeur 2 k Ω , que la tension d'entrée est de 0,5 V, calculez la résistance R_2 pour obtenir une tension de sortie de 6 V.

Solution : Le facteur d'amplification est de :

$$\frac{v_s}{v_e} = \frac{6}{0,5} = 12.$$

On applique la relation :

$$A_v = 1 + \frac{R_2}{R_1} \text{ soit : } 12 = 1 + \frac{R_2}{2\,000 \Omega}$$

$$\text{d'où : } 12 - 1 = \frac{R_2}{2\,000}$$

$$\text{ou encore : } R_2 = 11 \times 2\,000 = 22 \text{ k}\Omega.$$

3. Étant donné le générateur de signaux 555 (page 200), avec le montage générateur de signaux carrés, on demande de calculer la largeur des impulsions en temps. On prendra les valeurs données sur le schéma, soit : $R_1 = 10$ k Ω , $R_2 = 10$ k Ω , $C = 1$ μ F.

Solution : Le temps de charge est donné par la relation $t_1 = 0,693 (R_1 + R_2) C$
 $t_1 = 0,693 (10 + 10) \times 10^3 \times 1 \times 10^{-6} = 13,86 \times 10^{-3}$ s.
 Le temps de décharge est donné par la relation $t_2 = 0,693 \times R_2 \times C$
 $t_2 = 0,693 \times 10 \times 10^3 \times 1 \times 10^{-6} = 6,93 \times 10^{-3}$ s.

4. Étant donné les valeurs t_1 et t_2 de l'exercice précédent, calculez la fréquence des signaux carrés.

Solution : Calcul de la fréquence : $f = 1/T$,
 avec $T = t_1 + t_2 = (13,86 + 6,93) 10^{-3} = 20,79 \times 10^{-3}$,
 d'où la fréquence : $f = 1/20,79 \times 10^{-3} = 48,10$ Hz.

À RÉSOUDRE

1. Un amplificateur opérationnel LM 324 est monté en amplificateur inverseur (voir **fig. 10** p. 194). On veut obtenir un facteur d'amplification A , de 50. Quelles valeurs choisirez-vous pour les résistances R_1 et R_2 ?

2. Un amplificateur non inverseur (voir **fig. 12** p. 195) est réalisé avec des résistances $R_1 = 2$ k Ω , $R_2 = 10$ k Ω .

a) Calculez le facteur d'amplification en tension.

b) Pour une tension de 0,5 V en entrée, quelle sera la valeur de la tension en sortie ?

3. Calculez le coefficient d'amplification du montage amplificateur (p. 199) réalisé à l'aide d'un amplificateur opérationnel de type LM 324.

4. En observant le schéma de l'amplificateur réalisé p. 199 avec un amplificateur opérationnel de type TL 081, indiquez de quel montage il s'agit (inverseur ou non inverseur), et calculez le facteur d'amplification en tension.

5. L'oscillateur à signaux carrés réalisé avec un amplificateur opérationnel TL 081 représenté p. 199, permet d'obtenir des signaux carrés dont la fréquence est donnée par la formule : $f = \frac{1}{2 \pi R_F C_F}$.

Calculez la fréquence pour les valeurs suivantes :

$$R_F = 100 \text{ k}\Omega \text{ et } C_F = 3,3 \mu\text{F}.$$

6. Déterminez les valeurs de R_F et C_F pour obtenir à la sortie de l'oscillateur à signaux carrés (montage avec TL 081 p. 199) une fréquence de 10 Hz.

7. Étant donné le générateur de signaux 555 (page 200), avec le montage générateur de signaux carrés, on demande de calculer la largeur des impulsions en temps. On prendra les valeurs données sur le schéma, soit : $R_1 = 5$ k Ω , $R_2 = 50$ k Ω , $C = 1$ μ F.

8. Étant donné les valeurs t_1 et t_2 de l'exercice précédent, calculez la fréquence des signaux carrés.

Amplificateurs opérationnels

1. Amplificateur opérationnel LM 324

Le circuit LM 324 comporte quatre amplificateurs opérationnels indépendants (famille 124/224/324).

Ces amplificateurs sont à gain élevé et à compensation en fréquence interne. Ils sont conçus pour fonctionner avec une seule tension d'alimentation et peuvent être alimentés directement en 5 V.

a) Valeurs limites

Tension d'alimentation :	32 V ou ± 16 V,
Tension d'entrée :	-0,3 à +26 V
Puissance dissipée boîtier DIP :	570 mW
Consommation de courant :	0,8 mA
Courant d'entrée :	50 mA
Température :	0 °C à 70 °C

b) Caractéristiques électriques

Tension de décalage d'entrée :	2 mV,
Courant de polarisation d'entrée :	50 nA
Courant de décalage d'entrée :	5 nA
Courant d'alimentation :	1,5 nA
Amplitude de sortie :	28 V
Courant de sortie :	5 à 10 mA

* Valeurs pour une alimentation sous 30 V.

c) Brochage

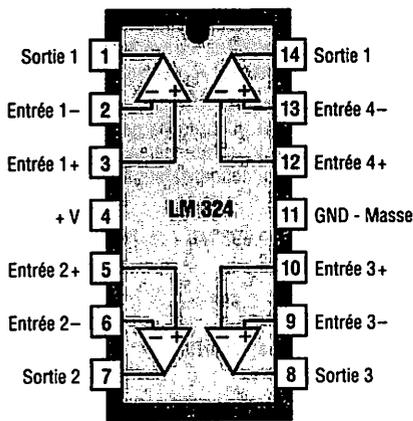
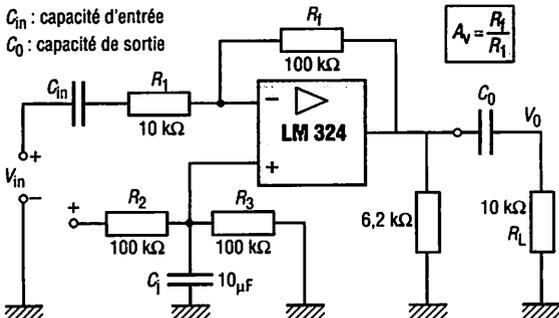


Schéma d'application : Amplificateur inverseur pour signaux alternatifs



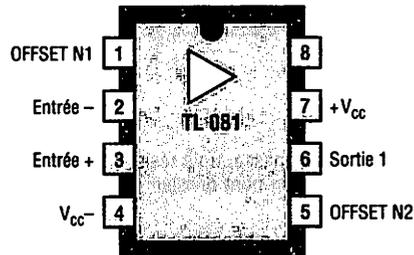
2. Amplificateurs opérationnels TL 081

Cet amplificateur opérationnel fait partie de la famille des TL 080/81/82/83/84. Ce sont des amplificateurs à entrée JFET, chaque entrée s'effectue par des transistors JFET haute tension bien appariés et des transistors bipolaires sur le même circuit monolithique. Ils offrent des caractéristiques très performantes.

a) Valeurs limites

Tension d'alimentation V_{cc}^+ :	18 V,
Tension d'alimentation V_{cc}^- :	-18 V,
Tension différentielle d'entrée :	± 30 V
Tension d'entrée :	± 15 V
Température :	de 0 à +70 °C

b) Brochage

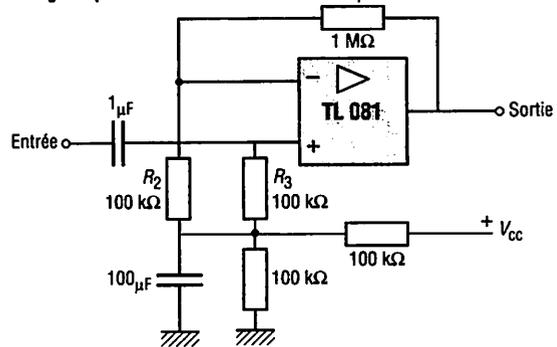


c) Caractéristiques électriques

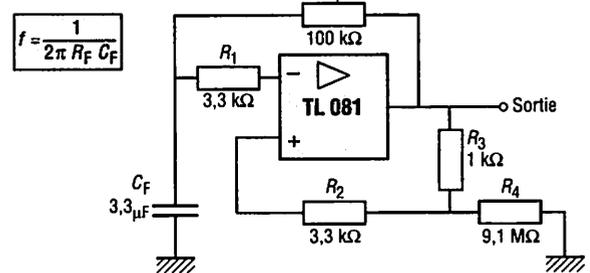
Courant d'alimentation :	1,4 mA
Amplification différentielle :	2×10^5
Résistance d'entrée :	10^6 MΩ

Schémas d'applications :

Montage amplificateur



Oscillateur à signaux carrés

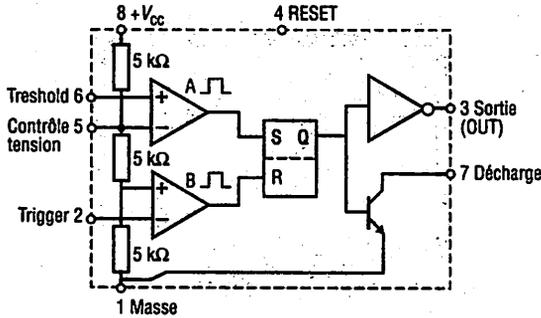


3. Générateur de signaux 555

C'est un circuit conçu pour fournir des impulsions plus précises et des courants plus importants en sortie que le montage en trigger de Schmitt.

a) Principe

Un ensemble de deux amplificateurs opérationnels permet d'enclencher ou de déclencher une mémoire RS. La sortie Q de la mémoire commande un amplificateur de sortie.



b) Fonctionnement

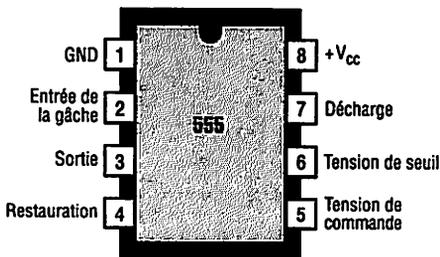
Entre l'alimentation et la masse, trois résistances de $5\text{ k}\Omega$ (précision 0,1 %) constituent un pont diviseur dans les rapports 1/3 et 2/3 de la tension V_{cc} .

Les deux amplificateurs opérationnels A et B sont montés en inverse et constituent un montage comparateur avec deux seuils appelés comparateurs à fenêtre.

L'amplificateur A délivre une impulsion positive si la tension de seuil (Threshold) dépasse les 2/3 de la tension d'alimentation.

L'amplificateur B délivre une impulsion positive si la tension de déclenchement (Trigger) est en dessous de 1/3 de la tension d'alimentation.

• Brochage du 555



Entrée RESET : elle a priorité sur toutes les autres entrées, elle est souvent employée pour initialiser un nouveau cycle.

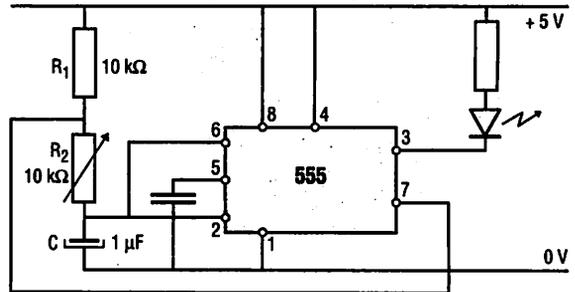
• Caractéristiques électriques

Grandeurs	Mini	Maxi
Tension d'alimentation (V)	4,5	18
Tension d'entrée V_{cc} (V)	5	15
Courant de sortie (mA)		± 200
Température de fonctionnement $^{\circ}\text{C}$	-55	+125

c) Générateur de signaux carrés

C'est un oscillateur ou encore un multivibrateur, qui délivre des impulsions en permanence sur sa sortie, on peut l'utiliser en tant qu'horloge.

• Schéma



• Fonctionnement

La largeur des impulsions est réglable par l'ensemble R_1 - R_2 et C . La charge du condensateur s'effectue à travers les résistances R_1 et R_2 et sa décharge par le transistor et R_2 seulement.

À la charge du condensateur, la tension va augmenter jusqu'au 2/3 de V_{cc} , la bascule passe à 1, d'où décharge du condensateur, passage de la tension à 1/3 de V_{cc} , ce qui met la sortie à 0 de la bascule, d'où une nouvelle charge du condensateur et le cycle recommence.

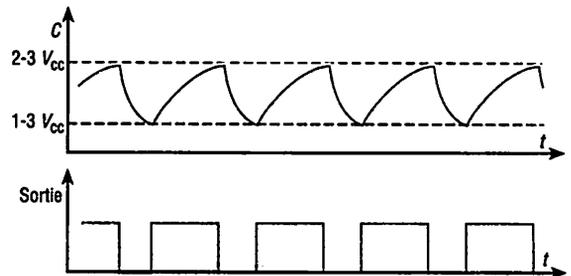
Temps de charge :

$$t_1 = 0,693 (R_1 + R_2) C$$

Temps de décharge :

$$t_2 = 0,693 \times R_2 \times C$$

• Courbes, tensions entrée et sortie



21

Gestion des automatismes

Une des données principales de l'évolution de la production industrielle est l'augmentation de la productivité, et par conséquent le développement des systèmes automatisés. Pour fonctionner automatiquement, les moyens de production font de plus en plus appel à des commandes programmées qui permettent une grande souplesse d'exploitation.

1 Rappels sur les automatismes

1.1. Structure d'un système automatisé (fig. 1)

On distingue, dans un système automatisé, la partie machine ou installation, de la partie commande constituée par :

- les capteurs pour la **détection** ;
- le **traitement des données** : relais, automates ;
- le **dialogue** homme-machine : pupitre, console, écran ;
- la commande de **puissance** : contacteurs, variateurs de vitesse, distributeurs.

1.2. Les outils d'analyse d'un système (fig. 2)

L'analyse d'un système technique et de son fonctionnement peut s'effectuer de différentes façons ; les plus courantes sont :

- **l'approche fonctionnelle** ; chaque fonction du système est représentée sous forme d'activités, on réalise un **actigramme**.
- **l'approche temporelle** ; c'est le déroulement des différentes activités dans le temps. L'emploi de GRAFCET fonctionnel, opérationnel ou de programmation permet de se situer dans un cycle.

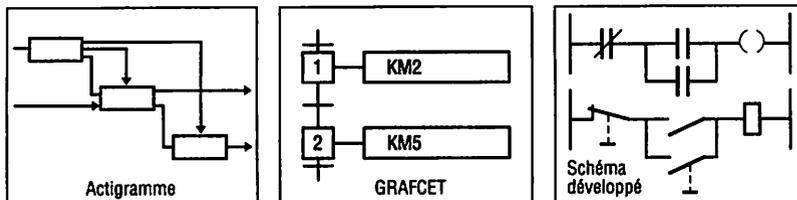


Fig. 2 : Différentes approches pour l'analyse d'un système.

- **l'approche structurelle** ; c'est la représentation géographique du système sur un plan, ou dans l'espace. Le dessin industriel, le schéma électrique en sont des exemples.

2 Approche fonctionnelle

Cette approche fonctionnelle d'un système a été abordée dans le livre BEP1 page 183, nous rappelons ici les règles de représentation.

OBJECTIFS

Connaissant l'algèbre binaire, les logigrammes, le GRAFCET, il faut être capable :

- d'analyser fonctionnellement un système simple en exploitant ces outils qui ont été étudiés dans le tome 1.

Face à un système séquentiel, il faut :

- définir le concept de logique programmée ;
- acquérir les connaissances sur la gestion des automatismes avec des automates programmables.

SAVOIR TECHNOLOGIQUE

S 5.2

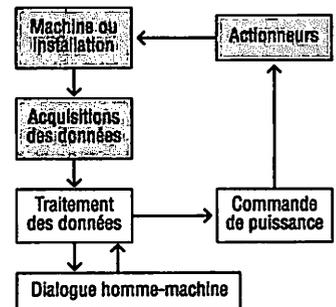


Fig. 1 : Partie commande en rouge et partie machine en gris.

2.1. Fonction d'usage (fig. 3)

C'est l'actigramme de niveau A0 qui représente le contexte général.

2.2. Actigramme de niveau A0 (fig. 4)

L'actigramme de niveau A0 d'un poste automatique se présente le plus souvent sous la forme générale (fig. 4), dans lequel on retrouve les actions correspondantes aux fonctions de la figure 1.

- Communiquer avec le système : c'est le dialogue homme machine.
- Traiter les données → traitement des données.
- Gérer l'énergie → commande de puissance.
- Traiter la matière d'œuvre → actionneurs + machine.
- Détecter les positions → acquisition des données.

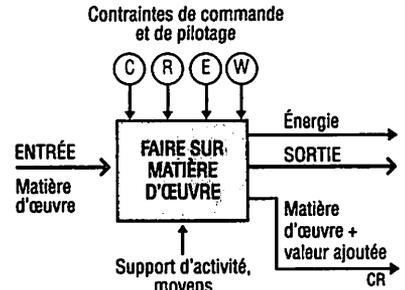


Fig. 3 : Représentation de niveau A-0.

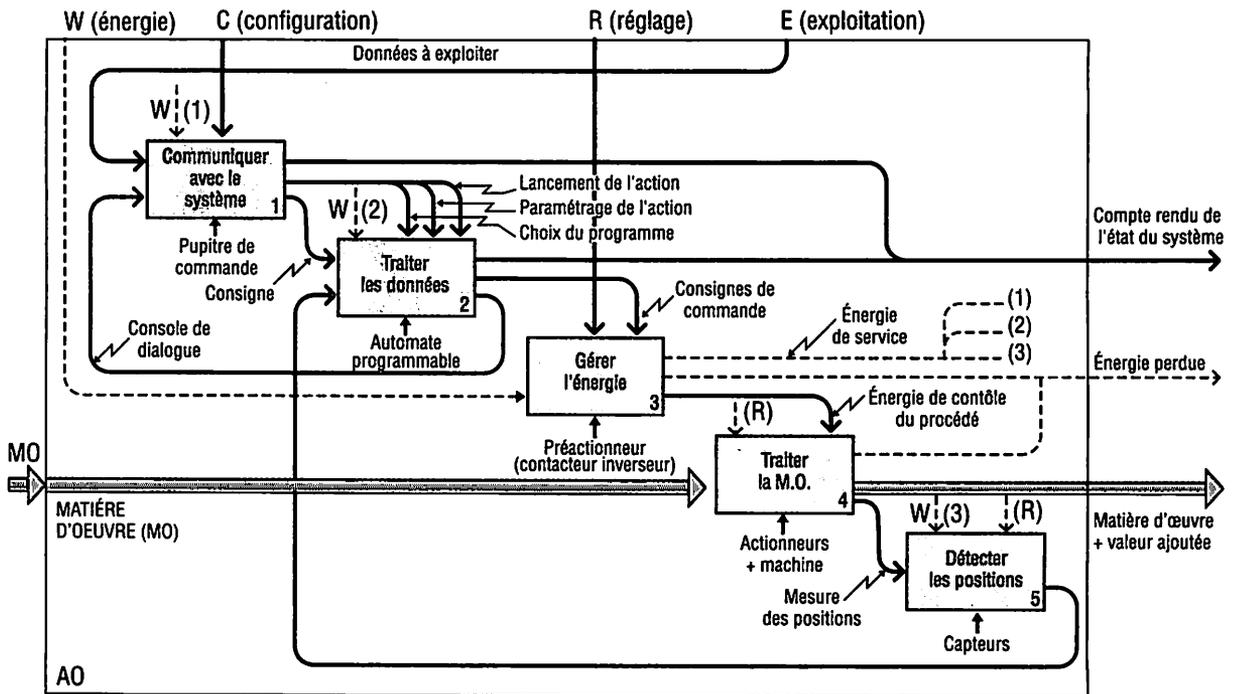


Fig. 4 : Actigramme type d'un système automatisé niveau A0.

2.3. Niveaux d'analyse (fig. 5)

La méthode SADT (Structure Analysis and Design Technic) propose un repérage des différents niveaux d'actigrammes : A-0, A0, A1, ...

3 Approche temporelle : le GRAFCET

Le GRAFCET est une représentation graphique fonctionnelle de l'évolution d'un cycle automatique dans le temps.

3.1. Rappel des définitions

a) Étape - Transition (fig. 6)

- L'**étape** correspond à un état stable appelé situation élémentaire. À chaque étape correspond une ou plusieurs actions.
- La **transition** indique la possibilité d'évolution d'une étape à l'étape suivante. À chaque transition, on associe des conditions logiques ou réceptivités.

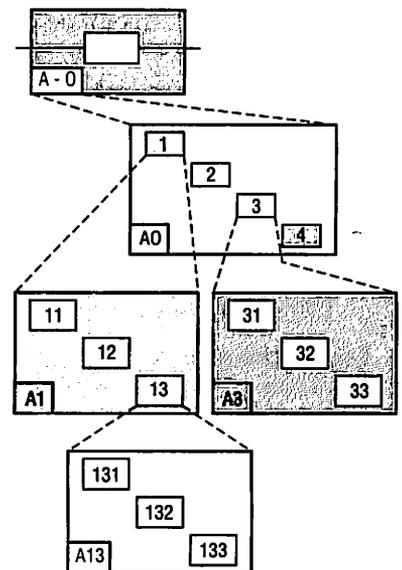


Fig. 5 : Différents niveaux de décomposition avec repérage.

b) Trois types de GRAFCET

– Le GRAFCET peut être tracé uniquement selon son aspect **fonctionnel**, il est indépendant de toute technologie. On l'appelle GRAFCET fonctionnel ou de la partie opérative (PO).

– Le GRAFCET des spécifications **technologiques** décrit le fonctionnement en détail en tenant compte de la technologie. Il s'appelle GRAFCET opérationnel ou de la partie commande (PC).

– Le **GRAFCET de programmation** est établi en fonction des adresses des entrées et sortie de l'automate.

c) Règle d'évolution

Le franchissement d'une **transition** entraîne simultanément l'activation de toutes les étapes qui suivent immédiatement et la désactivation de toutes les étapes qui précèdent.

3.2. Différentes formes de GRAFCET

a) Linéaire (fig. 7)

Les étapes se succèdent à la suite les unes des autres. En fin de cycle on revient à la première étape, on dit qu'il n'y a qu'une seule séquence.

b) Saut d'étape (fig. 8)

Le GRAFCET se parcourt en sautant de l'étape 3 à l'étape 6 tant que la condition $a \cdot x$ n'est pas vraie. Dans ce cas, il passe par toutes les étapes.

c) Reprise de séquence (fig. 9)

Tant que la condition $d \cdot r$ n'est pas vraie, le cycle se reboucle sur les étapes 12 et 13.

d) Séquences successives (fig. 10)

On l'appelle aussi aiguillage en OU, c'est-à-dire que selon l'état de la réceptivité $a \cdot \bar{x}$, on parcourt la branche 10, 11, 12 OU la branche 20, 21.

e) Séquences simultanées (fig. 11)

Lorsqu'on réalise simultanément plusieurs séquences après une transition, on parle de séquences simultanées. En fin de chacune des séquences simultanées, on a souvent des étapes d'attente 6 et 13 qui permettent de continuer sur une séquence commune. (Lorsque 6 et 13 sont actives, la transition = 1).

Remarque : Bien faire attention à la position du symbole de transition par rapport aux différentes divergences.

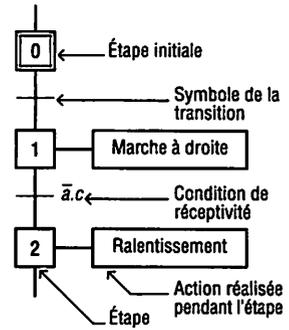


Fig. 6 : Représentation des étapes et transitions dans un GRAFCET.

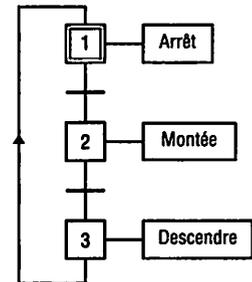


Fig. 7 : GRAFCET linéaire à une seule séquence.

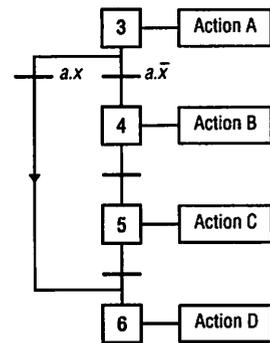


Fig. 8 : GRAFCET avec saut des étapes 4 et 5 tant que l'on a pas la condition $a \cdot x$ vraie.

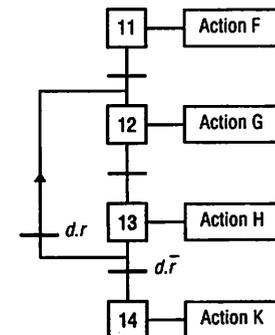


Fig. 9 : GRAFCET avec reprise de séquence, tant que la condition $d \cdot r$ n'est pas vraie.

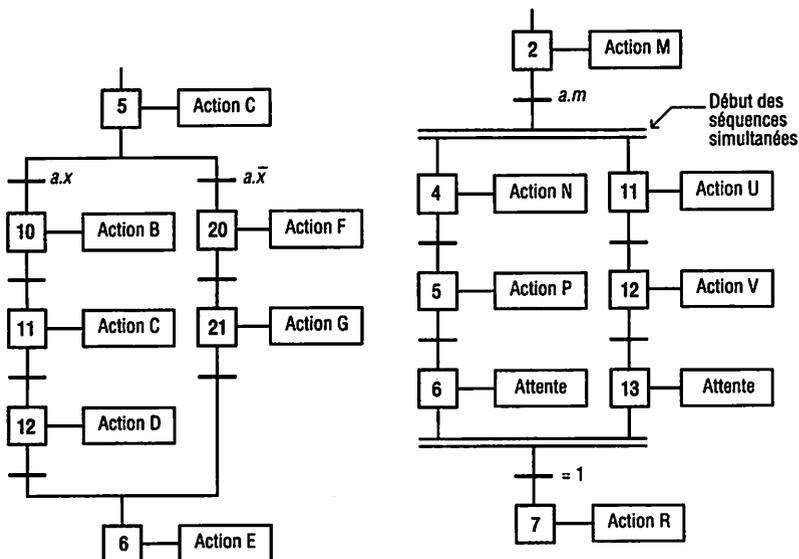


Fig. 11 : Aiguillage en ET avec séquences simultanées.

Fig. 10 : Aiguillage en OU.

4 Notion de logique programmée

4.1. Comparaison logique câblée ou programmée

- **Logique câblée** : elle est réalisée avec des composants reliés entre eux électriquement (fils ou circuit imprimé) selon un schéma conforme au fonctionnement de l'équipement.
- **Logique programmée** : elle est réalisée à partir d'un dispositif programmable identique quel que soit l'équipement. On introduit dans ce dispositif un programme d'instructions conforme au fonctionnement de l'équipement.

4.2. Inconvénients de la logique câblée (fig. 12)

- En cas de modification du cycle, il faut recâbler l'équipement.
- On rencontre des difficultés pour intégrer des fonctions complexes telles que comptage, multiplexage, calculs, mémoires.
- Complexité de la réalisation pour les équipements importants.

4.3. Principe général de la logique programmée

Des fonctions logiques, de calcul, de comparaison... existent à l'intérieur d'une unité arithmétique et logique (ALU). Elles sont sollicitées à partir d'un programme qui ouvre et ferme des portes ET en fonction des informations 0, 1 qu'il renferme (fig. 13).

Exemple : En mettant P_2 à 1 (100) on a la fonction ET entre a et b ; avec $P_1 = 1$ (010) on a un OU ; et avec $P_0 = 1$ (001) on a un OU exclusif.

5 Structure d'un automate programmable industriel

5.1. Constitution d'un API (fig. 14)

C'est un appareil possédant un microprocesseur ; il comporte :

a) Une alimentation électrique

Elle assure la transformation de la tension du réseau en tension continue 5-12 ou 15 V ou plus, selon les composants électroniques utilisés.

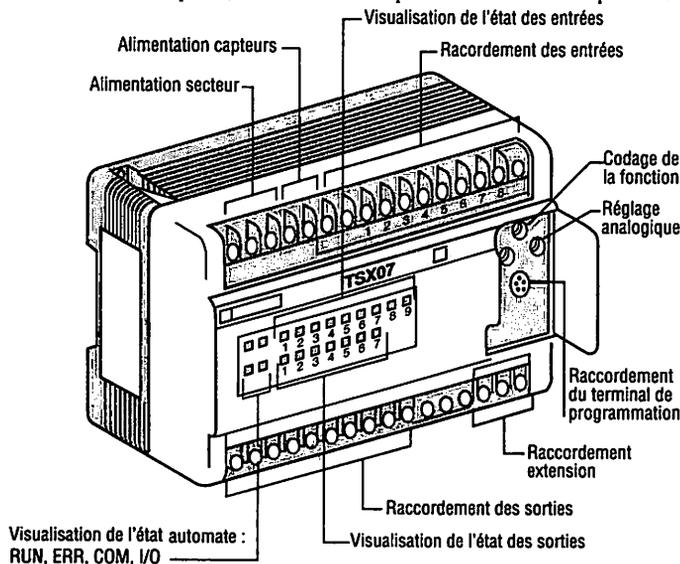


Fig. 14 : Structure générale d'un automate programmable.

b) Une unité centrale (fig. 15)

C'est la partie programmable de l'automate, elle comporte les éléments suivants.

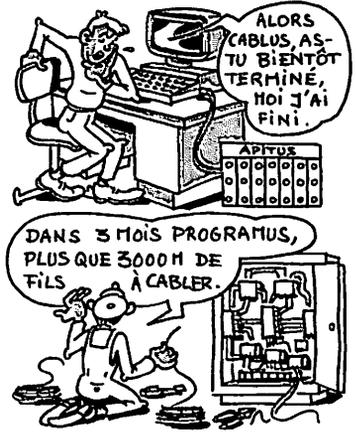


Fig. 12 : Comparaison logique câblée et programmée.

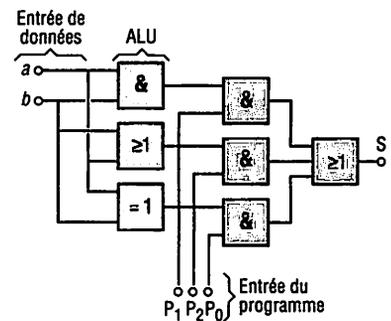


Fig. 13 : Exemple de modification d'un circuit de sortie d'ALU par programme binaire.

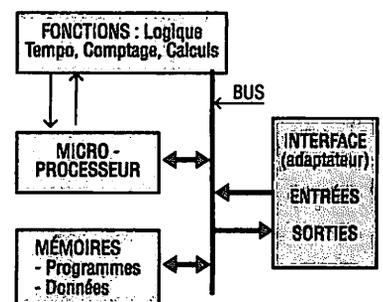


Fig. 15 : Structure interne d'une unité centrale d'API avec bus de communication.

- Un **microprocesseur**, qui est le chef d'orchestre (fig. 17), lit en permanence une partition qu'est le programme. Ce programme est enregistré dans une mémoire. En fonction des états des entrées (fig. 16), il modifie selon le programme les valeurs de sortie (fig. 18).
- Une **unité arithmétique et logique** accomplit les différentes fonctions de calcul, de temporisation, de comptage et de logique.
- Enfin, un **circuit d'interface** permet d'adapter les entrées et les sorties.

c) Cartes interfaces d'entrée ou de sortie

Elles assurent la transformation et l'adaptation des signaux électriques venant des capteurs ou des boutons-poussoirs (entrées) vers l'automate, et dans l'autre sens, des signaux allant de l'automate vers les contacteurs, voyants, électrovannes, etc. (fig. 19).

d) Console de programmation (fig. 20)

Elle permet d'écrire un programme, de le modifier et aussi de le relire afin de procéder à la mise en service de l'automate ou à la maintenance de l'équipement.

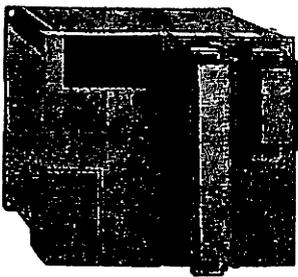


Fig. 19 : Automate TSX micro (Schneider).

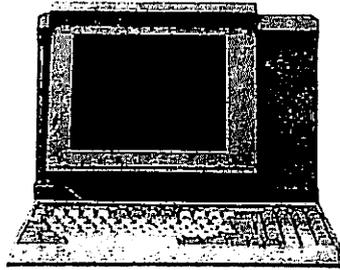


Fig. 20 : Console de programmation FTX 507 (Télémechanique-Schneider Electric).

5.2. Entrées (fig. 21)

a) Organes de commande

Les signaux qui proviennent des organes de commande sont très divers :

- **manuels** : boutons-poussoirs, commutateurs, sélecteurs...
- **automatiques** : fins de course, détecteurs de proximité, cellules photo-électriques, détection de pression, de vitesse, de température pour les plus courants.

b) Nature des signaux d'entrée

Elle peut être très diverse : de type Tout ou Rien (TOR) ou de type numérique ou analogique.

c) Tensions

Les tensions les plus couramment rencontrées sur les entrées sont :

- en courant continu : 12, 24, 48 V ;
- en courant alternatif : 24, 48, 130, 230 V.

Enfin, les entrées doivent être protégées contre les parasites qui sont souvent des surtensions dangereuses pour l'automate programmable.

5.3. Sorties (fig. 22)

Les modules de sortie assurent l'interfaçage entre l'automate et les organes commandés, c'est-à-dire que le signal de sortie est au niveau demandé et il est isolé de l'électronique de l'automate.

- **Les organes commandés** sont en général des contacteurs, des distributeurs pneumatiques ou hydrauliques, des voyants de signalisation.
- **Les modules de sortie** sont soit à base de relais électromagnétiques, soit à base de transistors ou de triacs pour les sorties statiques.
- **Les tensions applicables en sortie** sont en général de 24 à 240 V en courant alternatif et de 24 ou 48 V en courant continu (sortie statique).

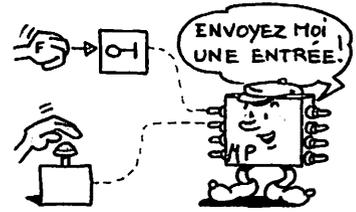


Fig. 16 : Acquisition de données.

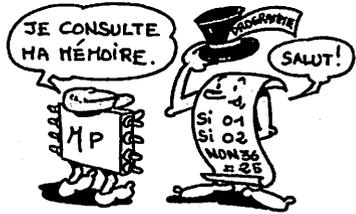


Fig. 17 : Traitement logique.

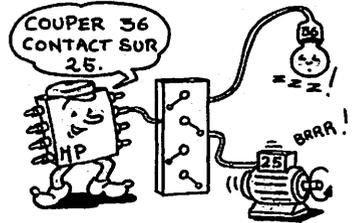


Fig. 18 : Activation d'une sortie.

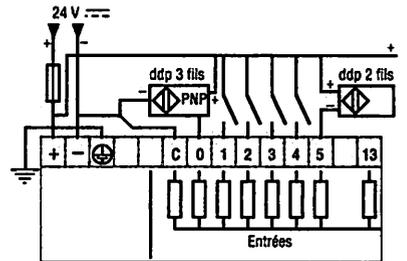


Fig. 21 : Branchement des capteurs sur les entrées 24 V à courant continu.

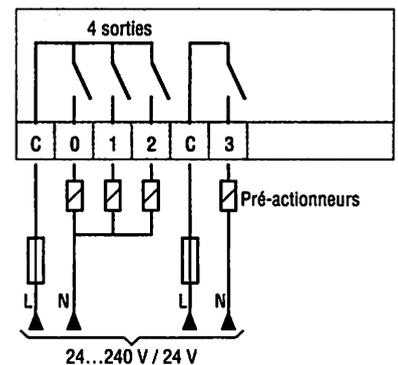


Fig. 22 : Branchement des bobines de contacteurs sur les sorties contacts de relais de l'automate programmable.

6 Programmation des automates

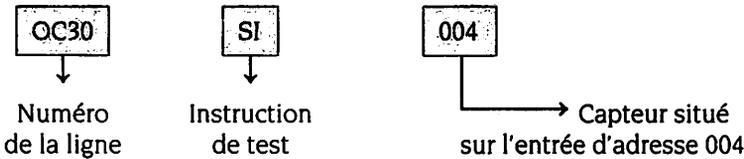
L'écriture d'un programme correspond à l'établissement du cycle d'un système automatique. Cette écriture peut s'effectuer à partir :

- d'un schéma à contacts (Ladder) (fig. 23) ;
- d'un logigramme (liste d'instructions) (fig. 24) ;
- d'un GRAFCET (Transition-Actions) (fig. 25) ;
- d'un organigramme, langage littéral (fig. 26).

6.1. Principe

Écrire un programme consiste à établir la liste des opérations logiques à réaliser à l'aide d'**instructions** de base et de différentes variables.

Exemple d'une ligne de programme :



On distingue toujours dans un programme :

- les opérations de test, ou de traitement logique ou numérique ;
- les opérations sur les sorties.

6.2. Exemple de langage automate

Selon les automates, des codes particuliers à chaque constructeur définissent le langage. Nous retiendrons quelques instructions de base.

a) Instructions

- LD : c'est l'opération de test ou de lecture d'une entrée ;
- AND : réaliser un ET logique ; - OR : réaliser un OU logique ;
- N : inverser une entrée négation ; - ST : mettre à 1 une sortie.

b) Repérage des entrées et sorties

On l'appelle aussi l'adressage, c'est le repère correspondant à l'adresse en mémoire, où on a stocké l'image du 0 ou du 1 qui sera donné par une entrée, ou appliqué à une sortie.

On suppose que l'on dispose de huit entrées et de huit sorties, elles seront aux adresses suivantes :

Entrées précédées de la lettre I : I.0, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7

Sorties précédées de la lettre Q : 08, 09, 10.1, 10.2, 10.3...

Exemple : soit le schéma d'une fonction ET (fig. 27) sur lequel on a indiqué les adresses des entrées et de la sortie.

c) Écriture du programme

Chaque ligne du programme est numérotée.

N° de ligne	Instruction ou opérateur	Adresse ou code opérande	Commentaires
00	LD	I0.1	- Tester l'entrée à l'adresse 0.1.
01	AND	I0.2	- Faire un ET logique entre l'entrée précédente et l'entrée 0.2.
03	SORTIE ST	Q10.1	- Donner le résultat du ET sur la sortie à l'adresse 10.1.

En conclusion, écrire un programme revient à écrire une liste d'instructions qui comprend :

- une **instruction** : c'est la réponse à la question *que faut-il faire ?*
- une **adresse** : c'est la réponse à la question *sur quoi faut-il le faire ?*

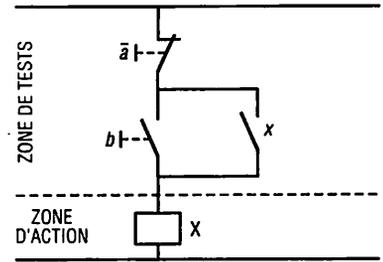


Fig. 23 : Schéma électrique à contacts.

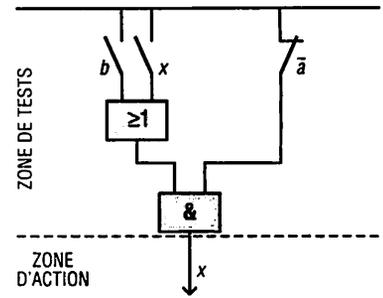


Fig. 24 : Logigramme pour langage de programmation de type « Liste ».

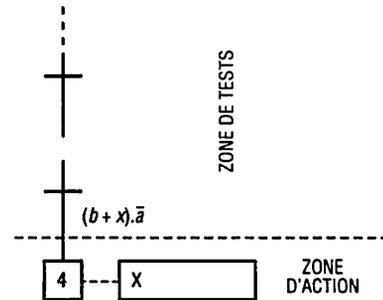


Fig. 25 : GRAFCET pour langage de programmation GRAFCET.

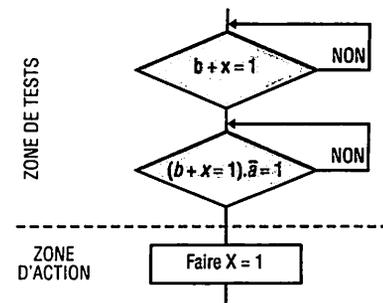


Fig. 26 : Organigramme de programmation.

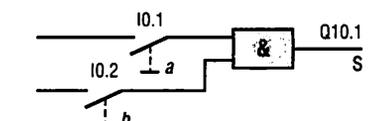


Fig. 27 : Fonction ET avec adressage des entrées et sorties.

L'essentiel

- Un système automatique comporte une partie machine avec ses actionneurs, et une partie commande comportant des capteurs, un traitement des données, une partie dialogue et une commande de puissance.
- L'approche fonctionnelle peut s'effectuer sous forme d'actigramme à différents niveaux. Pour chaque niveau, on définit la matière d'œuvre à l'entrée et à la sortie, les contraintes de commande ou de pilotage, le ou les supports d'activité.
- L'approche temporelle peut se faire sous forme d'un GRAFCET qui définit l'évolution d'un cycle automatique dans le temps.
- Les systèmes automatiques font appel à la logique programmée : un microprocesseur lit en permanence un programme enregistré dans une mémoire. En fonction des états des entrées, il modifie selon le programme l'état des sorties.
- L'automate programmable permet le traitement des données, il comporte : une unité centrale, des cartes d'entrée et de sortie, et une alimentation. Le programme comportant la liste des instructions est introduit à l'aide d'une console de programmation.



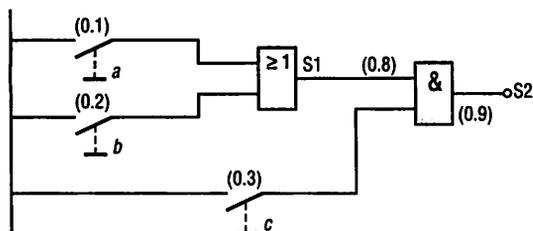
VRAI OU FAUX ?

Parmi les affirmations suivantes, indiquez celles qui sont vraies.

1. Dans un système automatisé, le traitement des données est effectué par des relais ou des automates.
2. Les capteurs assurent le dialogue homme-machine.
3. La commande de puissance peut être effectuée par des contacteurs.
4. L'approche fonctionnelle des systèmes est effectuée à l'aide d'une représentation par schéma électrique.
5. Le GRAFCET permet une approche temporelle pour l'analyse d'un système.
6. La représentation des systèmes, en dessin industriel, s'appelle une approche structurelle.
7. La méthode SADT utilise une représentation au moyen d'actigrammes.
8. Dans un GRAFCET, une étape correspond à une ou plusieurs actions.
9. Une étape s'appelle aussi une réceptivité.
10. Un GRAFCET fonctionnel dépend de la technologie utilisée.
11. Un GRAFCET de programmation tient compte des adresses des entrées et sorties de l'automate.
12. Un GRAFCET de la partie commande, s'appelle aussi GRAFCET des spécifications technologiques.
13. On appelle reprise de séquences, un cycle qui se reboucle sur certaines séquences.
14. La logique câblée s'effectue avec des éléments logiques reliés entre eux par des conducteurs.
15. La logique programmée est très difficilement modifiable.
16. Dans un automate programmable, c'est le microprocesseur qui traite toutes les données.
17. Une entrée dans un automate programmable permet de recevoir des signaux tout ou rien.
18. Une sortie d'automate programmable peut commander des relais électriques.
19. La programmation d'un automate peut se faire à partir d'un GRAFCET.
20. Les entrées et les sorties d'un automate correspondent à des adresses fixées par le constructeur.

RÉSOLUS

1. En utilisant les instructions LD, AND, OR, N, ST, définies page 206 paragraphe 6.2, écrivez le programme correspondant au logigramme ci-dessous.



Solution :

On affecte aux entrées a, b, et c les adresses 0.1, 0.2, 0.3, et aux sorties S1 et S2 les adresses 0.8, 0.9.

Le programme peut s'écrire :

00	LD	I 0.1	} Fonction OU
01	OR	I 0.2	
02	ST	Q 0.8	
03	LD	Q 0.8	} Fonction ET avec la sortie du OU
04	AND	I 0.3	
05	ST	Q 0.9	

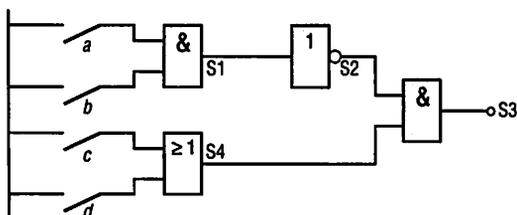
2. En utilisant la documentation des pages 209 à 211, indiquez la référence de l'automate qui possède : 12 entrées isolées en 24 V courant continu, et 8 sorties à relais.

Solution :

Il y a un automate qui correspond à ces caractéristiques : TSX 07 3 L 2028.

À RÉSOUDRE

1. Étant donné le logigramme ci-dessous, écrivez le programme correspondant en utilisant les instructions et les adresses définies page 206 paragraphe 6.2.



2. Recherchez les caractéristiques des entrées isolées « tout ou rien » en 24 V courant continu et en 115 V-50 Hz, pour un TSX nano.
3. Quels sont les langages utilisables sur les automates de la série TSX nano ?
4. On veut ajouter à un automate TSX nano un module d'extension « tout ou rien » comportant 7 sorties à relais ; donnez sa référence.
5. Donnez la référence d'un automate programmable alimenté en 100/240 V et possédant 8 entrées 24 V et 6 sorties à relais. Cet automate sera du type non extensible (documentation page 210).

6. Donnez la référence d'un automate programmable alimenté en 24 V alternatif, et possédant 14 entrées 24 V et 10 sorties à relais. Cet automate sera du type extensible (documentation page 210).
7. Donnez la référence d'un automate programmable alimenté en 100/240 V et possédant 14 entrées 24 V et 10 sorties à relais. Cet automate sera du type extensible (documentation page 210).
8. Donnez la référence d'un automate programmable alimenté en 100/240 V et possédant 24 entrées/sorties, et une entrée analogique intégrée. Précisez le nombre d'entrées et le nombre de sorties (documentation page 210).
9. Donnez la référence d'une extension d'automate programmable alimentée en 24 V continu, et possédant 24 entrées/sorties. Précisez le nombre d'entrées et le nombre de sorties ainsi que leurs types (documentation page 210).
10. Donnez la référence d'une extension d'automate programmable alimentée en 100/240 V et possédant 24 entrées/sorties. Précisez le nombre d'entrées et le nombre de sorties ainsi que leurs types (documentation page 210).

Automates TSX Nano

Description

Introduction

- La mise en œuvre de l'automate s'effectue par le logiciel PL7-07 sous windows, en utilisant le langage à contact ou le langage liste d'instructions.
- Capacité de 10 à 48 E/s « tout ou rien ».
- Comptage, décomptage rapide, fréquencemètre.
- Horodateur intégré.
- Une entrée analogique intégrée.
- Existe en deux versions en non extensibles ou extensibles.

Automates TSX Nano non extensibles

Les automates TSX Nano non extensibles **TSX 07 3L••28** comprennent en face avant :

- 1 prise⁽¹⁾ pour raccordement du terminal de programmation (ou bus Uni-Telway ou liaison série)
- 2 une visualisation :
 - des entrées 0 à 7 ou 0 à 11
 - des sorties 0 à 5 ou 0 à 7
 - de l'état automate (RUN, ERR, COM, I/O)
- 3 un raccordement de l'alimentation secteur
- 4 une alimentation capteurs (: 24 V/150 mA)
- 5 un raccordement des capteurs d'entrées
- 6 un raccordement des préactionneurs de sorties
- 7 un cadre amovible pour protection des borniers à vis.

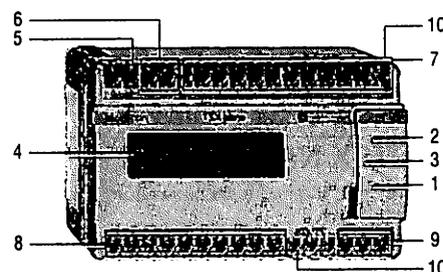
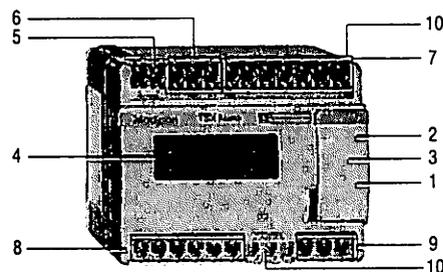
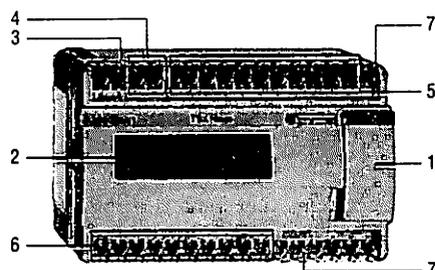
Automates TSX Nano extensibles

Les automates TSX Nano extensibles à 10 entrées/sorties **TSX 07 30 10••** comprennent en face avant :

- 1 une prise⁽¹⁾ pour raccordement du terminal de programmation (ou bus Uni-Telway ou liaison série)
- 2 un sélecteur pour codage de la fonction base/extension
- 3 un point de réglage analogique
- 4 une visualisation :
 - des entrées 0 à 5 et sorties 0 à 3
 - de l'état automate (RUN, ERR, COM, I/O)
- 5 un raccordement de l'alimentation secteur
- 6 une alimentation capteurs (: 24 V/150 mA) sur modèles alimentés en ~ 100/240 V
- 7 un raccordement des capteurs d'entrées
- 8 un raccordement des préactionneurs de sorties
- 9 un raccordement extension (extension d'entrées/sorties et/ou extension automate) ou raccordement Modbus esclave⁽²⁾
- 10 un cadre amovible pour protection des borniers à vis.

Les automates TSX Nano extensibles à 16/24 entrées/sorties **TSX 07 31 16/24** comprennent en face avant :

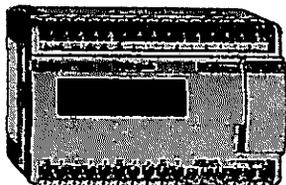
- 1 une prise⁽¹⁾ pour raccordement du terminal de programmation (ou bus Uni-Telway ou liaison série)
- 2 un sélecteur pour codage de la fonction base/extension
- 3 deux points de réglage analogique
- 4 une visualisation :
 - des entrées 0 à 8 ou 0 à 13 et sorties 0 à 6 ou 0 à 9
 - de l'état automate (RUN, ERR, COM, I/O)
- 5 un raccordement de l'alimentation secteur
- 6 une alimentation capteurs (: 24 V/150 mA) sur modèles alimentés en ~ 100/240 V
- 7 un raccordement des capteurs d'entrées
- 8 un raccordement des préactionneurs de sorties
- 9 un raccordement extension (extension d'entrées/sorties et/ou extension automate) ou raccordement Modbus esclave⁽²⁾
- 10 un cache amovible pour protection des borniers à vis.



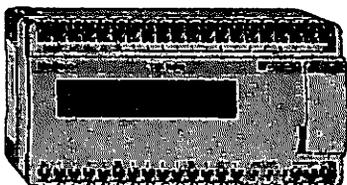
(1) Connecteur type mini-DIN 8 contacts femelle.

(2) Raccordement Modbus pour les automates TSX 07 30/31 ••••• uniquement.

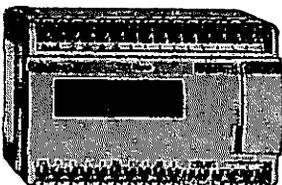
TSX Nano Références



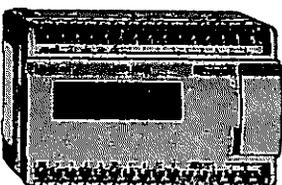
TSX 07 16



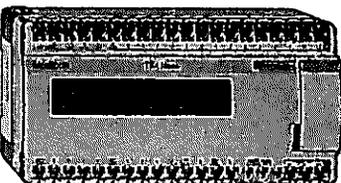
TSX 07 31-24 / TSX 07 31 1648



TSX 07 33 1628



TSX 07 EX 16



TSX 07 EX 24

Base automates TSX Nano non extensibles

Ces bases ne peuvent recevoir aucune extension. Elles intègrent une communication étendue : liaison Uni-Telway maître/esclave ou liaison ASCII en émission/réception. L'alimentation capteur $\sim 24\text{ V}/150\text{ mA}$ n'est pas protégée.

nombre d'E/S	entrées	sorties relais	sorties transistors 24 V 0,5 A	référence (1)
alimentation $\sim 100/240\text{ V}$				
14	8 E $\sim 24\text{ V}$	6 S		TSX 07 3L 1428
20	12 E $\sim 24\text{ V}$	8 S		TSX 07 3L 2028

Base automates TSX Nano extensibles

La base automate TSX Nano s'utilise comme automate de base (1 par configuration), comme extension d'entrées/sorties (1 maximum par configuration) ou comme extension automate (3 maximum par configuration).

nombre d'E/S	entrées	sorties relais	sorties transistors 24 V 0,5 A	référence (1)
alimentation $\sim 24\text{ V}$				
10	6 E $\sim 24\text{ V}$	4 S		TSX 07 30 1022
			4 S protégées (LP)	TSX 07 30 1012
			4 S non protégées (LN)	TSX 07 30 1002
16	9 E $\sim 24\text{ V}$	7 S		TSX 07 31 1622
			7 S protégées (LP)	TSX 07 31 1612
			7 S non protégées (LN)	TSX 07 31 1602
24	14 E $\sim 24\text{ V}$	10 S		TSX 07 31 2422
			10 S protégées (LP)	TSX 07 31 2412
			10 S non protégées (LN)	TSX 07 31 2402

alimentation $\sim 100/240\text{ V}$				
10	6 E $\sim 24\text{ V}$	4 S		TSX 07 30 1028
			4 S non protégées (LP)	TSX 07 30 1008
16	9 E $\sim 115\text{ V}$	7 S		TSX 07 31 1648
	9 E $\sim 24\text{ V}$	7 S		TSX 07 31 1628
			7 S non protégées (LN)	TSX 07 31 1608
24	14 E $\sim 24\text{ V}$	10 S		TSX 07 31 2428
			10 S non protégées (LN)	TSX 07 31 2408

LP = logique positive LN = logique négative

Bases automates TSX Nano

(avec une entrée analogique intégrée)⁽²⁾

nombre d'E/S	entrées	sorties relais	sorties transistors 24 V 0,5 A	référence (1)
alimentation $\sim 100/240\text{ V}$				
10	6 E $\sim 24\text{ V}$	4 S	1 E 0/10 V	TSX 07 32 1028
16	9 E $\sim 24\text{ V}$	7 S	1 E 0/10 V	TSX 07 32 1628
24	24 E $\sim 24\text{ V}$	10 S	1 E 0/10 V	TSX 07 32 2428

Extensions automates TSX Nano

Ces extensions permettent, à moindre coût, d'étendre les bases automates TSX Nano extensibles (1 extension maxi par base).

nombre d'E/S	entrées	sorties relais	sorties transistors 24 V 0,5 A	référence (1)
alimentation $\sim 24\text{ V}$				
16	9 E $\sim 24\text{ V}$		7 S protégées, logique positive	TSX 07 EX 1612
24	14 E $\sim 24\text{ V}$		10 S protégées, logique positive	TSX 07 EX 2412
alimentation $\sim 100/240\text{ V}$				
16	9 E $\sim 24\text{ V}$	7 S		TSX 07 EX 1628
24	24 E $\sim 24\text{ V}$	10 S		TSX 07 EX 2428

(1) Inclut de base un aide mémoire multilingue (français, anglais, allemand, italien et espagnol).

(2) Les automates TSX 07 32/33 22 ne disposent pas de la liaison pour extension d'entrées/sorties et/ou extension automate ou de la liaison Modbus esclave.

Automates TSX Nano

Caractéristiques

Environnement

conformité aux normes		IEC 1131-2, IEC 664, UL 508, UL 746 C, UL 94, CSA 22-2 n° 142, EN 50081/classe B	
température de fonctionnement	°C	0... + 60	
de stockage	°C	- 25... + 70	
hygrométrie sans condensation	%	5... 95	
altitude	m	0... 2000	
tenu aux vibrations		selon IEC 68-2-6 essais FC	
tenu aux chocs mécaniques		selon IEC 68-2-27 essais EA	

Caractéristiques des alimentations

type d'automates		TSX 07 30/31/32/33...8, TSX 07 3L...28, TSX 07 EX...28	TSX 07 30/31...2, TSX 07 EX...12
tension d'alimentation nominale	V	~ 100...240	~ 24
limite	V	85...264	190,2...30
fréquence nominale	Hz	50/60	
limite	Hz	47...63	
puissance nécessaire		≤ 30 VA	≤ 14 W
alimentation protégée capteurs	V	24/150 mA	
isolement primaire/terre	V _{off}	2000/50-60 Hz	2000/50-60 Hz
micro-coupures durée	ms	≤ 10	≤ 1

Caractéristiques des entrées « Tout ou Rien »

type d'automates		TSX 07 30/31/32/33...8, TSX 07 3L...28, TSX 07 EX...28	TSX 07 30/31...2, TSX 07 EX...12
type d'entrées	V	~ 24 (résistive)	~ 115 (capacitive)
valeurs nominales d'entrée tension	V	~ 24	~ 115/120
courant	mA	7	10
alimentation capteurs	V	~ 19,2...30 (ondulation comprise)	
valeurs limites d'entrée à l'état 1			
tension	V	≥ 11	≥ 79
courant	mA	≥ 2,5 pour 11 V	≥ 4 pour 79 V
à l'état 0			
tension	V	≤ 5	≤ 20
courant	mA	≤ 1,2	≤ 2
logique		positive ou négative selon câblage	
temps de filtrage		12 ms, 3 ms ou 100 µs (sur 10,0 à 10,7/ 375 µs (sur 10,8 à 10,13))	12 ms
isolement entre groupe de voies	V _{off}	1500/50-60 Hz	1500/50-60 Hz
nature		coupleur optoélectronique	

Caractéristiques des sorties « Tout ou Rien »

type de sorties		relais	transistors, logique positive	transistors, logique négative
nature des sorties		1 contact à fermeture	protégées	non protégées
charges (valeurs nominales) tension	V	~ 24...220	~ 24	~ 24
courant nominal	A		0,5	0,5
voyant tungstène	W		≤ 10	≤ 10
charges ... tension	V	24	19,2...30	19,2...30
courant	A	DC-12 : 1-24 V (0,3 × 10 ⁶ cycles de man.) DC-13 : 0,4-24 V (1 × 10 ⁶ cycles de man.)	0,625 (sous 30 V) commun des charges au « - »	0,625 (sous 30 V) commun des charges au « + »

22

Programmation d'A.P.I. en langage liste

La commande d'un système automatique est réalisée par un automate programmable industriel. Chaque constructeur définit un langage pour une famille d'automates ; le langage liste est une forme très répandue de programmation des A.P.I.

1 Automate programmable

Parmi tous les automates existants, nous donnons à titre d'exemple un automate TSX 17-20 (Schneider Electric) très employé sur les systèmes didactiques.

1.1. Constitution (fig.1)

Cet automate dispose du langage PL 7-1 (traitement sur bits). L'adjonction d'une cartouche micrologicielle permet le traitement des programmes en langage PL 7-2 (traitement sur bits et sur mots de 16 bits). Cet automate comporte une unité centrale avec microprocesseur et une RAM interne de 24 kilo-octets.

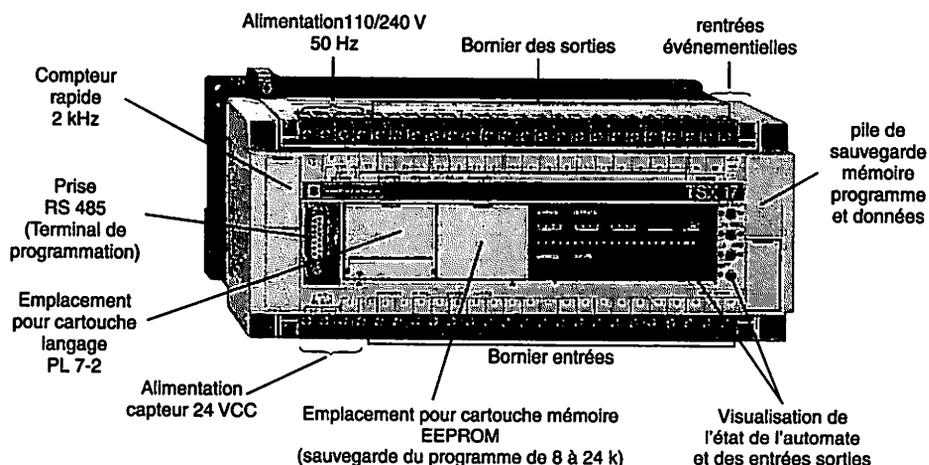


Fig. 1 : Constitution d'un automate TSX 17-20 (Schneider).

1.2. Caractéristiques

Les caractéristiques générales des automates de la série 17 sont données page 218. Pour le TSX 17-20 nous retiendrons :

- **Fonctions** : fonctions logiques et temporisateur, compteurs, registres...
- **Langages** : langage type PL 7-1 et PL 7-2 ; avec traitement combinatoire, séquentiel ou GRAFCET.
- **Autres caractéristiques** : 120 entrées/sorties, 256 variables internes, GRADCET de 62 à 96 étapes.

OBJECTIFS

Pour être capable de décoder un programme d'automate programmable, il faut acquérir les éléments essentiels du langage et la forme donnée au langage (dans ce chapitre le langage liste d'instructions).

SAVOIR TECHNOLOGIQUE

S 5.2

1.3. Mise en œuvre

a) Visualisation de l'état de l'automate

Les comptes rendus des autotests effectués en permanence par les automates sont constamment visualisés par quatre voyants, qui peuvent être soit éteints, soit en feu fixe, soit en feu clignotant (fig. 2).

b) Visualisation des entrées et sorties

L'automate indique de façon permanente l'état des entrées. L'état des sorties est aussi affiché selon la valeur 0 ou 1 du bit système SY 14 (tableau 1).

Tableau 1

Éléments visualisés	État SY 14	Langage	0 1 2 3	4 5 6 7	8 9 10 11	12 13 14 15
Sorties	0	PL 7-1 PL 7-2	00,00----	00,04----	00,08----	00,12----
Bits internes	1	PL 7-1	B 255----	B 251----	B 247----	B 243----
Mot SW 16	1	PL 7-2	4 ^e quartet	3 ^e quartet	2 ^e quartet	1 ^{er} quartet

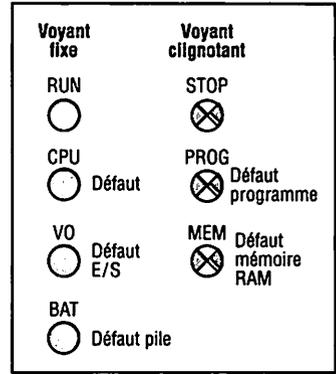


Fig. 2 : Visualisation des défauts en feu fixe \bigcirc ou en clignotant \otimes .

1.4. Raccordement

Un automate est alimenté par le secteur, il reçoit ses informations des capteurs et les sorties commandent des bobines de relais.

a) Interfaces d'entrée (fig. 3)

Elles assurent l'isolement entre l'extérieur, circuits des capteurs, et l'intérieur de l'automate. Les entrées sont soit en 24 V courant continu, soit en 110 V courant alternatif. Dans le cas du 24 V_{cc}, le courant est fourni par une alimentation interne à l'automate.

b) Interfaces de sorties (fig. 4)

Elles permettent de commander des bobines de contacteurs, électrovannes, moteurs, etc. Elles sont réalisées à partir de contacts de relais ou avec des transistors (dans ce cas, pour le TSX 17, ces sorties débitent 0,35 A sous 24 V_{cc}).

c) Exemple de raccordement (fig. 5)

Voici le schéma de raccordement d'un automate TSX 17-20 comportant :

- 22 entrées 24 V_{cc} isolées,
- 12 sorties à relais, de 24 à 240 V_{ca} ou 25 V_{cc}.

En savoir plus...

Un bit interne est une case mémoire munie d'une adresse. Le bit peut être mis à 1 ou à 0, comme un relais qui serait enclenché ou déclenché.

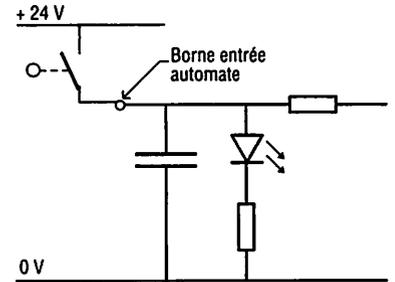


Fig. 3 : Entrée automate.

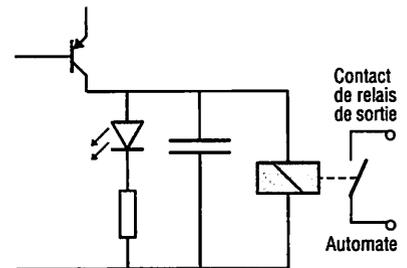


Fig. 4 : Sortie d'automate sur contact.

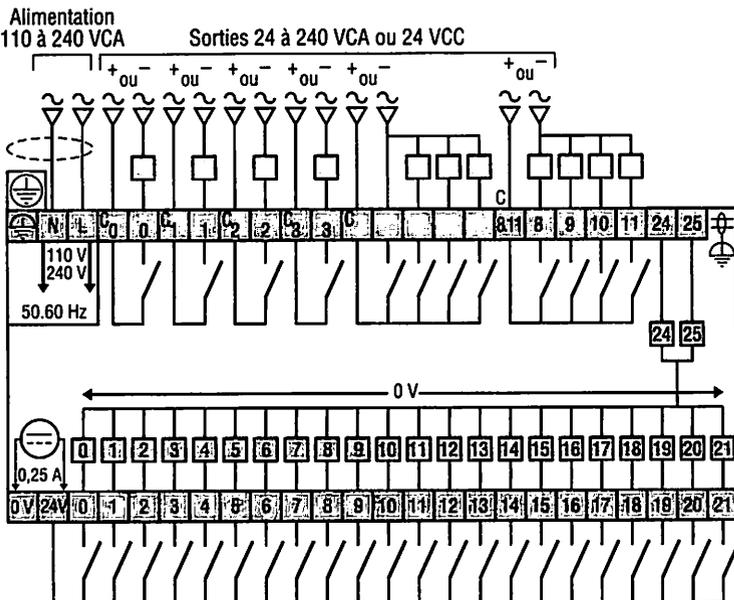


Fig. 5 : Raccordement d'un TSX 17.

Entrées 24 VCC

2 Programmation de l'automate

2.1. Présentation

Le langage PL 7-1 permet de programmer les automates TSX 17 et 27, sous forme de listes d'instructions à partir :

- d'un schéma à contact ;
- d'un GRAFCET ;
- d'un logigramme d'équations booléennes.

Il inclut les fonctions d'automatisme telles que temporisateurs, compteurs pas à pas, registre à décalage.

2.2. Adressage des entrées/sorties

L'adressage des entrées et sorties correspond à un bit interne de la mémoire de l'automate.

Exemple d'adressage sur TSX 17 :

Adresse d'une entrée : I 0,02 ; d'une sortie O 0,15 (pour distinguer les O du chiffre 0 on peut barrer ce dernier : Ø).

2.3. Principe d'écriture d'un programme

Un programme en langage PL 7-1 est composé d'une suite d'instructions. Chaque instruction se compose des éléments suivants.

- Un numéro de ligne ou d'adresse.
- Un **code opération** indiquant le type d'opérateur à exécuter.

Exemple :

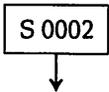
Opérations ET (Code A), OU (Code O).

- Un **opérande** indiquant l'objet sur lequel s'effectue l'opération.

Il est lui-même composé de deux parties (fig. 6 et 7) :

- son type : par exemple (I) pour entrée et (O) pour sortie ;
- son adresse géographique sur l'automate : par exemple 0,03.

Exemple :



Adresse ou n°s de ligne



Code opération ET



Opérande
Entrée d'adresse 0,05

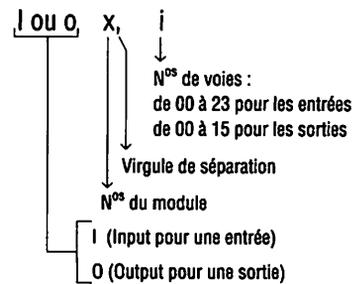


Fig. 6 : Principe de l'adressage des entrées et sorties automates.

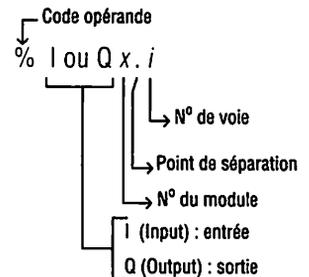


Fig. 7 : Nouveaux repères pour l'adressage des entrées et sorties d'automate.

2.4. Instructions en langage PL 7-1 (tableaux 2 et 3)

Tableau 2 : Instructions de base.

Codes opérations de test	<ul style="list-style-type: none"> • L : (LOAD) lire l'état d'un bit • A : (AND) ET logique, contacts en série • O : (OR) OU logique, contacts en parallèle • XO (XOR) OU exclusif 	<ul style="list-style-type: none"> • P : (Pulse) Élaboration d'une impulsion • IM : Mémoire intermédiaire • N : (Négation) Inversion d'une variable
Codes opérations d'action	<ul style="list-style-type: none"> • = : Rangement du résultat dans l'opérande • = N : Rangement de l'inverse du résultat • R : Mise à 0 conditionnelle • S : Mise à 1 conditionnelle • = ★ : Affectation à un groupe de 8 bits • SET ★ : Mise à 1 d'un groupe de 8 bits • RST ★ : Mise à 0 d'un groupe de 8 bits 	<ul style="list-style-type: none"> • CU : Incréméntation { Compteur sauf C15, pas à pas, et registres • CD : Décréméntation • H : Gel d'un temporisateur • JUMP : Saut de programme à étiquette • LAB : Définition d'une étiquette (128) • EP : Fin de programme • NOP : Instruction nulle, inopérante
Instructions GRAFCET	<ul style="list-style-type: none"> • = ★ = i : Étape initiale • - ★ - i : Étape GRAFCET 	<ul style="list-style-type: none"> • # i : Activation de l'étape i • Xi : Bit associé à l'étape i

Tableau 3 : Codes des bits et blocs fonctions PL 7-1.

Objet bits adressables (opérands)	Désignation	Nombre maximal
	I/O, x, i : Entrées/sorties	120
	I 0,24-I 0,25 : Entrées événementielles	2
	Bi : Bits internes	256
	CYi : Bits système	24
	Si : Bits statuts, bits état par module	5
Blocs fonctions	Désignation	Nombre maximal
	Ti : Temporisateurs (10 ms à 9999 min)	32
	Ci : Compteurs (0...9999)	15
	C15 : Compteur/temporisateur rapide (0...9999) (Base de temps 0,555 ms)	1
	SCi : Pas à pas de 256 pas	8
	SRi : Registres à décalage de 16 bits	8

Le langage PL7-1 est un langage liste d'instructions utilisé pour les automates de type TSX17-10 et TSX17-20.

Il permet une transcription directe sous forme de liste d'instructions :

- d'un schéma à contact ;
- d'un logigramme d'équations booléennes ;
- d'un GRAFCET (instructions spécialisées = ★ = ...).

Il réalise aussi des fonctions d'automatisme telles que temporisation compteur, pas à pas, registres à décalage.

3 Le langage liste d'instructions

Exemples d'écriture de programme en langage liste.

a) À partir d'un schéma à contacts (fig. 8 et tableau 4)

Tableau 4

Adresse	Code	Opérande	Commentaires
S 0000	L	I 0,01	Tester capteur C1
S 0001	ON	I 0,02	Faire un OU-NON avec C2
S 0002	A	I 0,03	Faire un ET avec résultat précédent
S 0003	=	O 0,01	Activer la sortie AL
S 0004	L	I 0,04	Tester la fin de course S4
S 0005	=N	O 0,02	Activer en complément la sortie VR

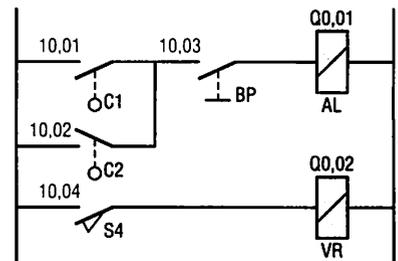


Fig. 8 : Schéma à contacts.

b) À partir d'un GRAFCET (fig. 9 et tableau 5)

Tableau 5

Adresse	Code	Opérande	Commentaires
S 0015	- * -	03	Étape 03
S 0016	L	B 012	Lire le bit a, ordre de remplissage
S 0017	#	04	Activer l'étape 04
S 0018	#	05	Activer l'étape 05
S 0019	- * -	04	Étape 04
S 0020	L	I 0,07	Lire l'entrée 0,07
S 0021	#	06	Activer l'étape 06

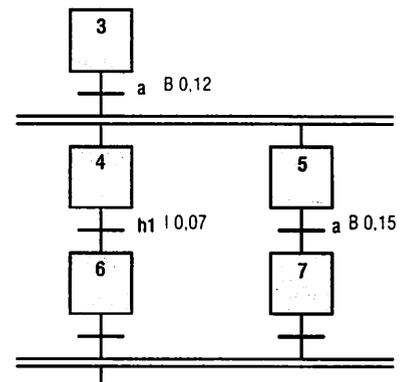


Fig. 9 : GRAFCET.

L'essentiel

- La fonction « traiter les données » est assurée par un automate programmable.
- L'automate programmable reçoit ses informations :
 - des capteurs situés sur la partie opérative ;
 - des boutons-poussoirs situés sur le pupitre ;
 - de la console de programmation pour le programme à exécuter.
- Le programme de l'automate est écrit dans un langage liste PL7-1. Il est établi à partir d'un schéma à contact, d'un GRAFCET, ou d'un logigramme. Une ligne de programme comporte au moins un numéro de ligne ou adresse, un code opération, un code opérande. Des commentaires sur chaque ligne de programme aident à la compréhension du programme.
- L'analyse du système automatique comporte :
 - une approche fonctionnelle : l'analyse fonctionnelle (SADT) ;
 - une approche temporelle : le cycle à réaliser et le GRAFCET ;
 - une approche structurale : la disposition du poste.En fonction de ces différentes analyses, on peut écrire le programme de l'automate dans le langage codifié par le constructeur.
- L'équipement électrique complète l'approche structurale. Il comporte un schéma du circuit de puissance et un schéma du circuit de commande.



VRAI OU FAUX ?

EXERCICES

Parmi les affirmations suivantes, indiquez celles qui sont vraies.

1. Un automate programmable permet de traiter les informations pour commander un système automatique.
2. Le langage de programmation est commun à tous les types d'automates programmables.
3. Un automate programmable est caractérisé par son nombre d'entrées et de sorties.
4. Les informations d'entrées sont données par des capteurs.
5. Les informations de sortie sont données par des boutons-poussoirs.
6. Les sorties d'un automate peuvent être réalisées à partir de relais ou avec des transistors.
7. Les entrées, sur un automate, sont caractérisées par une tension continue ou alternative.
8. Les sorties d'un automate sont caractérisées par leur résistance.
9. Le numéro d'une sortie d'automate correspond à une adresse pour le programme.
10. Un programme d'automate commence toujours par un numéro de ligne.
11. Le code opération indique l'adresse d'un capteur.
12. Le code opérande indique s'il s'agit d'une entrée ou d'une sortie, ainsi que son adresse.
13. Un programme est une liste de codes d'opération et de codes opérandes.
14. L'automate TSX 17 accepte n'importe quel langage.
15. On peut écrire un programme à partir d'un schéma à contacts.
16. Un automate comporte des bits internes.
17. Il n'est pas possible d'écrire un programme à partir d'un logigramme.
18. Le langage liste ne permet pas d'écrire un programme à partir d'un GRAFCET.
19. Le langage PL7-1 est spécifique à l'automate TSX 17.
20. Il faut des instructions particulières pour traduire un GRAFCET en programme d'automate.

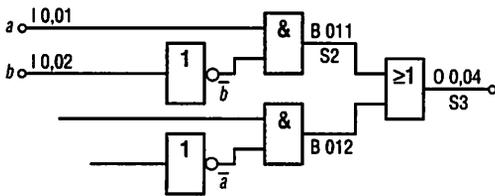
RÉSOLUS

1. Recherchez le logigramme correspondant au programme suivant.

S 000 6	L	I 0,01	S 00011	=	B 0,12
7	AN	I 0,02	12	=	B 0,11
8	=	B 0,11	13	OU	B 0,12
9	L	I 0,02	14	=	O 0,04
10	AN	I 0,01	S 00 15	EP	

B 011 et B012 sont des bits internes.

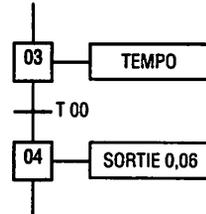
Solution : Les trois premières lignes indiquent une fonction ET, la 2^e entrée étant complémentée de même pour les trois lignes suivantes.



Les résultats des deux ET précédents sont mis en mémoire (bits internes de 1 à 256). On réalise ensuite un OU avec les sorties des deux ET précédents, d'où le schéma précédent.

2. Décodez le programme suivant et donnez le GRAFCET correspondant.

#	03
- * -	03
L	T 00
#	04
- * -	04
L	× 04
=	00,06

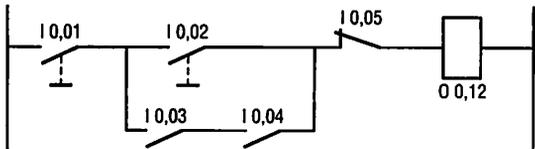


Solution :

Il s'agit d'une étape avec temporisation et à l'étape 4, on a la sortie 0,06.

À RÉSOUDRE

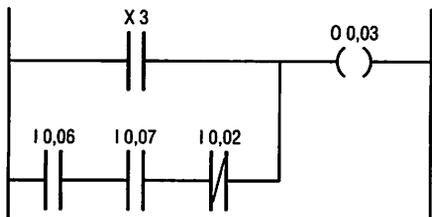
1. Traduisez le schéma à contacts ci-dessous en langage PL 7-1.



2. Décodez et tracez le schéma à contacts correspondant au programme 1 ci-contre.

3. Décodez et tracez le GRAFCET correspondant au programme 2 ci-après.

4. Traduisez le schéma Ladder ci-après en langage PL 7-1, sous forme de liste d'instructions ligne S 0021 et suivantes.

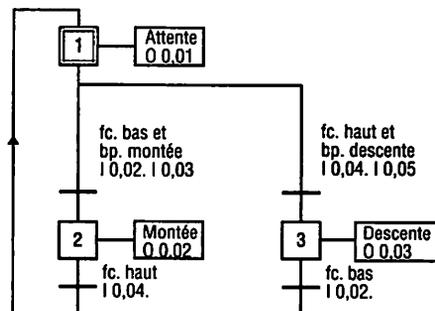


5. Tracez le schéma correspondant au programme liste en langage PL 7-1.

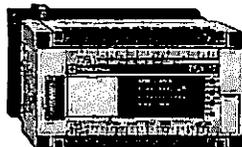
S0000 LN I 0,06	S0003 A I 0,06
S0001 S SY22	S0004 S SY21
S0002 L I 0,02	

PROGRAMME 1			PROGRAMME 2		
S 00011	L	I 0,01	S 00030	= * =	01
12	A	I 0,02	31	L	I 0,05
13	AN	I 0,03	32	A	I 0,12
14	=	B 015	33	#	02
15	LN	I 0,01	34	- * -	02
16	O	I 0,02	35	L	I 0,06
17	O	I 0,05	36	#	03
18	=	B 016	37	- * -	03
19	L	B 015	38	L	I 0,07
20	AN	B 016	39	#	01
21	=	O 0,02	40	NOP	

6. Écrivez le programme correspondant au GRAFCET ci-dessous, en utilisant le langage liste PL 7-1.



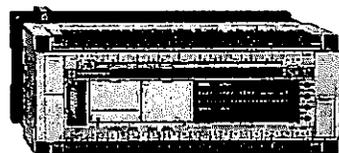
Micro-automates TSX 17-10/20



TSX 171 2028F

Micro-automates de bases TSX 17-10⁽¹⁾

Alimentation	Nb E/S	Nb d'entrées 24 V	Nb de sorties	Référence (2)
~ 110...240 V	20	12 E isolées	8 S relais	TSX 171 2028F
	34	22 E isolées	12 S relais	TSX 171 3428F
24 V	20	12 E non isolées	8 S transistors ⁽³⁾	TSX 171 2002F
	40	24 E non isolées	12 S transistors ⁽³⁾	TSX 171 4002F



TSX 172 4012F

Micro-automates de bases TSX 17-20^{(1) (4)}

Alimentation	Nb E/S ⁽⁵⁾	Nb d'entrées isolées	Nb de sorties	Référence (2)
~ 110...240 V	20	12 E 24 V	8 S relais	TSX 172 2028F
		12 ~ 110 V	8 S relais	TSX 172 2044F
	34	22 E 24 V	12 S relais	TSX 172 3428F
		22 ~ 110 V	12 S relais	TSX 172 3444F
24 V	20	12 E 24 V	8 S transistors ⁽⁶⁾	TSX 172 2012F
	40	22 ~ 110 V	16 S transistors ⁽⁶⁾	TSX 172 4012F

Cartouches micro-logicielles PL 7-2 pour TSX 17-20

Gestion des modules d'extension E/S TOR			Communi- cation prise terminal	Horodateur	Référence
Intelligents	Coupleurs				
TSX DMF/DSF	TSX AEG/ASG	TSX SCG			
TSX DEF/DTF	TSX 17 ACC 5	TSX FPG			
Oui	Non	Non	Non	Non	TSX P17 20F
	Oui	Non	Oui	Non	TSX P17 20FA
				Oui	TSX P17 20FB
		Oui	Oui	Non	TSX P17 20FC2
				Oui	TSX P17 20FD2

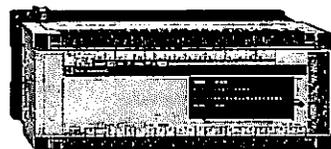
Module temporisateur analogique



TSX DTF 400

Désignation	Potentiomètre	Gammes de temps/voie (en secondes)				Référence
		Gamme 1	Gamme 2	Gamme 3	Gamme 4	
Temporisateur analogique	Interne, externe	0,1...1	0,15...1,5	1...10	10...100	TSX DTF 400
		0,1...6	0,15...9	1...60	10...600	

Extension d'entrées/sorties « Tout ou Rien »



TSX DMF 401

Désignation	Alim.	Nb d'entrées	Nb de sorties	Référence
Bloc d'extension	~ 110 à 240 V	8 E 24 V isolées	16 S relais	TSX DMF 242A
		22 E 24 V isolées	12 S relais	TSX DMF 342A
		22 ~ 110 V isolées	12 S relais	TSX DMF 344A
	24 V	24 E 24 V non isolées	16 S transistors ⁽³⁾	TSX DMF 400
		24 E 24 V isolées	16 S transistors ⁽⁶⁾	TSX DMF 401

- (1) Logiciels de conception d'applications PL 7-1 et de diagnostic, voir pages 4/77 et 4/304.
- (2) En fin de référence, F signifie que le produit est livré avec une documentation en français.
- (3) Sorties non isolées, non protégées contre les courts-circuits (le bloc TSX DMF 400 ne s'utilise qu'avec les automates TSX 171 2002 ou TSX 171 4002).
- (4) Logiciels de conception d'applications PL 7-2 et de diagnostic, voir pages 4/81 et 4/304.
- (5) Non inclus 2 entrées événementielles et 1 compteur rapide.
- (6) Sorties isolées protégées contre les courts-circuits

Système de traitement de surface

1. Disposition du poste

Le poste de traitement de surface est destiné à effectuer, sur des pièces de construction électrique en cuivre, un étamage qui les protège contre l'oxydation. Avant l'étamage et après l'étamage il faut effectuer différentes opérations de dégraissage et de rinçage.

1.1 Représentation dans l'espace (fig. 1)

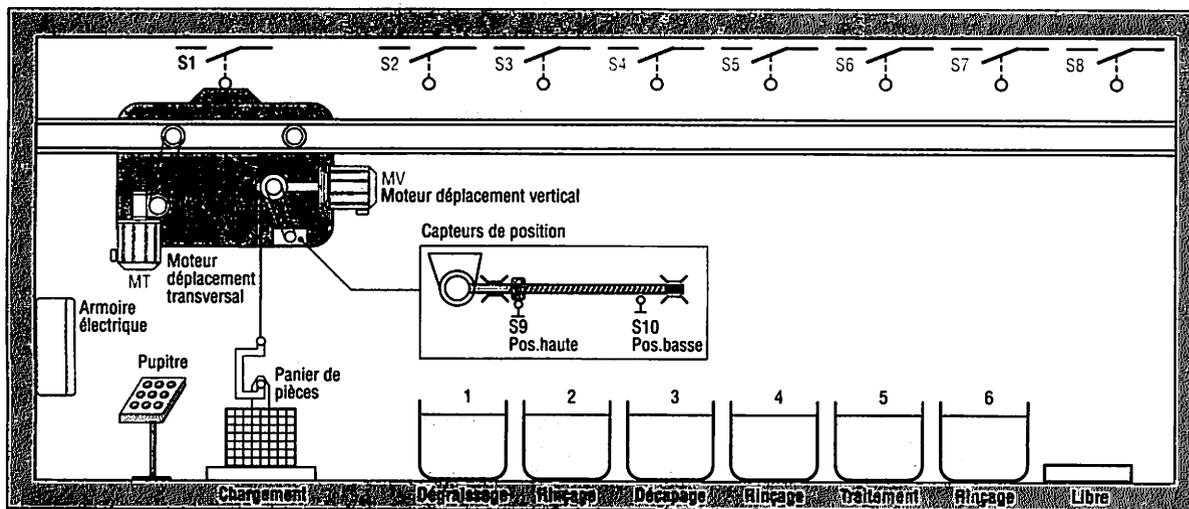


Fig. 1 : Système de traitement de surface.

Quatre fins de course assurent la sécurité sur ces mouvements :

- S 1.1 : butée de sécurité extrême gauche
- S 8.1 : butée de sécurité extrême droite
- S 9.1 : butée de sécurité basse
- S 10.1 : butée de sécurité haute

1.2 Descriptif des organes électriques

a) Disposition générale

- Un chariot automate permet les déplacements de translation à l'aide d'un moteur (M2) qui entraîne ce chariot (MT).
- Le déplacement vertical est effectué par un moteur de levage (M1) qui entraîne un treuil (MV).
- Différents bacs sont utilisés pour le traitement de surface :

- Bac 1 : dégraissage
- Bac 2 : rinçage
- Bac 3 : décapage
- Bac 4 : rinçage
- Bac 5 : étamage
- Bac 6 : rinçage

- Un poste de chargement et un poste de déchargement complètent ce poste.

b) Rôle des interrupteurs de position

Ils contrôlent les positions du chariot transversal et du palan pour le mouvement vertical.

Tableau d'adressage des entrées et sorties sur l'automate TSX 17

Repère	Adresse automate	Désignation
S 1	I 0,01	Chariot à gauche, poste de chargement
S 2	I 0,02	Chariot au-dessus du bac 1
S 3	I 0,03	Chariot au-dessus du bac 2
S 4	I 0,04	Chariot au-dessus du bac 3
S 5	I 0,05	Chariot au-dessus du bac 4
S 6	I 0,06	Chariot au-dessus du bac 5
S 7	I 0,07	Chariot au-dessus du bac 6
S 8	I 0,08	Chariot à droite, poste de chargement
S 9	I 0,09	Palan en position basse
S 10	I 0,10	Palan en position haute
S 11	I 0,11	Arrêt d'urgence
S 12	I 0,12	Bouton-poussoir départ de cycle
S 13	I 0,13	Bouton-poussoir retour de chariot
SDR	O 0,07	Translation à droite KM 2.2
SGA	O 0,06	Translation à gauche KM 2.2
SDE	O 0,04	Mouvement de descente KM 1.1
SMO	O 0,05	Mouvement de montée KM 1.2
V1	O 0,01	Voyant 1
V2	O 0,02	Voyant 2

c) Poste de commande

Il permet le dialogue homme machine et assure les commandes de départ de cycle et les commandes manuelles (fig. 2).

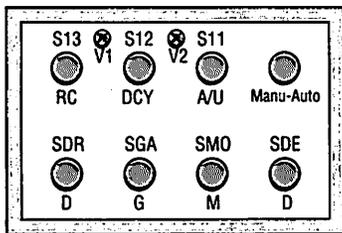


Fig. 2 : Pupitre de commande, dialogue homme-machine

2. Analyse fonctionnelle

L'analyse du système de traitement de surface a déjà été faite en BEP 1 pages 183 et 184, nous la reprenons.

2.1 Analyse de niveau A - 0

Le système remplit la fonction d'usage : traiter des pièces, en surface, contre l'oxydation (fig. 3).

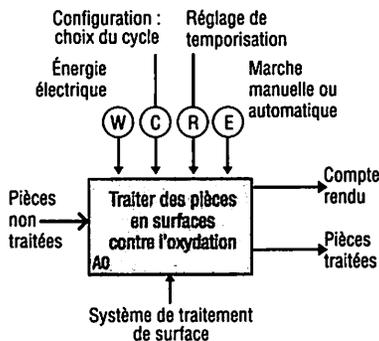


Fig. 3 : Analyse fonctionnelle de niveau A - 0 (A moins 0).

En entrée ce sont les pièces non traitées, en sortie nous obtenons des pièces traitées et on signale que le cycle est terminé, c'est le compte rendu.

On repère les contraintes suivantes :

- W : énergie, principalement l'énergie électrique ;
- C : configuration du système, il s'agit de savoir quel sera le cycle à réaliser et de le configurer ;
- R : réglage : il faut régler la temporisation qui détermine l'épaisseur du dépôt métal ;
- E : exploitation : on détermine si le cycle est manuel ou automatique.

2.2 Analyse de niveau AO (fig. 4)

L'activité-mère de niveau (A - 0) est décomposée en sous-fonctions pour donner le niveau AO.

- Cet actigramme représente les fonctions du poste automatique :
- communiquer avec le système, c'est le pupitre de commande ;
 - traiter les données, c'est le rôle de l'automate programmable ;
 - gérer l'énergie, alimenter les moteurs avec des contacteurs ;
 - traiter les pièces, c'est le procédé de traitement électrochimique ;
 - détecter les positions, c'est le rôle des capteurs de position qui vont envoyer les informations à l'automate (rétroaction).

3. GRAFCET

Il s'agit de l'analyse du poste automatique dans le temps.

3.1 Cycle à réaliser (fig. 5)

Il comprend deux modes de fonctionnement : une partie du cycle se déroule en automatique. Le retour, au point de départ, s'effectue en manuel.

a) Mode automatique

Après avoir chargé le panier de pièces à traiter, il faut appuyer sur le bouton-poussoir S12 « Départ de cycle ». Le palan monte le panier jusqu'à ce qu'il atteigne le contact S10. Le contact S10 actionné coupe la montée et provoque la translation vers la droite.

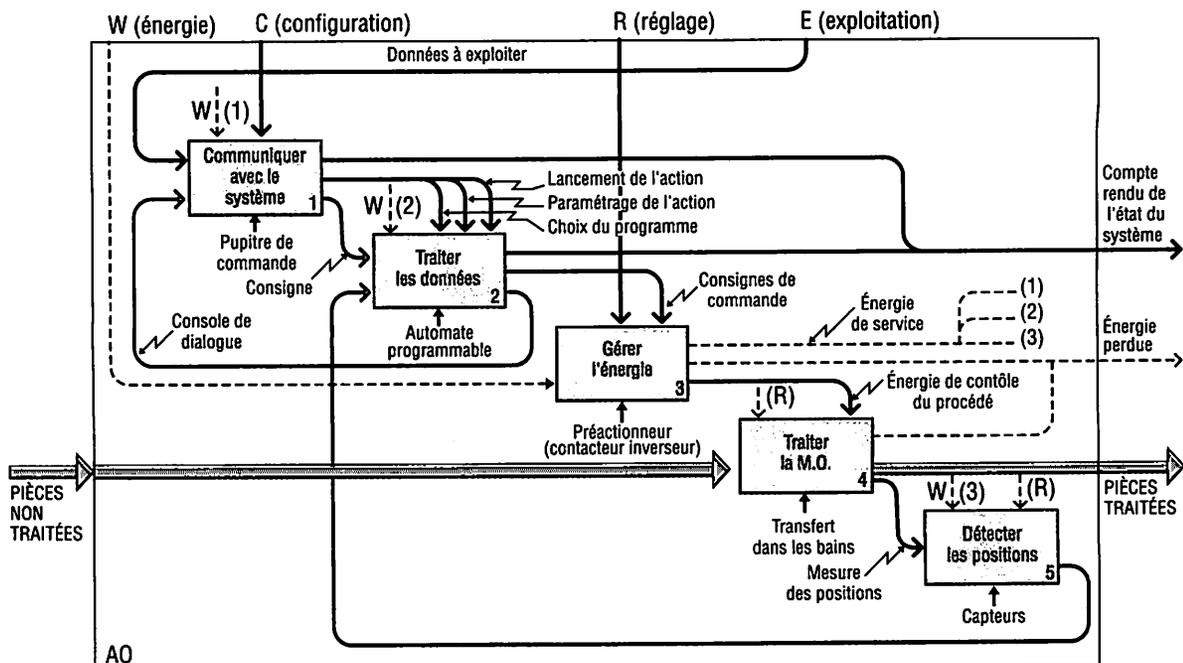


Fig. 4 : Analyse fonctionnelle de niveau AO.

On passe sur S2, sans action, et on atteint S3 qui est actionné. Le palan descend les pièces dans le bac n° 2, la descente est arrêtée par S9, qui déclenche une temporisation de 5 secondes. Le palan sort les pièces et remonte jusqu'à S10, qui coupe la montée et enclenche la translation vers la droite. Ce cycle se reproduit identiquement pour les bacs n°s 3, 4, 5. Arrivée au poste de déchargement, contacts S9 et S8 actionnés, le cycle s'arrête.

Le panier étant vidé au poste de déchargement, le retour au poste de chargement s'effectue par action manuelle sur le bouton S13.

b) Mode manuel

En plaçant l'inverseur « Auto-Manu » du pupitre sur la position manuelle on peut effectuer les quatre mouvements par :

- appui sur SMO : montée du palan ;
- appui sur SGA : translation vers la gauche ;
- appui sur SDE : descente du panier au poste de chargement ;
- appui sur SDR : translation vers la droite.

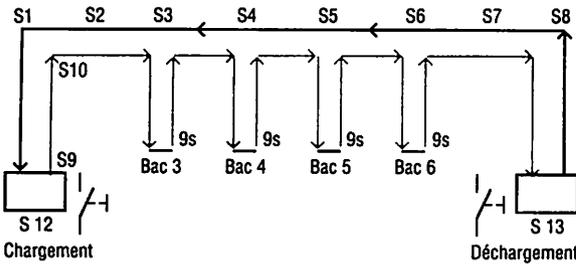


Fig. 5 : Exemple de cycle automatique en rouge avec retour manuel en noir.

Les contacts S1 à S10 n'ont aucune influence, seuls les fins de course S9.1 à S10.1 limitent les déplacements verticaux et les fins de course. S1.1 et S8.1 limitent les déplacements horizontaux.

3.2 Les différents GRAFCET

a) GRAFCET des spécifications fonctionnelles

À partir de la représentation des mouvements (fig. 5), on peut établir un GRAFCET fonctionnel linéaire qui reprend cinq fois de suite la succession des mouvements suivants : montée du palan, déplacement à droite, descente, temporisation (fig. 6).

b) GRAFCET des spécifications technologiques

Pour diminuer le nombre d'étapes, on réalise deux transitions l'une en « ET », l'autre en « OU », ce qui permet d'effectuer une reprise de séquence tant que le contact de position S8 n'est pas actionné.

Les étapes 2, 3, 4, 5 et 6 s'exécutent chaque fois en se décalant d'un bac, comme représenté sur le GRAFCET (fig. 7).

c) GRAFCET de programmation

Il indique pour chaque transition les adresses des entrées concernées sur l'automate. Les repères des étapes X01, X02, ... permettent de situer les étapes qui activent les sorties (voir p. 222).

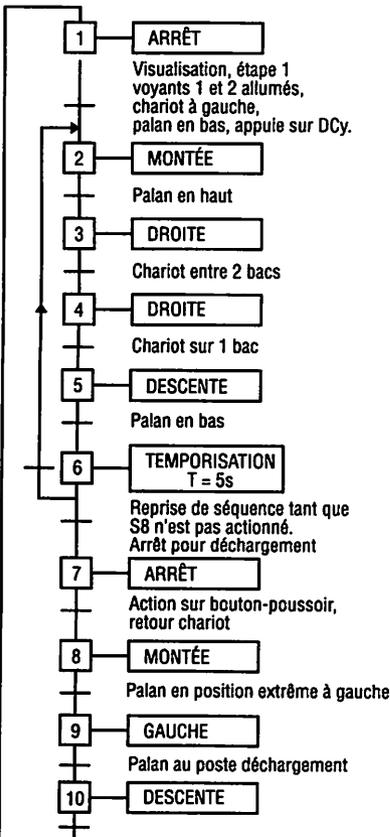


Fig. 6 : GRAFCET fonctionnel.

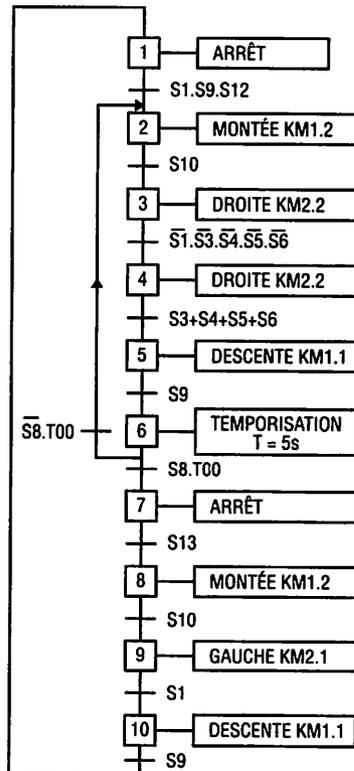


Fig. 7 : GRAFCET technologique.

4. Programme du système de traitement de surface

4.1 Traitement préliminaire

Ces instructions en début de programme permettent, à chaque cycle, de traiter les reprises de secteur et autres défaillances.

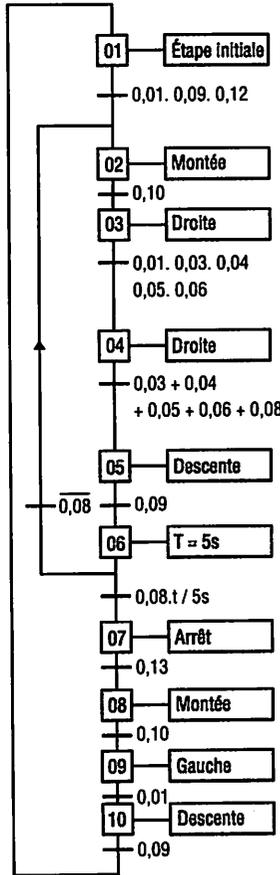
4.2 Traitement séquentiel

On distingue les instructions d'activation des étapes :
- * - avec #

Seules les étapes actives, à activer ou à désactiver sont exécutées. Ces instructions permettent de programmer aussi les aiguillages et les séquences simultanées.

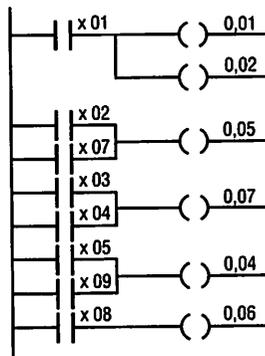
On trouve toujours :

- début d'étape initiale,
- la ou les réceptivité(s), qui sont les conditions de passage à l'étape suivante,
- l'activation de l'étape suivante et la désactivation de l'étape précédente.



4.3 Traitement postérieur

C'est la partie de traitement qui active les sorties en fonction des étapes X01, X02 ... Ces sorties vont alimenter les contacteurs de commande des moteurs.



Adresse	Code	Opérande	Commentaire
TRAITEMENT PRELIMINAIRE			
S 0000	L	SY00	
S 0001	O	SY01	
S 0002	S	SY21	
S 0003	NOP		
TRAITEMENT GRAFCET			
S 00 4	= * =	01	Étape initiale 1
5	L	I 0,01	Transition 1-2
6	A	I 0,09	
7	A	I 0,12	
8	#	02	Activation
9	- * -	02	Étape 2
10	L	I 0,10	
11	#	03	Transition 2-3
12	- * -	03	Étape 3
13	LN	I 0,01	
14	AN	I 0,03	Transition
15	AN	I 0,04	3 vers 4
16	AN	I 0,05	
17	AN	I 0,06	
18	#	04	Étape 4
19	- * -	04	
20	L	I 0,03	Transition
21	O	I 0,04	4 vers 5
22	O	I 0,05	
23	O	I 0,06	
24	O	I 0,08	
25	#	05	Étape 5
26	- * -	05	
27	L	I 0,09	Transition 5-6
28	#	06	Étape 6
29	- * -	06	
30	LN	I 0,08	Transition 6-2
31	A	T 00	Saut étape 2
32	#	02	Transition 6-7
33	L	I 0,08	Étape 7
34	#	07	
35	- * -	07	
36	L	I 0,13	Transition 7-8
37	#	08	Étape 8
38	- * -	08	
39	L	I 0,10	Transition 8-9
40	#	09	Étape 9
41	- * -	09	
42	L	I 0,01	Transition 9-10
43	#	10	Étape 10
44	- * -	10	Transition 10-1
45	L	I 0,09	Retour étape 1
46	#	01	
TRAITEMENT POSTERIEUR			
47	NOP	POST	
48	= * =	x 01	Visualisation
49	L	x 01	Étape 1 par
50	=	00,01	2 voyants
51	=	00,02	
52	L	x 02	
53	O	x 07	
54	=	00,05	Sortie KM 1.2
55	L	x 03	
56	O	x 04	
57	=	00,07	Sortie KM 2.2
58	L	x 05	
59	O	x 09	
60	=	00,04	Sortie KM 1.1
61	L	x 08	
62	=	00,06	Sortie KM 2.1
63	L	x 06	
64	=	T 00	Temporisation
65	EP		Fin de
66			programme

Fig. 8 : Programme du système de traitement de surface.

5. Équipement électrique

Les schémas du circuit de puissance, du circuit de commande, complètent la structure du système automatique.

5.1 Implantation de l'équipement électrique (fig. 9)

L'équipement électrique est réalisé sur platine alimenté en 3 ~ 400 V sur laquelle on a implanté :

- Q : sectionneur,
- F1 : fusible circuit de commande,
- KM1, KM2 : contacteurs-inverseurs triphasés avec leurs relais de protection : F1.1 et F2.1,
- X1 : bornier de liaison avec les moteurs M1 et M2,
- X2 : bornier de liaison entre l'automate et les capteurs et actionneurs.

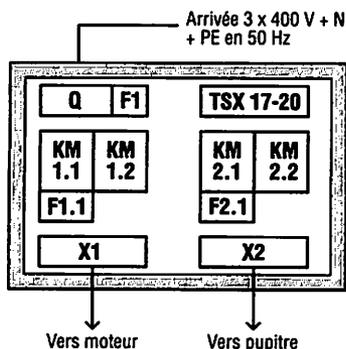


Fig. 9 : Implantation des composants sur la platine.

5.2 Circuit de puissance (fig. 10)

Il comporte essentiellement deux moteurs triphasés 400 V avec pour chacun des moteurs une commande par contacteurs-inverseurs et protection par relais thermique.

5.3 Circuit de commande (fig. 11)

Il permet de sélectionner la marche manuelle et la marche automatique ; de plus il assure le verrouillage électrique des inverseurs. Les fins de course assurent la coupure des bobines des contacteurs indépendamment des interrupteurs de position qui sont utilisés avec l'automate.

5.4 Raccordements avec l'automate (fig. 12)

Tous les capteurs S1 à S13 sont raccordés sur les entrées de l'automate aux bornes correspondant aux adresses du programme ci-après. Les sorties de l'automate alimentent les bobines de contacteurs.

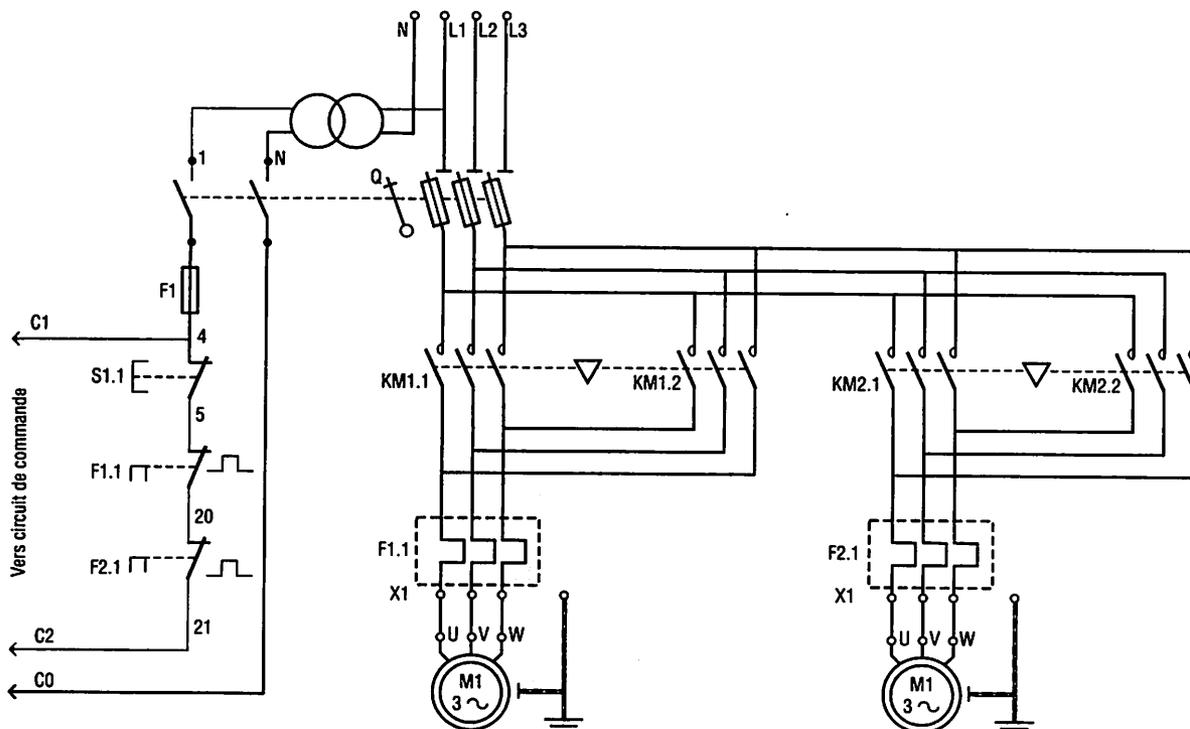


Fig. 10 : Circuit de puissance en triphasé 400 V-50 Hz.

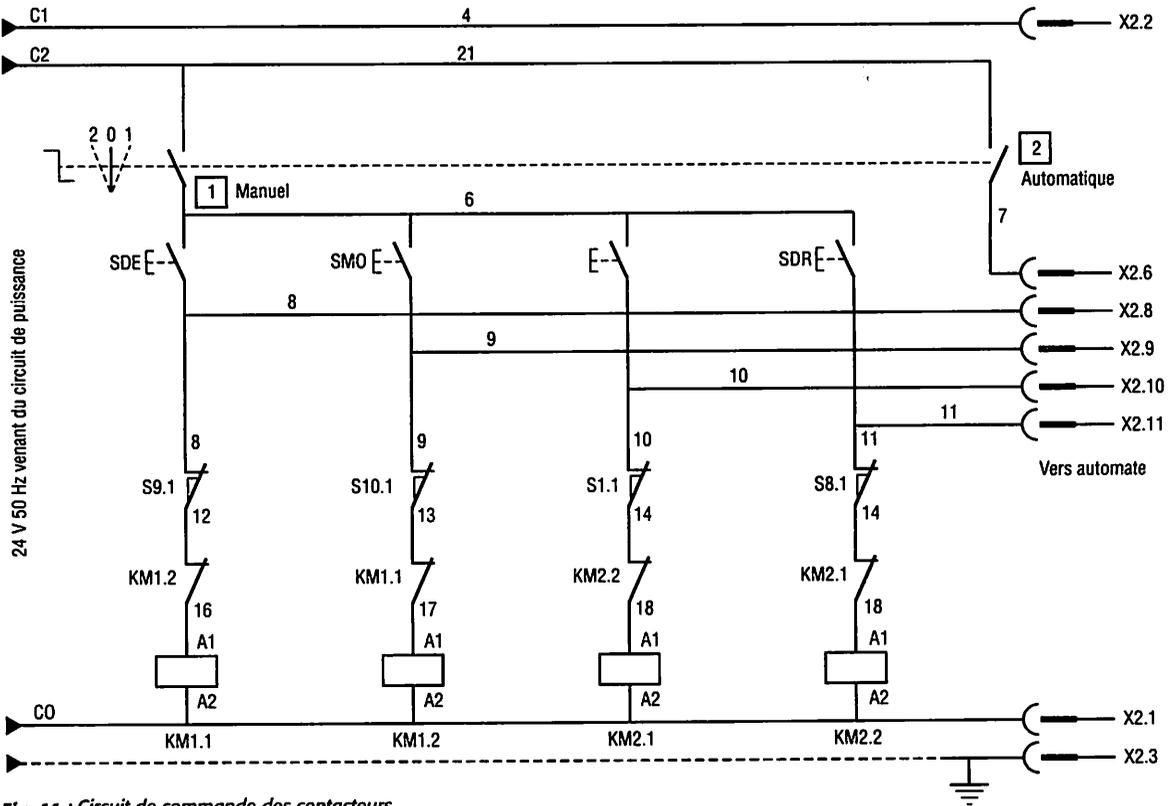


Fig. 11 : Circuit de commande des contacteurs.

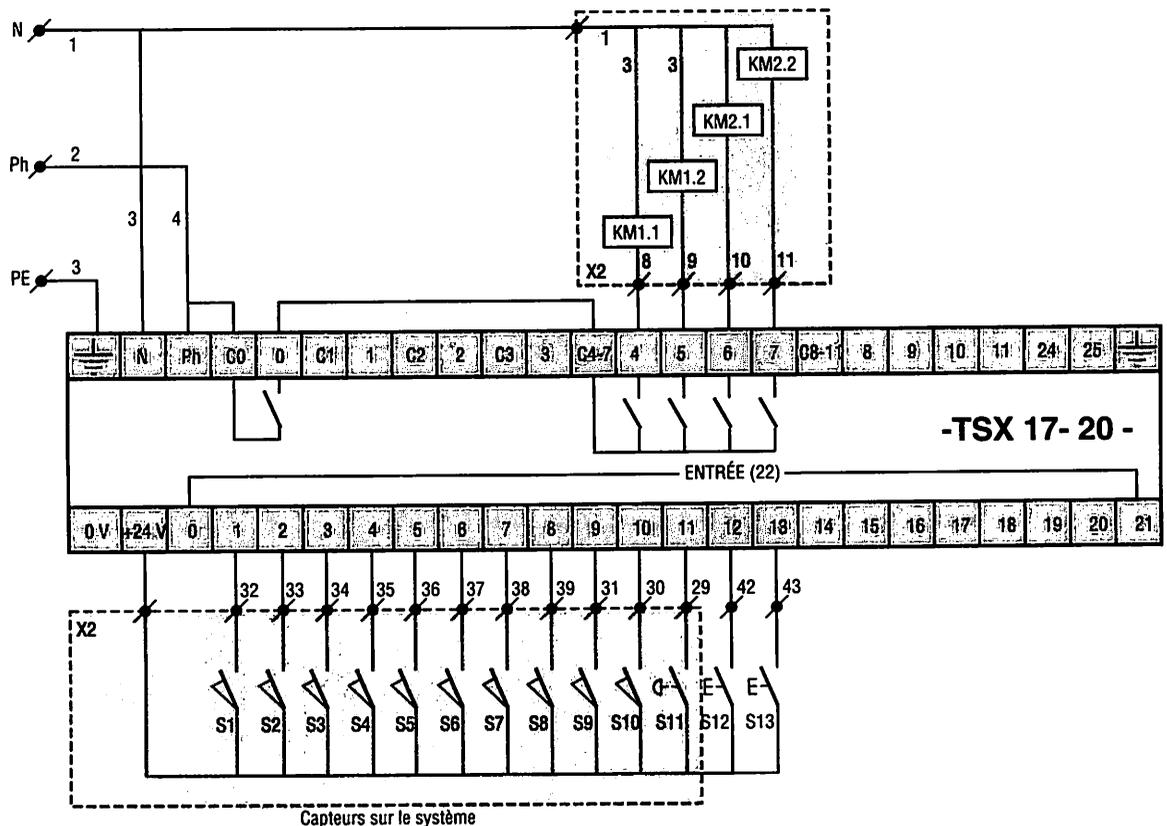


Fig. 12 : Raccordement de l'automate à l'équipement électrique.

23

Programmation en langage GRAF CET

L'emploi du GRAFCET pour l'analyse des systèmes automatisés a conduit les fabricants d'automates programmables à créer des instructions permettant de transcrire directement un GRAFCET en programme d'automate.

1 Langage PL 7-2

C'est un langage graphique destiné à programmer les automates TSX 17-27,47 ; il utilise deux représentations :

- le langage à contacts pour représenter les transitions ;
- le langage GRAFCET.

Ce langage permet une transcription directe des schémas ou GRAFCET.

2 Langage PL 7-2 à contacts

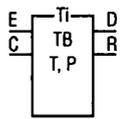
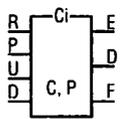
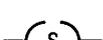
2.1. Principe

Ce langage est adapté à la programmation de traitements logiques, il utilise la forme de schéma développé :

- contacts en série : fonction ET,
- contacts en parallèle : fonction OU et l'inversion NON.

2.2. Principaux éléments (tableau 1)

Tableau 1

GRAPHE	Désignation	Fonction	GRAPHE	Désignation	Fonction
	Contact à fermeture	Contact passant quand il est actionné	Blocs fonctions d'automatisme		
	Contact à ouverture	Contact passant quand il n'est pas actionné		Temporisation	E : entrée « armement » C : entrée « contrôle » Ti, D : bit de sortie temporisation écoulée Ti, R : bit de sortie temporisation en cours Ti, P : mot de valeur de présélection Ti, V : mot de valeur courante
	Connexion horizontale	Permet de relier les éléments de test et d'action en série			
	Connexion verticale	Permet de relier les éléments de test et d'action en parallèle			
Éléments d'action				Compteur / décompteur	R : entrée « remise à 0 » P : entrée « présélection » U : entrée sur front « comptage » D : entrée sur front « décomptage » Ci, E : bit de sortie « débordement décomptage » Ci, D : bit de sortie « présélection atteinte » Ci, P : mot de valeur de présélection Ci, V : mot de valeur courante
	Bobine directe	La sortie prend la valeur du résultat logique de la zone de test			
	Bobine inverse	La sortie prend la valeur inverse du résultat de la zone de test			
	Bobine d'enclenchement	Le bit correspondant est mis à 1 lorsque le résultat de la zone de test est à 1 et il garde cet état			
	Bobine de déclenchement	Le bit correspondant est mis à 0 lorsque le résultat de la zone de test est à 1 et il garde cet état			

OBJECTIFS

Certains programmes d'automates sont écrits en langage GRAFCET ; il faut être capable de décoder ce type de programme.

SAVOIR TECHNOLOGIQUE
S 5.2

Les éléments graphiques de test sont les contacts. Les éléments graphiques d'action sont les bobines. En plus des blocs fonction d'automatisme, temporisateur et compteur, il existe les blocs : monostable, registre, programmeur, horodateur, ainsi qu'un bloc de communication.

2.3. Structure d'un réseau de contacts (fig. 2)

Un réseau de contacts s'inscrit entre deux barres verticales qui représentent la tension d'alimentation. Le réseau comporte quatre lignes horizontales séparées en deux zones : la zone de test (les contacts), la zone d'action (les bobines).

Le schéma électrique (fig. 1) est représenté en rouge sur le formulaire de programmation (fig. 2).

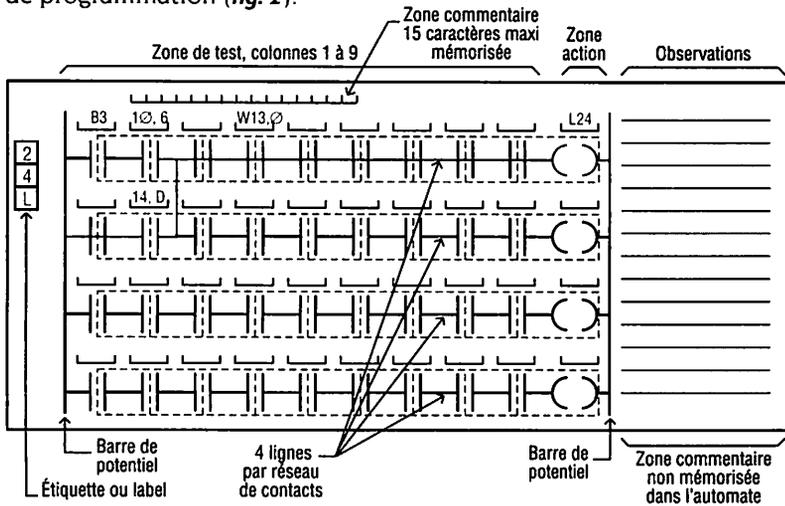


Fig. 2 : Représentation d'un réseau de contacts en PL 7-2.

2.4. Indications complémentaires

- **Étiquette ou label (tableau 2)** : chaque réseau est repéré par une étiquette. Cette étiquette comprend trois chiffres maximum de 1 à 999, elle est précédée d'une lettre. Une étiquette ne peut être affectée qu'à un seul réseau.
- **Commentaire** : un commentaire facultatif, de quinze caractères alphanumériques indique l'affectation du réseau.

2.5. Programmation d'une temporisation

Les blocs fonction se positionnent dans la zone de test et s'insèrent dans un réseau de contacts. Soit le schéma à contacts (fig. 3) comportant une temporisation au travail, avec un contact à fermeture ; sa transcription en programme PL 7-2 est donnée à la figure 4.

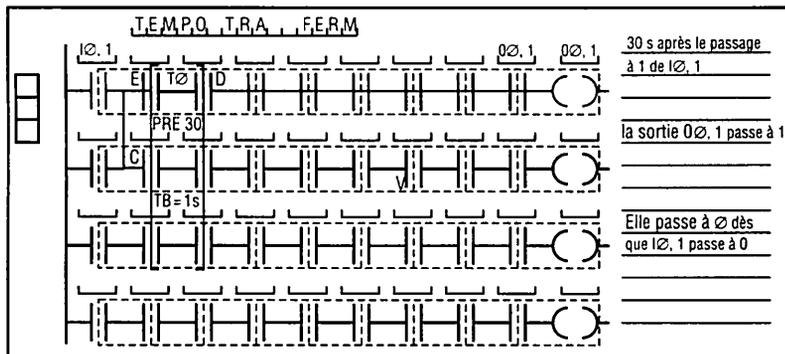


Fig. 4 : Formulaire de programmation d'une temporisation au travail.

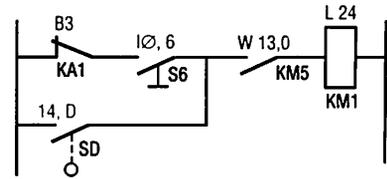


Fig. 1 : Schéma à contact.

Tableau 2 : Tableau des labels.

Langage à contact
L : tâche maître
F : tâche rapide
p : traitement préliminaire
P : traitement postérieur

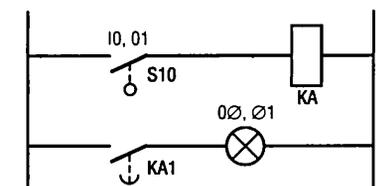


Fig. 3 : Temporisation au travail à fermeture.

2.6. Écriture du programme et transfert

Lorsque le programme est écrit sur papier, il faut le transcrire à l'aide d'un terminal de programmation. La console TSX T407 ou un ordinateur muni du logiciel de langage PL 7-2 permettent d'effectuer l'enregistrement du programme et son transfert vers la mémoire de l'automate.

3 Langage PL 7-2 GRAFCET

À partir d'un GRAFCET des spécifications fonctionnelles ou technologiques, on peut le transcrire directement en GRAFCET de programmation.

3.1. Symboles graphiques du PL7-2 (tableau 3)

Tableau 3

GRAPHE	Désignation	Fonction	GRAPHE	Désignation	Fonction
	Étape Bit associé X_i	Symbolise un état stable de l'automatisme 96 étapes maxi 16 étapes actives simultanément		Aiguillage entre séquences	Permet les sauts d'étape, reprise de séquence et les séquences successives
	Étape initiale	Étape active en début de cycle Bit étape associé X_i		Renvoi vers origine ou vers destination	Permet d'assurer la continuité du GRAFCET d'une page à une autre
	Transitions (Réceptivité)	Séparant deux étapes et permettant le passage de l'une à l'autre		Liaison orientée	Permet de relier les étapes et transitions
	Séquences simultanées	Permet d'activer ou de désactiver simultanément 4 étapes		Réceptivité (Évolution du GRAFCET)	C'est le passage d'une étape à l'étape suivante lorsque la réceptivité est égale à 1

3.2. Bits associés au GRAFCET

– **Bit étape** : à chaque étape est associé un bit désigné par X_i (X = repère du bit étape, i = numéro de l'étape).

– **Bits système** :

SY 21 : provoque l'initialisation du GRAFCET ;

SY 22 : provoque la remise à zéro générale du GRAFCET.

4 Représentation du GRAFCET

4.1. Page GRAFCET (voir p. 229)

C'est un formulaire de programmation qui comporte :

14 lignes de L 00 à L 13 ;

et 8 colonnes de C 00 à C 07.

– Les lignes 0 et 13 sont réservées pour les renvois.

– Les lignes impaires sont pour les étapes et les renvois de destination.

– Les lignes paires sont pour les transitions et les renvois d'origine.

4.2. Saut d'étapes (fig. 5)

On peut utiliser les liaisons orientées ou employer des renvois.

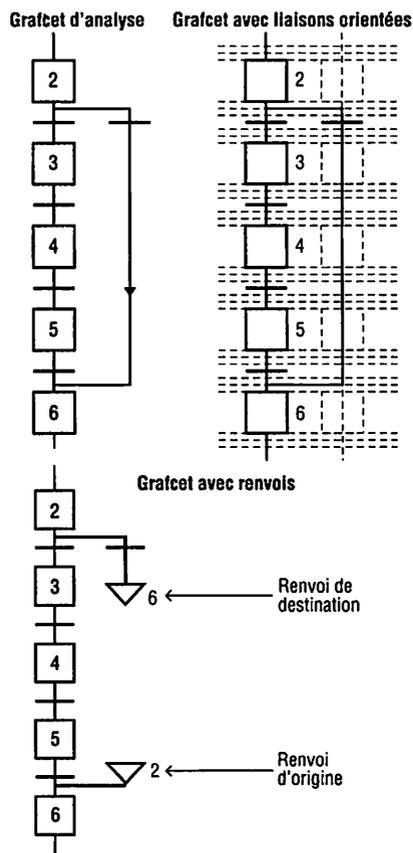


Fig. 5 : Saut d'étape.

4.3. Reprise de séquence (fig. 6)

Les liaisons orientées étant toujours dirigées vers le bas de la feuille, on doit obligatoirement utiliser des renvois.

On considère deux types de renvoi :

- renvoi de destination : le numéro qui lui est associé indique l'étape de destination, où l'on va ;
- renvoi d'origine : le numéro qui lui est associé indique l'étape d'origine, d'où l'on vient.

4.4. Séquences simultanées (fig. 7)

On a représenté le GRAFCET sur deux pages avec les renvois de destination et d'origine sur chaque page.

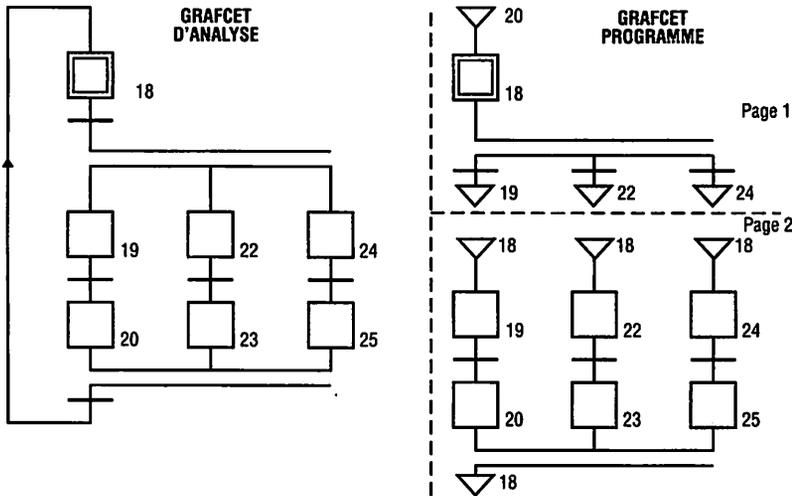


Fig. 7 : Séquences simultanées sur deux pages différentes.

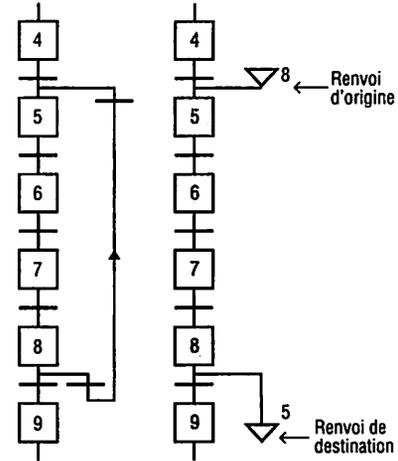


Fig. 6 : Reprise de séquences en utilisant les renvois.

4.5. Séquences successives (ou encore exclusives)

On utilise les symboles d'aiguillages entre séquences (trait simple avec les flèches). Les GRAFCET des pages 229 et 237 relatifs au système de tri de colis montre la réalisation de trois séquences successives qui sont fonction de la dimension des colis.

5 Programmation complète (fig. 8)

Un programme en GRAFCET comporte trois traitements consécutifs.

a) Traitement préliminaire

Il permet les initialisations sur reprise du secteur, le prépositionnement du GRAFCET, le traitement d'entrées utiles à l'évolution du GRAFCET.

b) Traitement séquentiel

C'est le GRAFCET proprement dit et il donne accès au traitement des réceptivités qui sont réalisées sous forme de langage à contact (voir p. 237 programme triage de colis écrit en langage GRAFCET). Un exemple de tracé est donné fig. 9.

c) Traitement postérieur

Il permet de traiter la logique de sortie et éventuellement la surveillance et les sécurités spécifiques aux sorties.

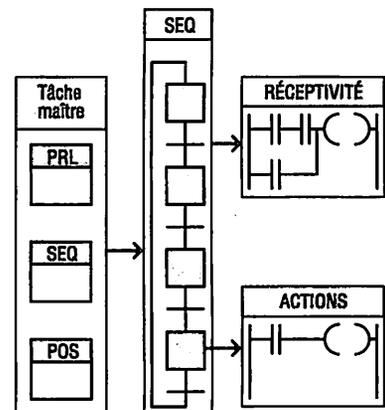


Fig. 8 : Structure d'un programme en langage PL 7-2.

Formulaire programmation GRAFCET								COMMENTAIRES/OBSERVATIONS
C00	C01	C02	C03	C04	C05	C06	C07	
L00	▽	▽	▽	▽ x10	▽	▽	▽	
L01			□ x0					Étape initiale x0
L02								Départ de cycle
L03			□ x1					Déplacement tapis et lancement temporisation 0
L04								Fin de temporisation 0
L05			□ x2					Déplacement tapis 2 et lancement temporisation 1
L06								Fin de temporisation 1
L07			□ x3					Déplacement tapis 3 + signalisation
L08	▽ x5	▽ x7	▽ x9					Tapis en vitesse normale
L09			□ x4					Approvisionnement en colis + signalisation
L10								Détection grand, moyen, petit colis
L11								
L12								
L13	▽	▽ x5	▽	▽ x6	▽	▽ x8	▽	

	N° Page GRAFCET	Mise à jour	Par	Date	Étude :	Dessin :	Date :	Folio
	A							
	B							
	C							

Formulaire programmation GRAFCET								COMMENTAIRES/OBSERVATIONS
C00	C01	C02	C03	C04	C05	C06	C07	
L00	▽	▽ x4	▽	▽ x4	▽	▽ x4	▽	
L01		□ x5		□ x6		□ x8		Sortie tige vérin 1. Sortie tige vérin 2
L02								Tige sortie et colis en fin de tapis 2-3
L03			□ x7			□ x9		Rentrée tige vérin 1. Rentrée tige vérin 2
L04								Cycle / cycle ou cycle continu
L05			▽ x4		▽ x4		▽ x4	Approvisionnement de colis
L06								
L07			□ x10					Reset de KM1, KM3, KM5 et H3
L08								arrêt des moteurs de tapis 1, 2 et 3
L09			▽ x4					
L10								
L11								
L12								
L13	▽	▽	▽	▽	▽	▽	▽	

	N° Page GRAFCET	Mise à jour	Par	Date	Étude :	Dessin :	Date :	Folio
	A							
	B							
	C							

Fig. 9 : Exemple de GRAFCET.

L'essentiel

■ Le langage de programmation type PL 7-2 est un langage graphique. Ce langage utilise deux représentations graphiques :

– Langage à contacts ou lader : il permet de représenter des contacts en série ou en parallèle avec des bobines ou des blocs fonctions.

– Langage GRAFCET : il permet de représenter les étapes, les transitions, avec les sauts d'étapes, les reprises de séquences, les séquences simultanées et les séquences successives.

■ L'écriture d'un programme en PL 7-2 s'effectue selon trois traitements successifs : préliminaire, séquentiel et postérieur. Les conditions de transition et les sorties sont écrites en langage à contact.

■ Le système de tri de colis est représenté sous trois formes :

– Structurelle : disposition dans l'espace et schémas électriques.

– Fonctionnelle : analyse fonctionnelle de niveau A-0 et A0.

– Temporelle : GRAFCET fonctionnel et technologique.

■ Pour traiter les données, on utilise un automate TSX 17-20 avec un module d'extension de 8 entrées dont les adresses vont de I 1,00 à I 1,07 et un module d'extension de 6 sorties à relais dont les adresses vont de O 2,00 à O 2,05 (O = Output).



VRAI OU FAUX ?

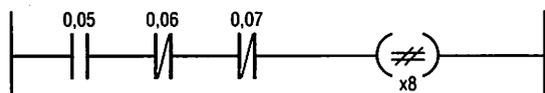
EXERCICES

Parmi les affirmations suivantes, indiquez celles qui sont vraies.

1. Le langage PL 7-2 comporte un langage GRAFCET.
2. Le langage graphique utilise la représentation en schémas à contacts.
3. Un réseau à contacts peut comporter 16 lignes.
4. Un label repère plusieurs réseaux de contact.
5. Une ligne de réseaux à contacts peut comporter 9 contacts.
6. Dans le langage à contacts, on utilise des bobines directes et inverses.
7. Chaque réseau de contacts est identifié par une étiquette ou un label.
8. On appelle blocs fonctions, une étape initiale.
9. Pour programmer en PL 7-2 GRAFCET, on utilise pour les étapes les mêmes symboles qu'en écriture manuelle.
10. En langage PL 7-2, les transitions sont programmées en logique binaire entre deux étapes.
11. En PL7-2, on ne peut pas programmer des séquences simultanées.
12. La programmation en langage PL 7-2 permet d'effectuer des sauts d'étapes.
13. En programmation graphique, on ne peut pas revenir en arrière, ce qui ne permet pas d'effectuer des reprises de séquences.
14. À chaque étape, on associe 1 bit d'étape.
15. On utilise les mêmes symboles pour les séquences simultanées et les aiguillages entre séquences.
16. Le traitement postérieur permet de mettre en œuvre les blocs fonctions.
17. Le traitement préliminaire permet d'actionner les sorties.
18. Les bits systèmes sont utilisés pour l'initialisation des GRAFCET.
19. Les réceptivités sont réalisées sous forme de langage à contacts.
20. Le traitement séquentiel comporte le GRAFCET et les réceptivités.

RÉSOLUS

1. Pour dépanner le système de tri de colis, vous utilisez une console de programmation et de maintenance qui vous indique que la transition suivante ne s'effectue pas : « petit colis non triés label X4 ».



Pouvez-vous indiquer quels sont les capteurs qui peuvent être défectueux ?

Solution :

Dans le tableau des adresses p. 237 on trouve :

I 0,05 : capteur C1

I 0,06 : capteur C2 (C2 complémenté)

I 0,07 : capteur C3 (C3 complémenté)

Si les moyens colis et grands colis sont triés correctement, c'est que le capteur C2 ne fonctionne pas correctement.

2. Le système de triage étant en position cycle continu (CC), les colis petits et moyens sont convenablement triés, mais après le tri d'un gros colis, le système s'arrête sur l'étape 8. Pourquoi ?

Solution : Pour passer de l'étape 8 à 9, il s'agit soit du capteur S21 soit du capteur C6 qui n'assure pas le passage à l'étape 9.

3. Le langage GRAFCET utilise des blocs fonctions. Donnez le nom de trois de ces blocs et précisez comment ils sont utilisés.

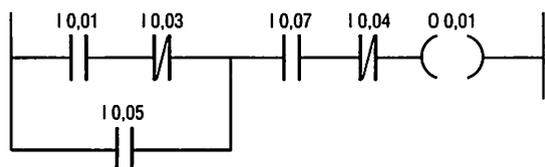
Solution :

– Les blocs fonctions temporisation, monostable, et compteur/décompteur seront préprogrammés dans l'automate.

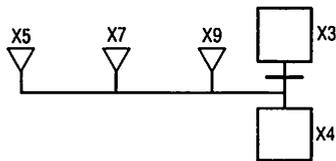
– Ce sont des éléments graphiques (rectangles), qui s'intègrent dans tout réseau de contacts avec des entrées et des sorties.

À RÉSOUDRE

1. Donnez l'équation logique de la sortie correspondant au schéma suivant :



2. Que représente la partie de GRAFCET ci-dessous ?



3. Le programme d'alimentation du voyant 4 a été oublié. Sachant qu'il signale l'arrivée de colis, c'est-à-dire que les capteurs C1, ou C2, ou C3 sont sollicités, recherchez les adresses correspondantes et représentez en schéma à contacts le programme d'alimentation de H4.

4. En vous aidant du schéma (fig. 15 p. 238), module 6 sorties, pouvez-vous indiquer sur le schéma du folio 02

page 241, entre quelles bornes se situent les contacts de sortie de l'automate ? Représentez-les.

5. En observant le schéma du folio 04 page 240 pouvez-vous déterminer les adresses des contacts S10, S21, S20, S3, S5 et S4 ? Donnez les adresses et le rôle des capteurs, sachant que le module d'entrée est aux adresses comprises entre I 1,00 et I 1,07.

6. Quel est le rôle des bobines KM2, KM4 et KM6 ?

7. Le langage GRAFCET utilise des blocs de calcul. Précisez le nom de trois de ces blocs et indiquez comment ils sont utilisés.

8. En observant les caractéristiques du langage GRAFCET PL 7-2, indiquez de combien d'étapes ce langage dispose, et combien d'états peuvent être activés simultanément.

9. En observant les caractéristiques du langage GRAFCET, précisez pour les blocs fonctions temporisateurs, leur nombre et leurs temporisations mini et maxi.

10. Pour le langage GRAFCET PL 7-2, précisez combien on peut avoir de transitions au maximum.

Logiciels pour automates TSX 17/47

Logiciel PL7-2 (sous interface utilisateur) pour automates TSX 17/47

Langage à contacts, langage GRAFCET et blocs

Langage à contacts

Le langage à contacts est un langage entièrement graphique utilisé pour programmer les automates TSX 17-20 et TSX 47. Il offre non seulement les avantages de la similitude avec un traitement réalisé en relais, mais aussi la possibilité d'utiliser des blocs fonctions d'automatismes évolués et des blocs opérations. Il s'utilise seul ou associé au langage GRAFCET.

Ces programmes se composent d'une succession de réseaux de contacts (jusqu'à 999 réseaux, chacun composé au maximum de 4 lignes de 9 contacts et de 4 bobines).

Les symboles graphiques sont repérés par l'adresse physique ou par un mnémonique de 8 caractères.

Langage GRAFCET

Destiné à la description de la partie séquentielle du cahier des charges d'un automate, le GRAFCET est aujourd'hui un des langages proposés pour programmer les automates TSX 17-20 et TSX 47. Entièrement graphique, le langage GRAFCET PL7-2 respecte la norme NF C 03-190.

Le langage GRAFCET s'utilise en tâche maître. Celle-ci est alors structurée en trois traitements :

- **Traitement préliminaire** : il permet de traiter les initialisations sur reprise secteur ou défaillance, les changements de modes de marche et la logique d'entrée de l'application.
- **Traitement séquentiel** : il permet la transcription graphique du GRAFCET et donne accès aux réceptivités et actions directement associées aux étapes.
- **Traitement postérieur** : il exécute la logique de sortie avec prise en compte des ordres émanant des deux traitements précédents. Il prend en compte également les sécurités indirectes spécifiques aux sorties.

Les programmes écrits en langage GRAFCET se composent d'étapes (96 maximum), de transitions (128 maximum) et de liaisons reliant étapes et transitions. Le graphe peut être réparti sur 8 pages.

Blocs fonctions

Les blocs fonctions sont préprogrammés dans l'automate et permettent d'intégrer aisément dans les programmes applications les fonctions d'automatismes de base :

- | | | |
|-----------------|-----------------------|--------------------------|
| • Temporisateur | • Compteur/décompteur | • Programmeur cyclique |
| • Monostable | • Registre | • Horodateur (TSX 17-20) |

Les blocs fonctions s'insèrent sous forme d'éléments graphiques dans tout réseau de contacts. Ils sont cascadables et sont représentés à l'écran sous forme d'un rectangle.

Chaque bloc possède des entrées pour le commander et des sorties pouvant actionner les bobines du réseau, ou des mots associés à des valeurs spécifiques (valeur courante, présélection...). Toutes ces données sont exploitables dans tout autre réseau de contacts.

Blocs opérations

Les blocs opérations permettent d'effectuer des opérations de tests et d'action sur des mots (internes, constants, mots système, étape GRAFCET, valeurs associés aux blocs fonctions).

Les différents blocs opérations sont :

- | | | |
|---|----------------------------------|---|
| • Comparaison de mots
(>, <, <>, >=, =<) | • Logique ET, OU,
OU exclusif | • Transfert de tables, de mots
internes ou constants |
| • Arithmétique (+, -, x, /) | • Conversion, transfert | • Décalage circulaire |

Logiciels et terminal pour automates TSX 17/47

Logiciel PL7-2 (sous interface utilisateur) pour automates TSX 17/47

Présentation, caractéristiques

Présentation

Les logiciels de conception et de mise en œuvre PL7-2 sous interface utilisateur permettent de programmer les automates TSX 17-20 et TSX 47 en langage PL7-2. Ils fonctionnent sur les terminaux FTX 417/507/517 et sur terminaux compatibles PC avec système d'exploitation DOS version 4.0 minimum.

Le logiciel PL7-2 comporte deux langages graphiques de programmation : le langage à contacts et le langage GRAFCET. Il permet la programmation des automates TSX 17-20, TSX 47-J, TSX 47-10, TSX 47-20J, TSX 47-20 et TSX 47-25.

- Le langage à contacts est particulièrement adapté au traitement combinatoire, il offre en plus une bibliothèque de fonctions préprogrammées.
Des blocs opérations assurent des fonctions de traitements numériques.
- Le langage GRAFCET, définit l'ossature séquentielle de l'application
Il est constitué d'étapes et de transitions, il fait appel au langage à contacts pour la programmation des actions associées aux étapes et des réceptivités associées aux transitions qui sont elles, de types combinatoire.
- De nombreux services d'aide à la programmation et à la mise au point sont offerts par PL7-2 :
 - éditeur graphique,
 - programmation en RUN,
 - services de mise au point en temps réel,
 - réglage des valeurs,
 - dossier complet de l'application avec références croisées.

Caractéristiques

	Réseau de contacts	Blocs fonctions (nombre maxi programmable)	TSX 17-20	TSX 47																																			
Langage à contacts	<ul style="list-style-type: none"> • 4 lignes de 9 contacts • 1 sortie par ligne • 999 étiquettes (1 étiquette par réseau) • commentaire (15 caractères maximum) 	<ul style="list-style-type: none"> • Temporisateurs (10 ms à 9999 min) • Monostables (10 ms à 9999 min) • Compteur/décompteur (0...9999) • Compteur/temporisateur rapide (0...9999) (base de temps 0,55 ms) • Programmeurs cycliques • Registres 16 bits LIFO ou FIFO • Blocs texte • Horodateur 	32 8 31 1	16 8 16 -																																			
	Symboles graphiques <ul style="list-style-type: none"> • Contacts à fermeture et à ouverture • Bobines directe, inverse, SET, RESET • Bobine saut de programme 																																						
	Blocs comparaisons (nombre maximal non limité) <ul style="list-style-type: none"> • >, <, <=, • =, >=, <=, 	Blocs opérations (nombre maximal non limité) <ul style="list-style-type: none"> • Arithmétique +, -, x, /, REM (sur 16 bits) • Logique ET, OU, OU exclusif, CPL • Conversion BCD, ASCII, binaire • Décalage circulaire dans les 2 sens • Transfert sur chaînes de bits, mots, valeur immédiate, tables de mots 																																					
GRAFCET	Graphes <ul style="list-style-type: none"> • 96 étapes, dont 16 initiales • 16 étapes actives simultanément • 128 transitions dont 24 validées simultanément • 4 éléments par divergence/convergence 	Pages <ul style="list-style-type: none"> • 8 pages de 8 colonnes • 1 colonne = 1 renvoi d'origine 6 étapes, 6 transitions 1 renvoi de destination 																																					
	Objets bits adressables (nombre maximum) <table border="1"> <tr> <td>• I/O, x, i entrées/sorties</td> <td>160</td> <td>256</td> </tr> <tr> <td>• I/24-I0,25 entrées événementielles</td> <td>2</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>• BI bits internes</td> <td>256</td> <td>256</td> </tr> <tr> <td>• SYI bits système</td> <td>24</td> <td>24</td> </tr> <tr> <td>• Si bits statuts : bits (état par module)</td> <td>8</td> <td>16</td> </tr> </table>	• I/O, x, i entrées/sorties	160	256	• I/24-I0,25 entrées événementielles	2	-	• BI bits internes	256	256	• SYI bits système	24	24	• Si bits statuts : bits (état par module)	8	16	Objets mots adressables (nombre maximum) <table border="1"> <tr> <td>• W0 à W1023 mots internes</td> <td>1024</td> <td>1024</td> </tr> <tr> <td>• CW0 à CW1023 mots constants</td> <td>1024</td> <td>1024</td> </tr> <tr> <td>• SW0 à SW63 mots système</td> <td>64</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>• Xi, V activité étape</td> <td>96</td> <td>96</td> </tr> <tr> <td>• IWx, IOWx, i mots registres</td> <td>24</td> <td>24</td> </tr> <tr> <td>• COMI, j mots communs</td> <td>4x16</td> <td>4x16</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>TELWAY/FIPWAY</td> </tr> </table>	• W0 à W1023 mots internes	1024	1024	• CW0 à CW1023 mots constants	1024	1024	• SW0 à SW63 mots système	64	4	• Xi, V activité étape	96	96	• IWx, IOWx, i mots registres	24	24	• COMI, j mots communs	4x16	4x16			TELWAY/FIPWAY	TSX 17-20
• I/O, x, i entrées/sorties	160	256																																					
• I/24-I0,25 entrées événementielles	2	-																																					
• BI bits internes	256	256																																					
• SYI bits système	24	24																																					
• Si bits statuts : bits (état par module)	8	16																																					
• W0 à W1023 mots internes	1024	1024																																					
• CW0 à CW1023 mots constants	1024	1024																																					
• SW0 à SW63 mots système	64	4																																					
• Xi, V activité étape	96	96																																					
• IWx, IOWx, i mots registres	24	24																																					
• COMI, j mots communs	4x16	4x16																																					
		TELWAY/FIPWAY																																					

Système de triage de colis

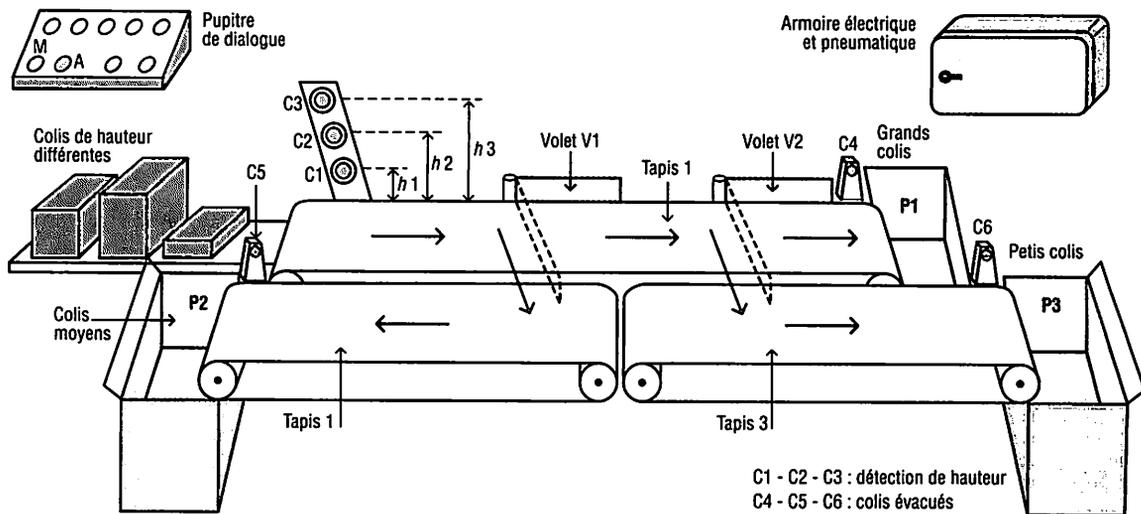


Fig. 1 : Système de tri de colis.

Pour des raisons d'économie, les entreprises sont conduites à réduire leurs coûts de production. Elles doivent donc moderniser leur structure de travail et automatiser les manutentions.

1. Disposition du système de tri de colis

Dans une entreprise de vente par correspondance les commandes sont mises dans des colis de dimensions différentes. Pour faciliter les manutentions, ces colis doivent être triés suivant trois hauteurs différentes. Ce poste de tri de colis a été déjà présenté dans le tome 1, chapitre 20.

1.1. Représentation dans l'espace (fig. 1)

1.2. Descriptif des organes électriques et pneumatiques

a) Disposition générale

Ce système comporte :

- 3 tapis roulants actionnés par des moteurs triphasés ;
- 2 vérins pneumatiques qui commandent des volets d'aiguillage (fig. 2) ;
- des capteurs C1 à C6.

Les colis arrivent sur le tapis 1, les plus hauts sont évacués par ce même tapis, les colis moyens sont aiguillés sur le tapis T2 et évacués vers la caisse P2, les petits colis sont aiguillés par le volet V2 vers le tapis T3 et la caisse P3.

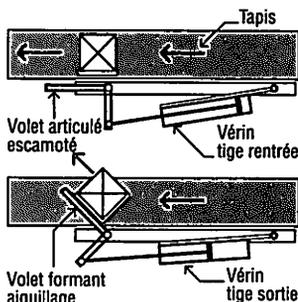


Fig. 2 : En haut le volet laisse passer les colis, en bas le volet transfère les colis sur le deuxième tapis.

b) Rôle des capteurs

Tous les capteurs utilisés sont des cellules photo-électriques,

- C1, C2, C3 contrôlent la hauteur des colis ;
- C4, C5, C6 contrôlent l'évacuation des colis.

c) Poste de dialogue opérateur (fig. 3)

On l'appelle aussi pupitre d'exploitation, il comporte :

- un bouton-poussoir marche (S5) ;
- un arrêt d'urgence (S3) ;
- un bouton-poussoir arrêt en fin de cycle (S4) ;

- un bouton-poussoir départ de cycle (DCY) ;
- un commutateur rotatif à deux positions (S6), qui fonctionne en cycle par cycle (S6) ou cycle continu (S6).

Il comporte aussi des voyants :

- H1 : défauts moteurs
- H2 : mise sous tension
- H3 : moteurs démarrés
- H4 : colis approvisionnés.

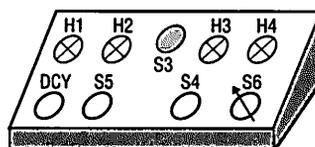


Fig. 3 : Pupitre de dialogue.

2. Analyse fonctionnelle

2.1. Analyse de niveau A-0 (fig. 4)

a) En entrée, les colis se présentent mélangés, en sortie ils sont triés en trois catégories.

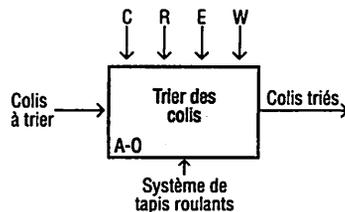


Fig. 4 : Analyse fonctionnelle de niveau A-0.

b) Les contraintes sont de quatre ordres :

- la configuration du système, c'est le programme de fonctionnement ;
- le réglage : il porte sur le réglage des trois hauteurs de colis ;
- l'exploitation : c'est la mise en marche, la marche cycle par cycle ou encore la marche en continu ;
- l'énergie : le système doit être alimenté en énergie électrique et en énergie pneumatique.

2.2. Analyse de niveau A0 (fig. 5)

Comme dans tout système automatique, on retrouve les sous-fonctions :

- Communiquer avec le système : c'est le rôle du pupitre et du dispositif de programmation.
- Traiter les données : cette fonction est assurée par l'automate programmable.

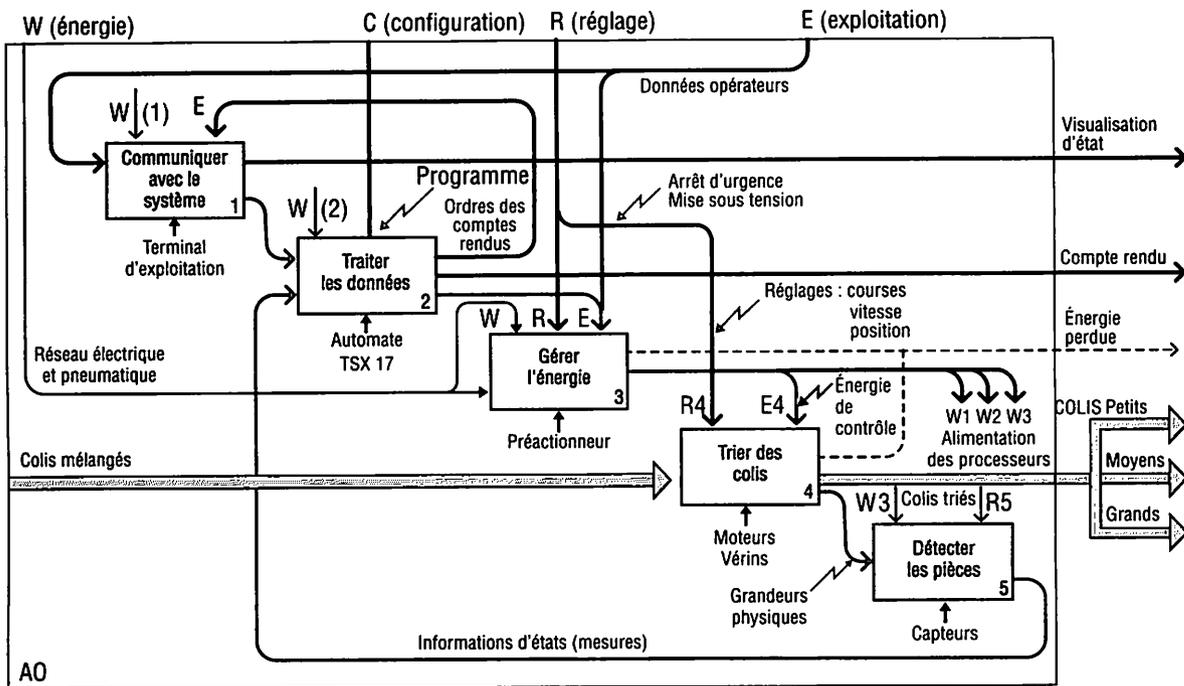


Fig. 5 : Analyse fonctionnelle du système de tri de colis.

- **Gérer l'énergie** : alimentation en énergie électrique et pneumatique.
- **Trier les colis** : c'est la fonction principale. Elle est assurée par le système dans lequel les actions sont effectuées par des moteurs électriques et des vérins pneumatiques : c'est la partie opérative.
- **Détecter les pièces** : les capteurs vont informer le traitement des données des positions des colis, c'est la rétroaction.

3. GRAFCET

Il permet de définir le cycle à réaliser au moment du triage, c'est une analyse dans le temps (temporelle).

3.1. Cycles à réaliser

a) Principe général (fig. 6)

Lorsqu'un colis se présente à l'entrée du système, une détection de hauteur définit dans quelle direction il doit aller ; trois tapis roulants et deux aiguillages permettent d'effectuer les translations nécessaires.

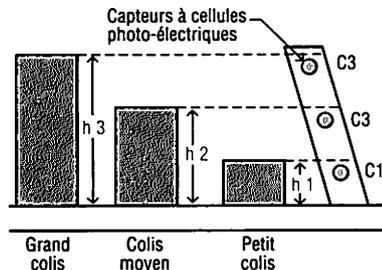


Fig. 6 : Différents circuits des colis.

b) Démarrage de tapis

- La mise sous tension du système s'effectue par action sur un bouton-poussoir ; mise sous tension qui alimente l'équipement électrique et initialise l'automate.
- L'action sur le bouton départ de cycle entraîne le démarrage en cascade des moteurs de tapis avec un décalage de 4 secondes, dans l'ordre T1, T2, T3.
- L'automatisme de tri ne peut fonctionner que lorsque les tapis sont démarrés.

c) Automatisme de tri (fig. 7)

La taille des colis est détectée par trois cellules photo-électriques, en fonction de la hauteur du colis, ceux-ci sont orientés sur l'un des trois tapis.

- **Petit colis** : $h < C2$ d'où $C1 = 1, C2 = 0, C3 = 0$, le circuit est : tapis 1, volet 2 ; tapis 3, capteur C6.
- **Colis moyen** : $h < C3$ d'où $C1 = 1, C2 = 1, C3 = 0$, le circuit est : tapis 1, volet 1 ; tapis 2, capteur C5.
- **Grand colis** : $h > C3$ d'où $C1 = 1, C2 = 1, C3 = 1$. Les volets 1 et 2 s'ouvrent, le colis passe tout droit et franchit le capteur C4.

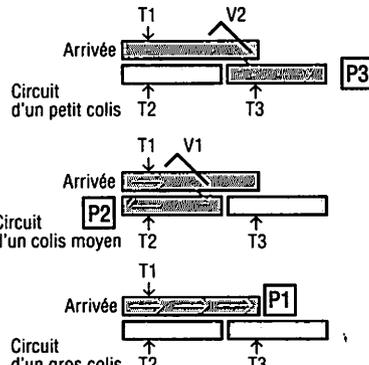


Fig. 7 : Détection de hauteur.

Tableau 1 : Table de vérité

C1	C2	C3	T1	T2	T3	V1	V2
1	0	0	1	0	1	0	1
1	1	0	1	1	0	1	0
1	1	1	1	0	0	0	0

d) Cycles de fonctionnement

Un commutateur permet d'effectuer un fonctionnement cycle par cycle ; le cycle s'arrête après chaque tri d'un colis, on revient au départ. En cas de fonctionnement cycle continu, la fin du tri d'un colis autorise le tri d'un nouveau colis.

3.2. GRAFCET des spécifications fonctionnelles (fig. 8)

On considère trois parties dans ce GRAFCET. Au début il est linéaire, c'est le démarrage des moteurs des tapis roulants, puis un aiguillage en OU suivant la dimension des colis. Enfin, selon que l'on est en cycle par cycle ou en cycle continu, on peut envisager deux reprises de séquences différentes.

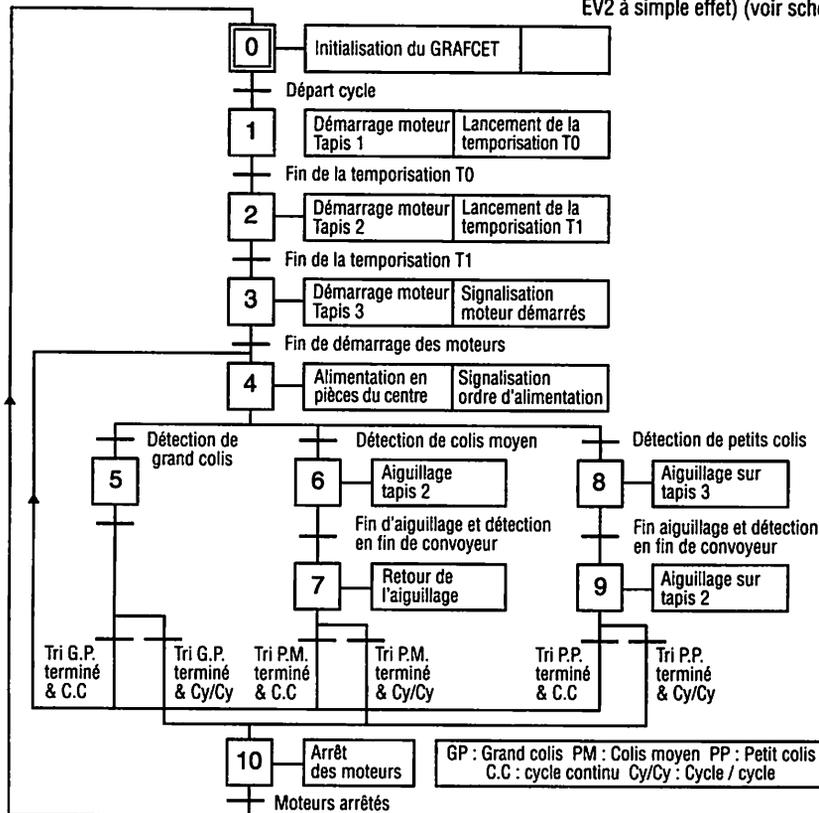


Fig. 8 : GRAFCET des spécifications fonctionnelles.

3.3. GRAFCET des spécifications technologiques (fig. 9)

Il reprend toutes les étapes du GRAFCET fonctionnel avec les options technologiques suivantes :

- moteurs des tapis T1, T2, T3 commandés par les contacteurs KM1, KM3, KM5 avec les temporisations T0 et T1 ;
- vérins d'aiguillages commandés par les distributeurs EV1 et EV2 qui actionnent les contacts S10 et S11 ainsi que S20 et S21 (EV1 et EV2 à simple effet) (voir schéma page 238).

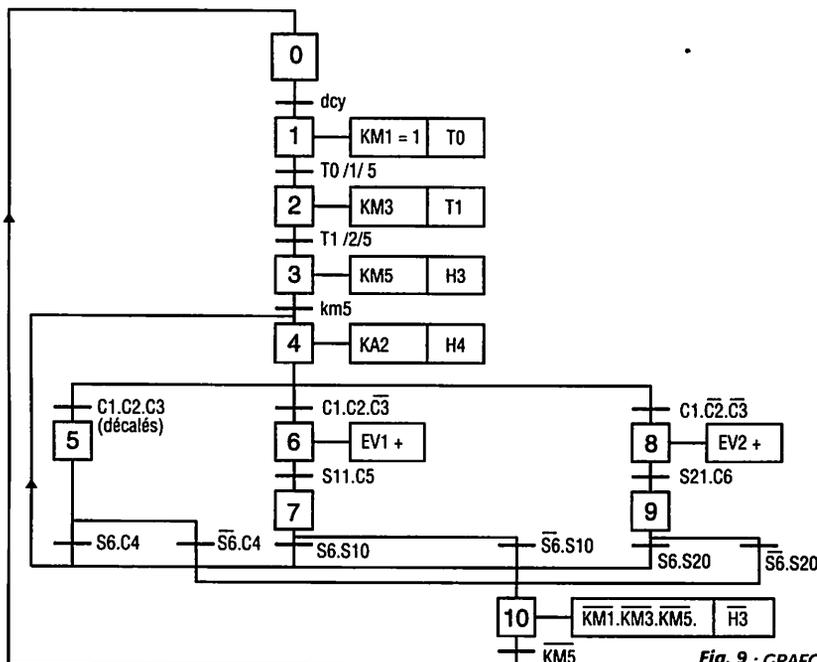


Fig. 9 : GRAFCET des spécifications technologiques.

4. Programmation en langage GRAFCET

4.1. Affectations ou adresses des entrées et des sorties

Entrées					
I 0,00	DCY	I 0,06	C2	I 0,11	S 11
I 0,01	S6	I 0,07	C3	I 1,00	S 10
I 0,02	S6	I 0,08	C4	I 1,01	S 21
I 0,03	KM5	I 0,09	C5	I 1,02	S 20
I 0,05	C1	I 0,10	C6	O 2,03	H 4

Sorties			
O 0,00	KM1	O 0,05	KM6
O 0,01	KM2	O 0,06	KA2
O 0,02	KM3	O 0,07	EV1 +
O 0,03	KM4	O 2,01	EV2 +
O 0,04	KM5	O 2,02	H3

4.2. Programmation en langage GRAFCET (voir formulaire page 229)

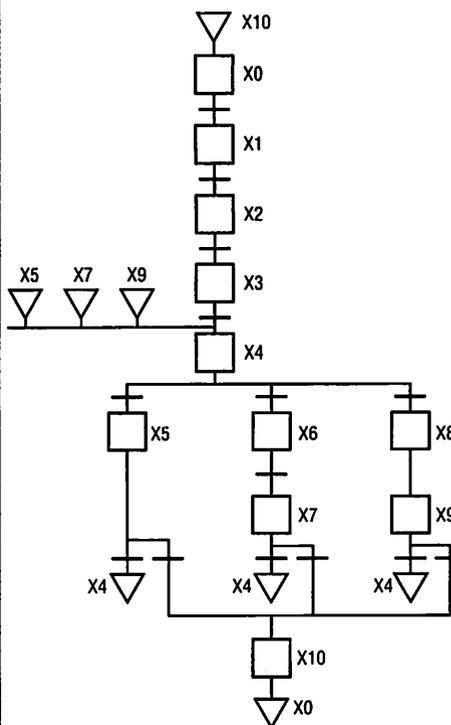


Fig. 10 : GRAFCET de programmation en langage PL7-2.

4.3. Traitement séquentiel des réceptivités

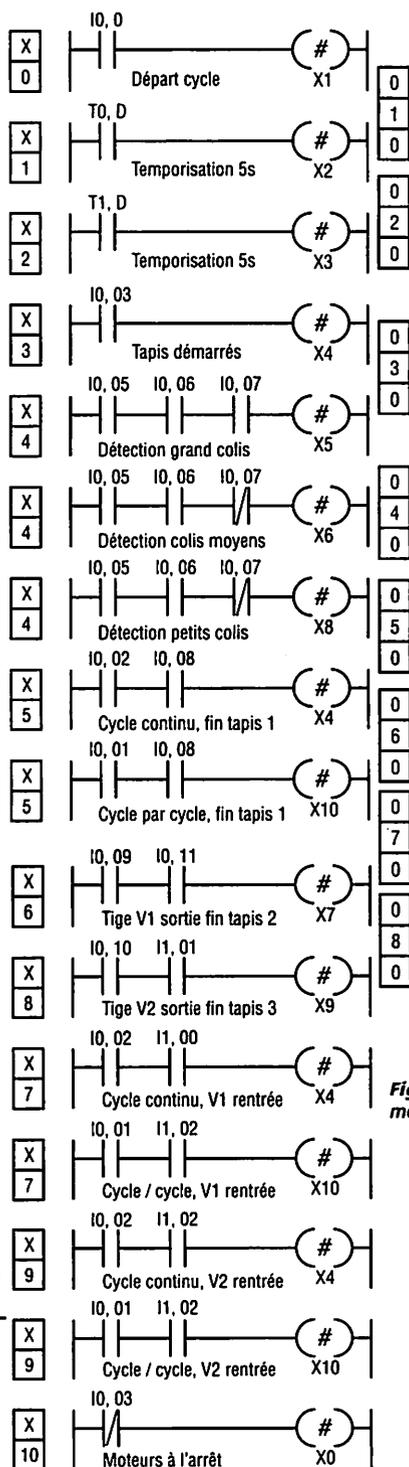


Fig. 11 : Langage à contacts pour traitement des réceptivités.

4.4. Traitement postérieur

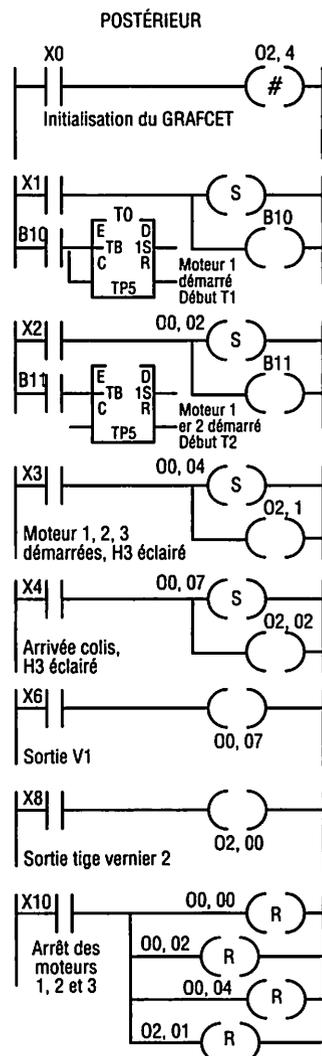


Fig. 12 : Langage à contacts pour traitement des sorties.

Remarque : le traitement préliminaire n'est pas représenté ; il est analogue à celui de la page 222.

5. Automate programmable

L'automate programmable utilisé dans ce système est un TSX 17-20 avec une extension pour les entrées et une extension pour les sorties.

5.1. Automate de base (fig. 13)

L'automate TSX 17-20, référence TSX 172-2028 correspond à :

- 12 entrées 24 V courant continu, isolées ;
- 8 sorties à relais.

Les adresses pour les entrées sont : I 0,00 à I 0,11.

Pour les sorties on a les adresses : O 0,00 à O 0,07.

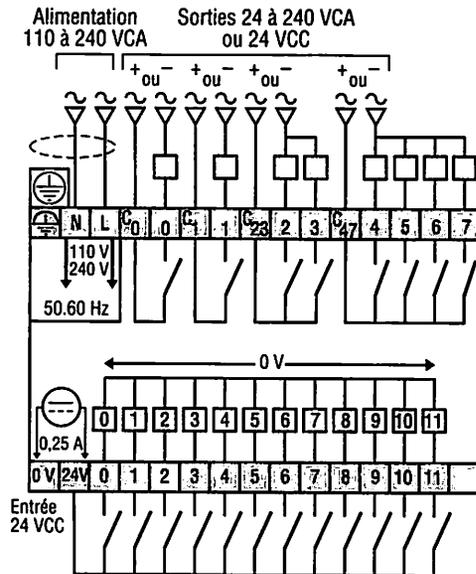


Fig. 13 : Automate de base.

5.2. Module d'extension d'entrées (fig. 14)

Le nombre d'entrées n'étant pas suffisant, on est conduit à ajouter un module d'extension (référence TSX DEF 812) comportant huit entrées 24 V courant continu isolées. Ce module est connecté sur l'automate de base. Les adresses commencent par 1, elles vont de I 1,00 à I 1,07.

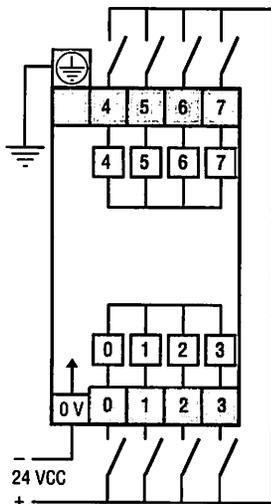


Fig. 14 : Module d'extension 8 entrées.

5.3. Module d'extension des sorties (fig. 15)

L'automate ne disposant que de huit sorties, on est conduit à connecter un module d'extension de six sorties à relais (référence TSX DSF 635).

Les adresses commencent par 2, elles vont de O 2,00 à O 2,05.

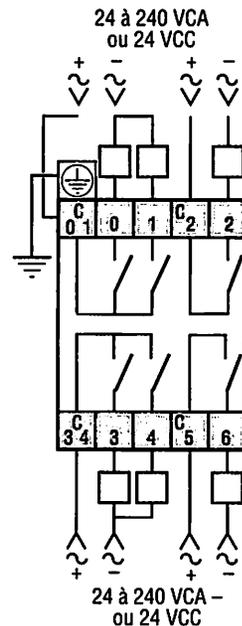


Fig. 15 : Module d'extension 6 sorties.

6. Équipement électrique

Il fait partie de la représentation structurelle du système. Il comporte :

- le schéma du circuit pneumatique (fig. 16),
- le schéma d'implantation de l'équipement (fig. 17),
- la nomenclature de l'équipement (tableau 2).

L'ensemble de ces documents constitue le dossier de l'équipement électrique :

- le schéma d'alimentation des cellules photo-électriques (fig. 18),
- le schéma de raccordement des extensions automate (fig. 19),
- le schéma du circuit de puissance (fig. 20),
- les schémas du circuit de commande : raccordement des sorties (fig. 22) et raccordement des entrées (fig. 21).

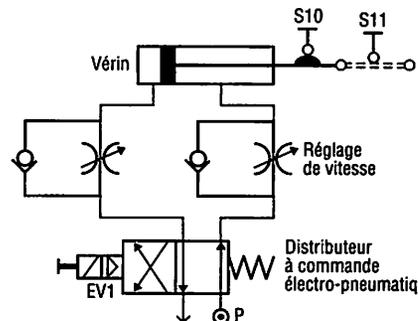


Fig. 16 : Schéma du circuit pneumatique d'un vérin (ce schéma se répète deux fois pour EV1 et EV2).

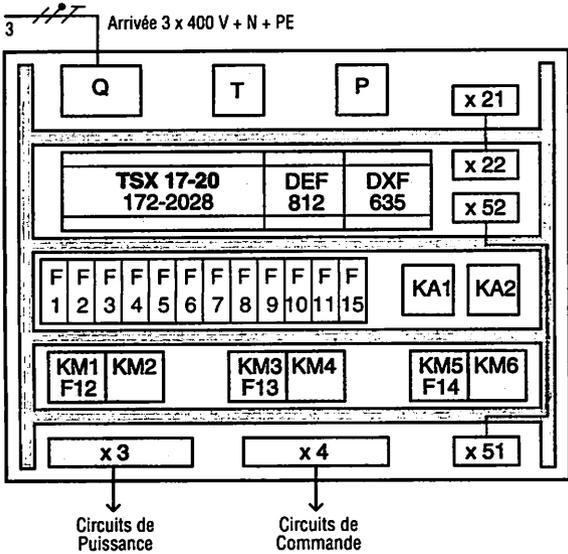


Fig. 17 : Schéma d'implantation de l'équipement.

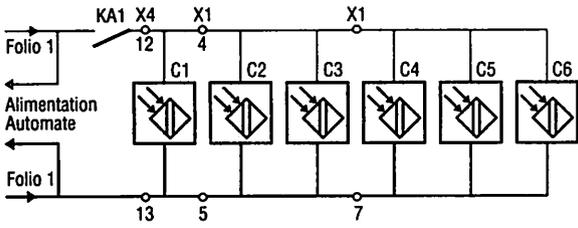


Fig. 18 : Schéma d'alimentation des cellules photo-électriques.

Tableau 2 : Nomenclature de l'équipement électrique.

Repère	Qté	Désignation	Référence
Q	1	Sectionneur	LS1-D253
T	1	Transformateur mono	220/24 V
P	1	Prise de courant à volet	Plexo 903-40
TSX 17	1	Automate de base	TSX 172 2028
DEF	1	Module d'extension des entrées « TOR »	TSX DEF 812
DXF	1	Module d'extension des sorties « TOR »	TSX DEF 635
X 21-22	2	Connecteur des entrées	40 broches
X 51-52	2	Connecteur des sorties	40 broches
F1 à F15	12	Porte fusible + fusibles	
KA1, 2	2	Relais auxiliaires	CA2 DN140
KM1 à 6	6	Contacteur	LC1-D213 BA65
	3	Relais thermiques	LR1-D09
X3	1	Bornier puissance	10 bornes
X4	1	Bornier commande	20 bornes
X1	1	Bornier sur système	

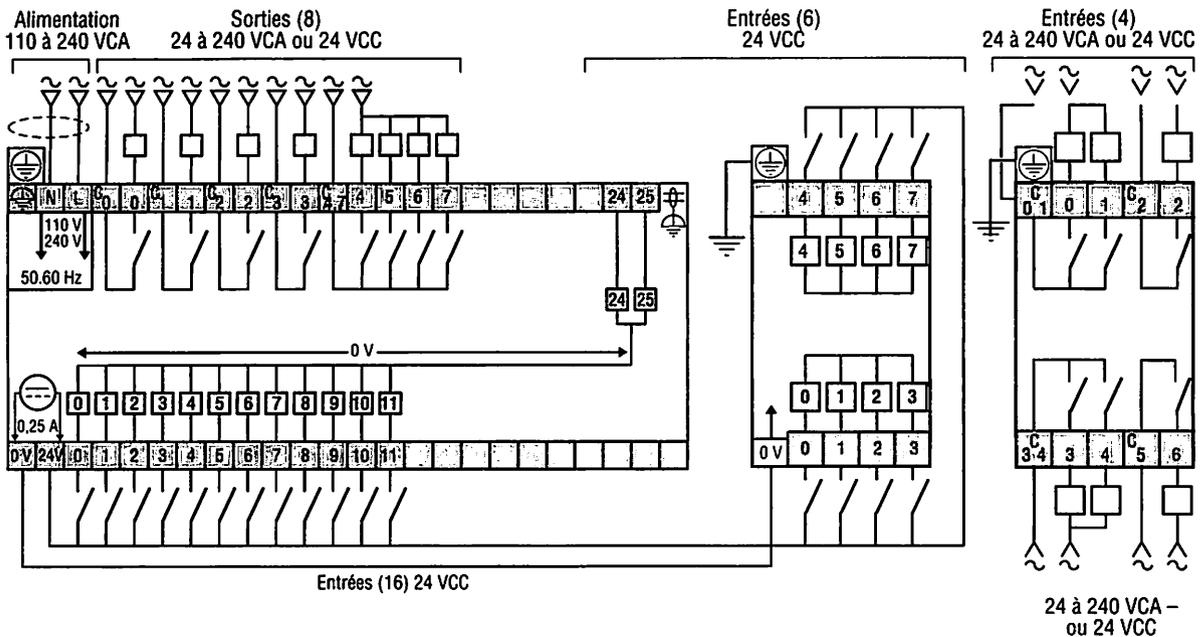


Fig. 19 : Schéma de raccordement de l'automate et des modules d'extension.

Folio 1

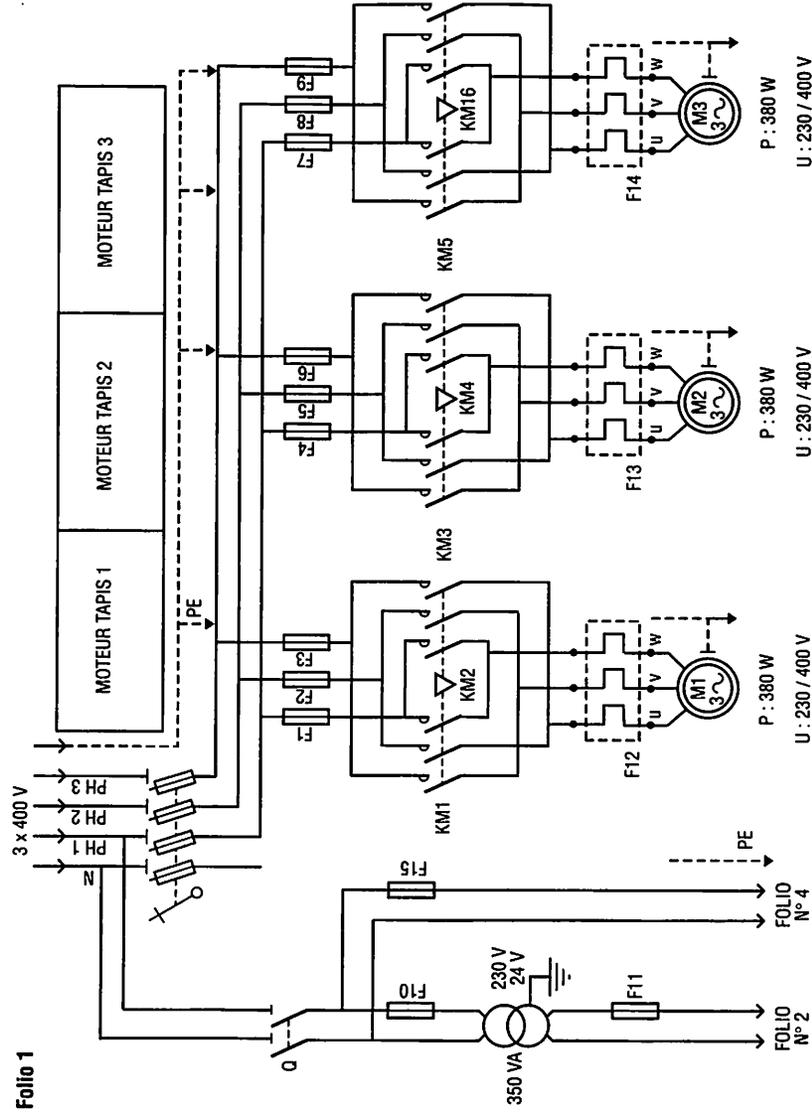


Fig. 20 : Schéma du circuit de puissance.

Folio 4

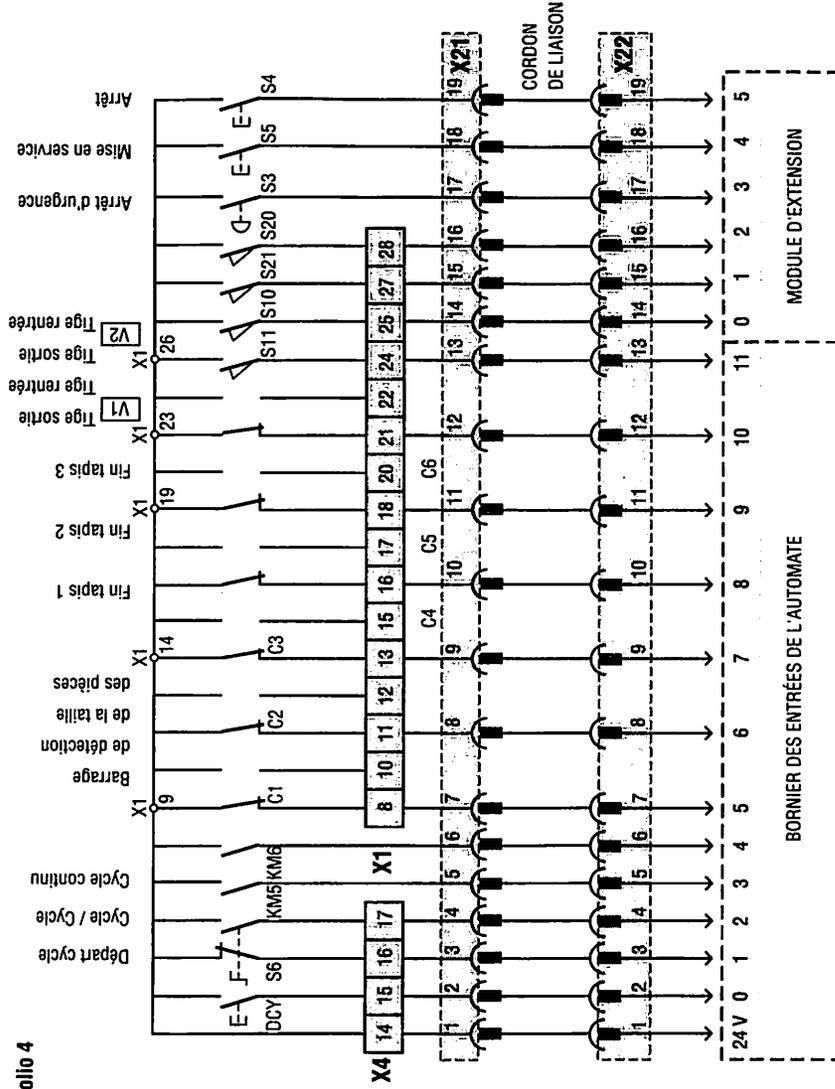
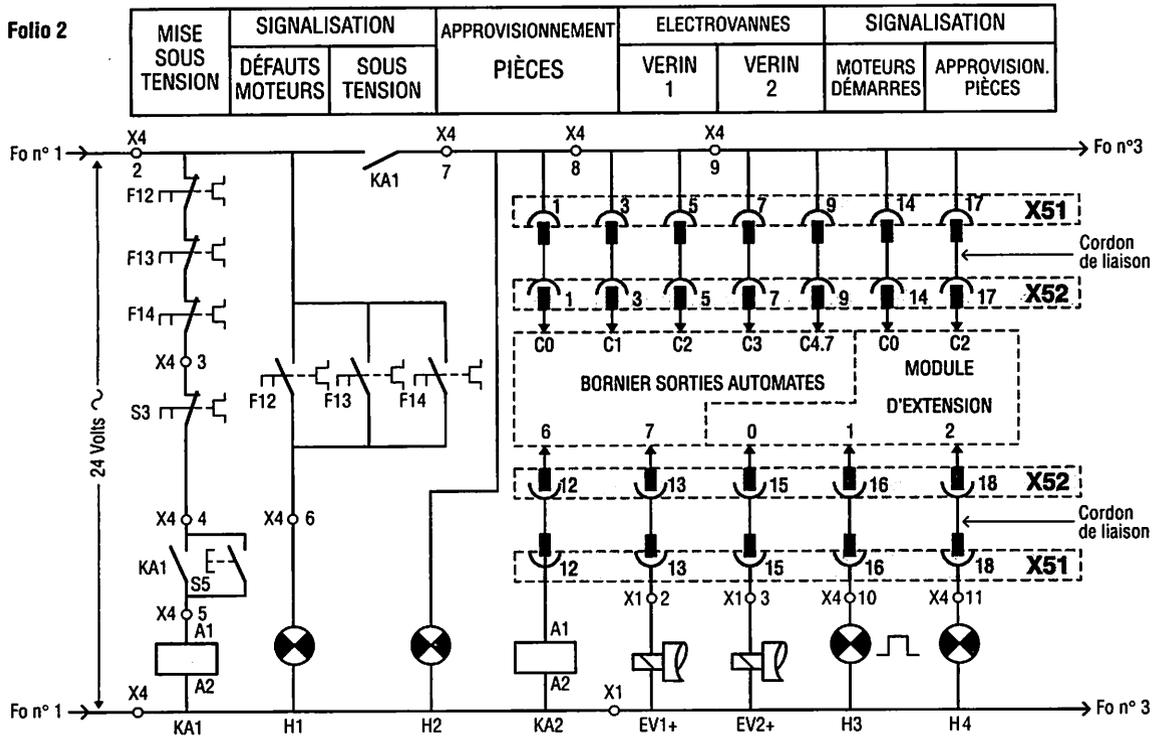


Fig. 21 : Schéma de commande : raccordement des entrées.

Folio 2



Folio 3

CONTACTEURS MOTEUR TAPIS 1		CONTACTEURS MOTEUR TAPIS 2		CONTACTEURS MOTEUR TAPIS 3	
AVANT	ARRIÈRE	AVANT	ARRIÈRE	AVANT	ARRIÈRE

Fo n° 2

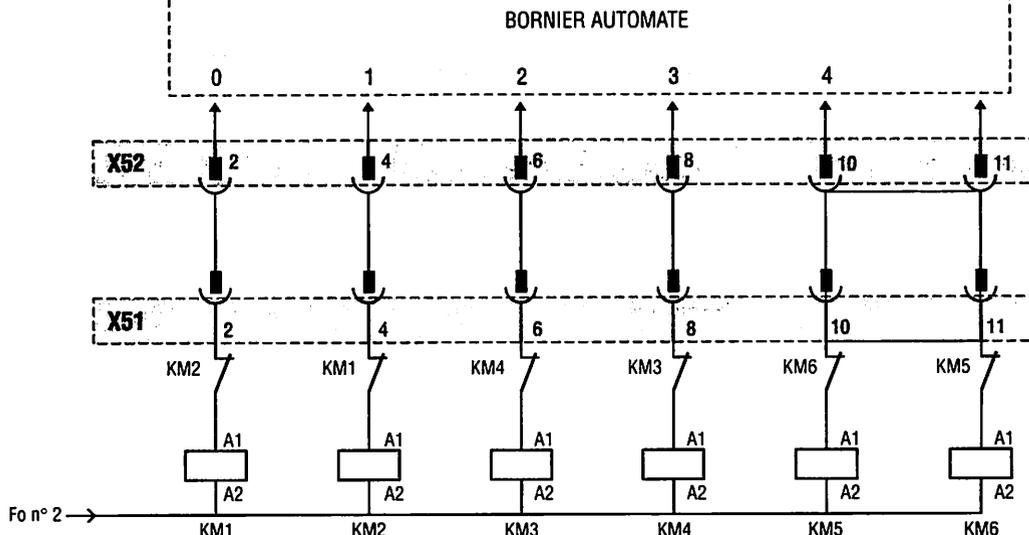


Fig. 22 : Circuit de commande : raccordement des sorties.

La production automatisée exige des machines de plus en plus performantes, souvent associées les unes aux autres en îlots de production. Cela exige la mise en réseau des automates avec une programmation de plus en plus complexe, d'où la nécessité de l'assistance à la programmation par ordinateur.

OBJECTIF

S'informer sur l'évolution des matériels et des langages.

SAVOIR TECHNOLOGIQUE

S 5.2

1 Situation actuelle

1.1. Programmation par console spécialisée

Pour une application, un automate est programmé à l'aide d'une console.

Exemple (fig. 1) : Automate TSX Nano et son terminal de programmation.

La console permet l'écriture du programme et sa sauvegarde en mémoire. Elle permet aussi le transfert du programme sur l'automate, la mise au point, les réglages des temporisations et compteurs.

1.2. Programmation à l'aide d'ordinateur type PC

Un micro-ordinateur compatible PC (fig. 2) est chargé avec le langage de l'automate utilisé. En utilisant le système d'exploitation type « Windows », il permet une exploitation facile du langage pour l'écriture et la sauvegarde du programme. Le transfert de l'automate se font par la liaison série du micro-ordinateur vers l'automate programmable.

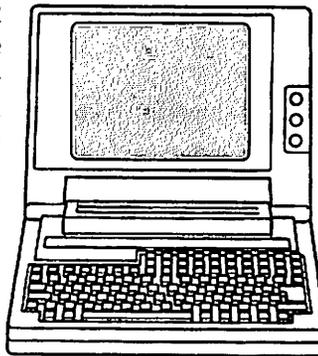


Fig. 2 : Terminal de programmation (FT 2000 de Schneider).

1.3. Logiciels utilisés

Les logiciels utilisés sont ceux des fabricants d'automates programmables avec le ou les langages, souvent spécifiques à chaque type d'automate, ce qui rend l'utilisateur entièrement dépendant du constructeur.

Exemples : Langages PL7-07, PL7-1, PL7-2, PL7-3, PL7 Micro, PL7 Junior, PL7 Pro, PL7 SMC, SDKC, etc.

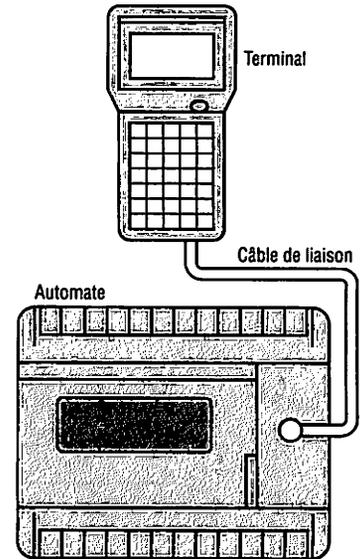


Fig. 1 : Terminal FTX 117 avec automate TSX Nano (Schneider).

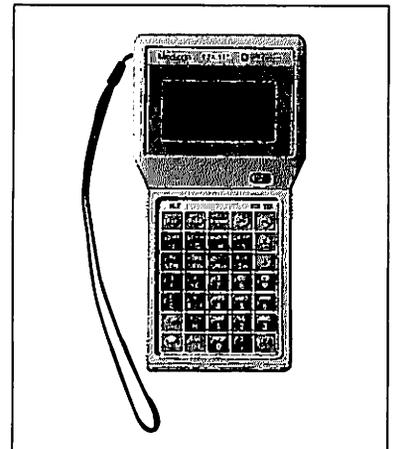


Fig. 3 : Terminal FTX 117.

2 Différents stades de mise en œuvre d'un programme (fig. 4)

2.1. Prise en compte du poste à automatiser

La description du cycle à réaliser est effectuée sur différents documents du cahier des charges :

- schéma, logigrammes, équations logiques,
- GRAFCET, GEMMA,
- blocs fonctionnels : temporisateurs, séquenceurs, compteurs...

2.2. Adaptation au type d'automate

Il s'agit de l'adressage ou de l'affectation des entrées de l'automate aux capteurs utilisés et des sorties automates vers les contacteurs ou électro-vannes.

2.3. Écriture du programme d'automate

On emploie le langage du constructeur.

2.4. Transfert du programme et mise au point

Le transfert du programme exige une liaison entre la console de programmation et l'automate avec des possibilités de réglage des différents paramètres de temporisation, comptage et régulation.

2.5. Maintenance de l'équipement

En cas de panne du poste automatisé, il faut pouvoir intervenir dans le programme pour forcer des valeurs à 0 ou à 1 et définir les causes des pannes.

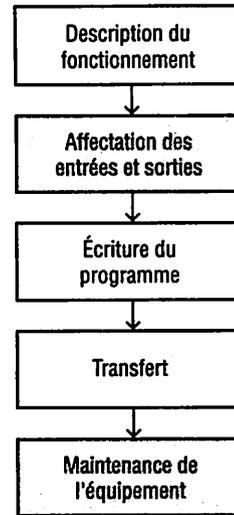


Fig. 4 : Processus de mise en œuvre d'un programme d'A.P.I.

3 Tendances actuelles

Des programmes informatiques d'assistance à la programmation permettent une génération automatique des codes exécutables par l'automate, selon les étapes suivantes :

- a) Saisie à l'aide de l'éditeur de l'ordinateur, d'un GRAFCET, schéma Ladder, langage Booléen...
- b) Affectation des entrées et sorties aux adresses de l'automate.
- c) Configuration de l'automate sur lequel le programme doit être installé.
- d) Génération des codes constructeurs : c'est la traduction automatique du cycle à réaliser en codes instructions spécifiques à l'automate sélectionné.
- e) Exécution, mise au point et maintenance : ces programmes permettent la visualisation des variables et le forçage à 0 ou à 1 des bits sélectionnés.

Programmes existants :

- AUTOMGEN V7 de IRAI
- CADÉPA d'Eurilor.

4 Application

Exemples d'écrans obtenus avec AUTOMGEN :

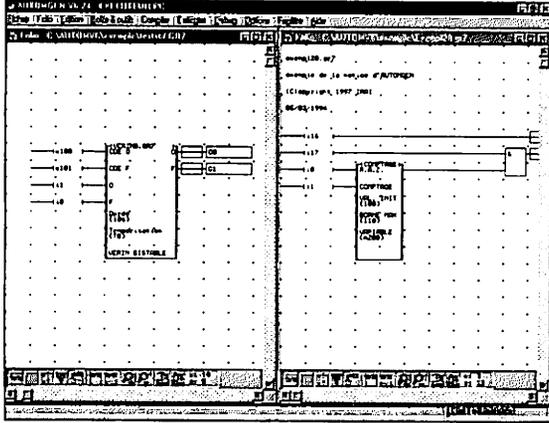


Fig. 6 : Blocs fonctionnels.

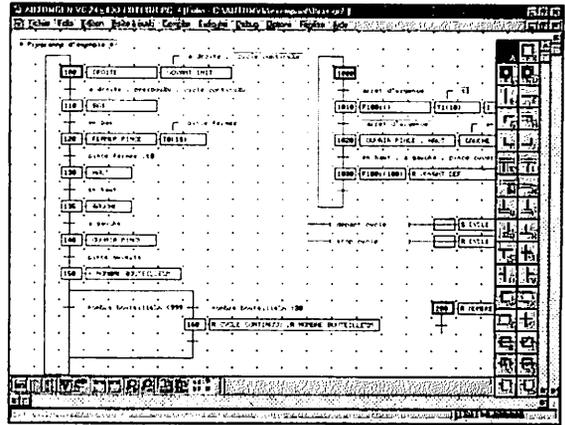


Fig. 5 : Écran AUTOMGEN d'un GRAFCET sous Windows™.

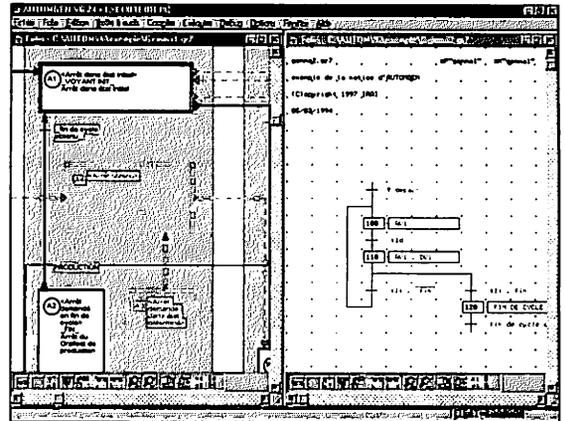


Fig. 7 : Édition d'un GRAFCET avec GEMMA.

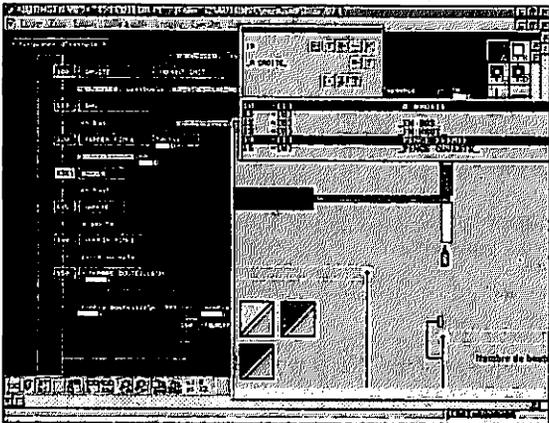


Fig. 8 : Visualisation dynamique.

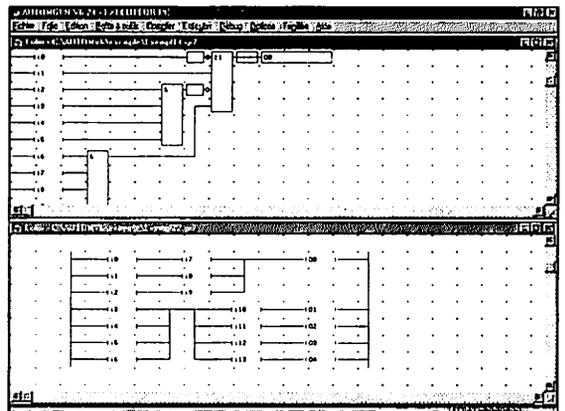


Fig. 9 : Édition de logigrammes ou Ladder.

L'essentiel

- ▣ La programmation des automates évolue de plus en plus vers l'emploi de micro-ordinateurs : il s'agit de programmation assistée par ordinateur.
- ▣ L'emploi de consoles spécialisées, nécessite un langage précis pour un automate donné. La programmation à l'aide d'un ordinateur personnel, utilise le langage spécialisé du constructeur d'automate, avec le système d'exploitation de l'ordinateur.
- ▣ Les différents stades de mise en œuvre d'un programme d'automate sont :
 - la description du cycle à réaliser ;
 - l'adressage ou l'affectation des entrées et sorties d'automate ;
 - l'écriture du programme dans le langage défini par le constructeur ;
 - le transfert du programme vers l'automate ;
 - le réglage et la maintenance du système avec l'automate.
- ▣ Il existe aussi des programmes d'assistance à la programmation qui génèrent automatiquement les codes exécutables par un automate. Il suffit d'entrer les affectations des entrées et sorties ainsi que le GRAFCET de fonctionnement du système.



VRAI OU FAUX ?

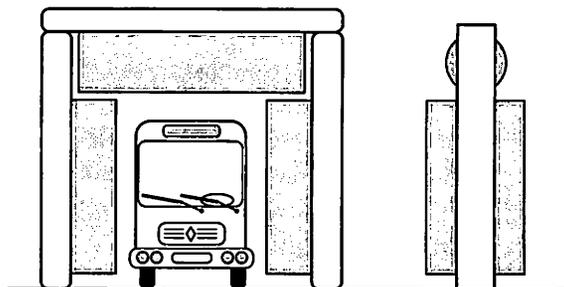
Parmi les affirmations suivantes, indiquez celles qui sont vraies.

1. Un automate programmable peut être programmé à l'aide d'un micro-ordinateur.
2. Une console spécialisée permet de programmer n'importe quel automate.
3. Tous les logiciels de langage PL7 sont identiques.
4. Pour programmer un automate à l'aide d'un ordinateur, il faut que ce dernier possède le langage de l'automate.
5. Pour programmer un automate à l'aide d'un ordinateur, il faut avoir le cycle à réaliser sur le système.
6. On appelle adressage d'un automate, l'affectation des entrées et des sorties de l'automate.
7. Les entrées d'un automate sont toujours reliées aux sorties des capteurs.
8. Pour l'écriture d'un programme, on doit obligatoirement utiliser le langage du constructeur de l'automate.
9. Le transfert d'un programme peut s'effectuer sur un automate, même si celui-ci est en cours de fonctionnement.
10. Un programme d'assistance à la programmation permet de générer automatiquement les codes exécutables par l'automate.
11. Dans le système de station de lavage, le programme de lavage rinçage nécessite une reprise de séquence.
12. Le programme 2 de la station de lavage est complètement linéaire.
13. Au capteur S8 correspond l'adressage I 0.4 de l'automate.
14. L'avance du portique correspond à l'affectation qui a pour valeur Q 0.2 sur l'automate.
15. Les sorties d'un automate correspondent aux capteurs.
16. Le système station de lavage n'arrive pas à passer de l'étape 02 à l'étape 03 par suite de I 0.6.
17. Dans le schéma des circuits des sorties d'automate, le contact KM 3 à ouverture verrouille le relais KA4.
18. Le moteur M2 est commandé par le contacteur KM5.
19. L'entrée E 07 de l'automate est commandée par un capteur pneumatique.
20. Le choix entre les programme 1 et programme 2 est effectué par le capteur S6.

Station de lavage

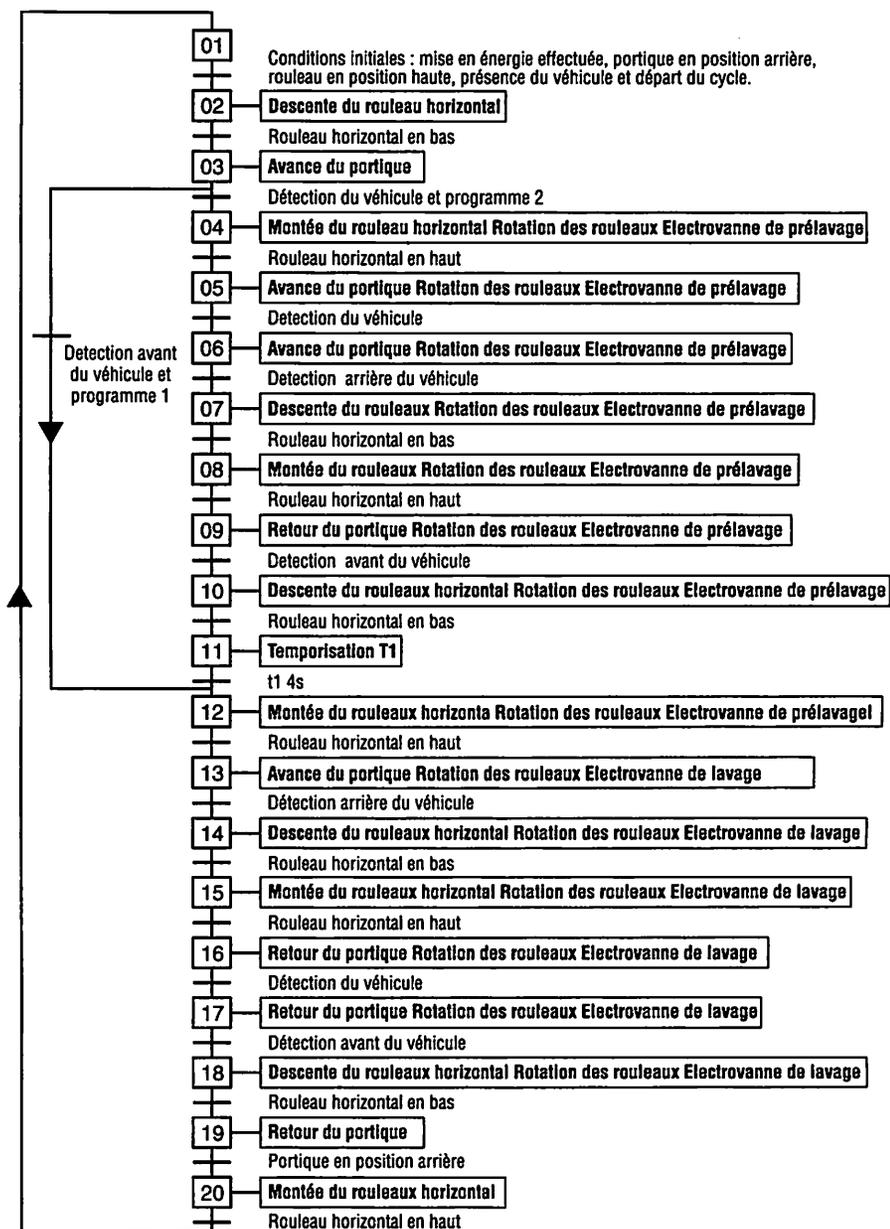
Le lavage des véhicules automobiles et autobus est réalisé par des rouleaux supportés par un portique mobile. On peut réaliser deux programmes :

- Programme 1 : lavage, rinçage.
- Programme 2 : pré-lavage, lavage, rinçage.



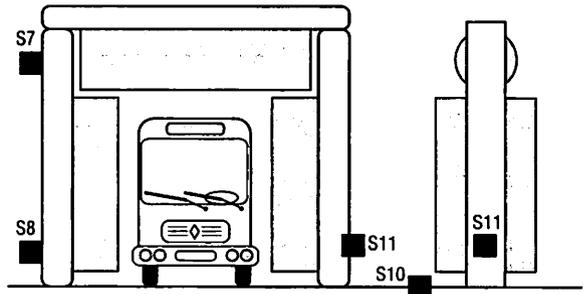
1. Description du fonctionnement

GRAFICET DES SPÉCIFICATIONS FONCTIONNELLES



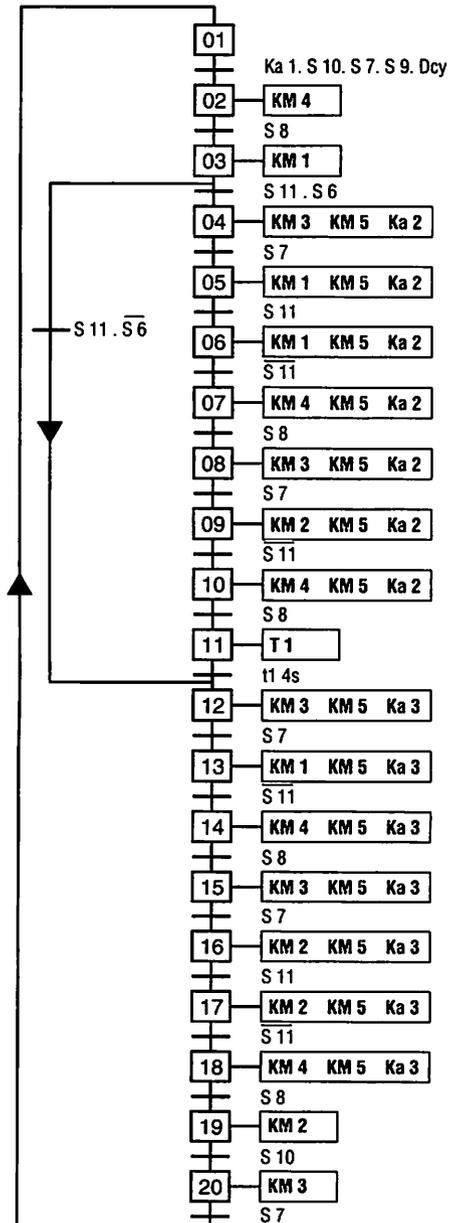
2. Implantation des capteurs

Le capteur S11 se trouve sur le portique et détecte la position exacte du véhicule ainsi que sa longueur.

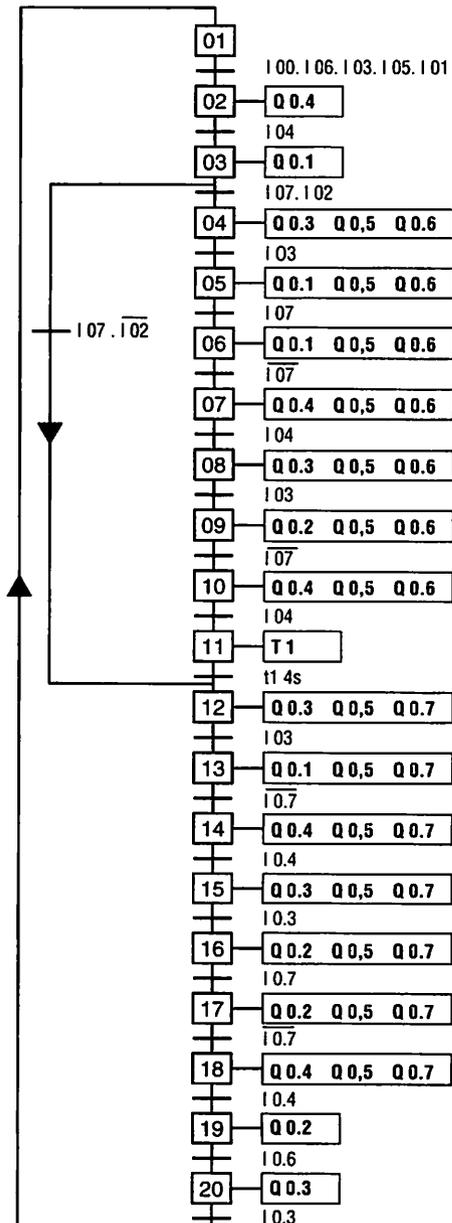


3. Les « GRAFCET »

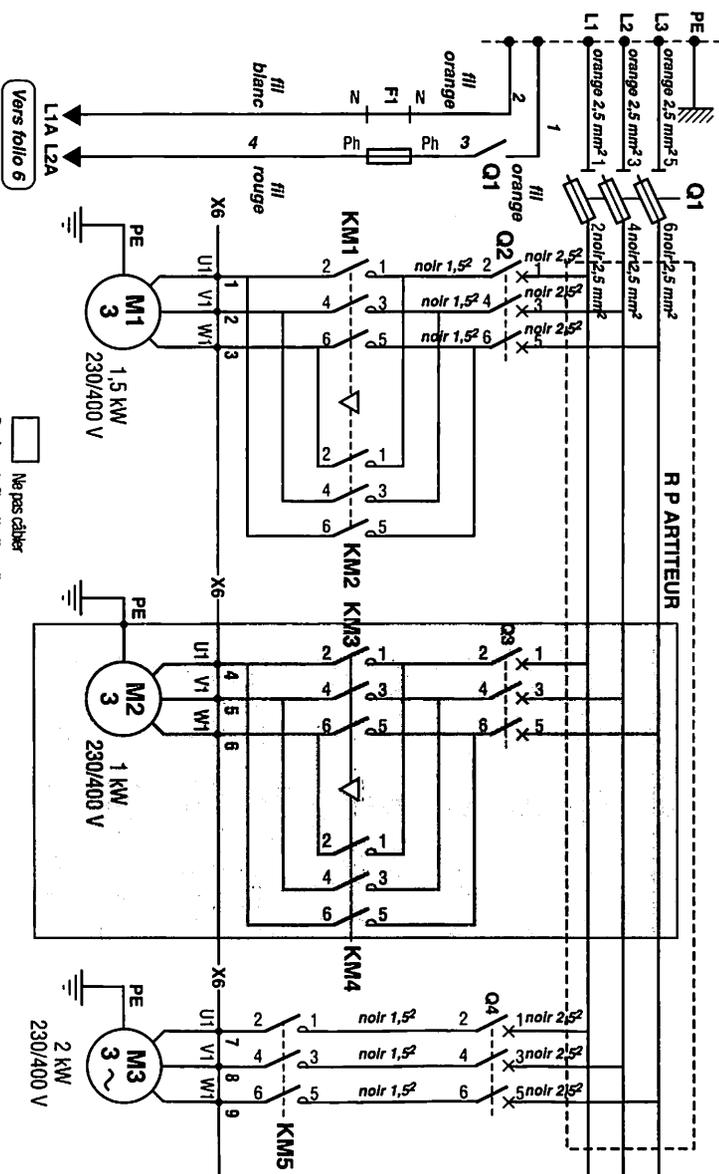
GRAFCET DES SPÉCIFICATIONS TECHNOLOGIQUES



GRAFCET D'AFFECTATION « entrées sorties »



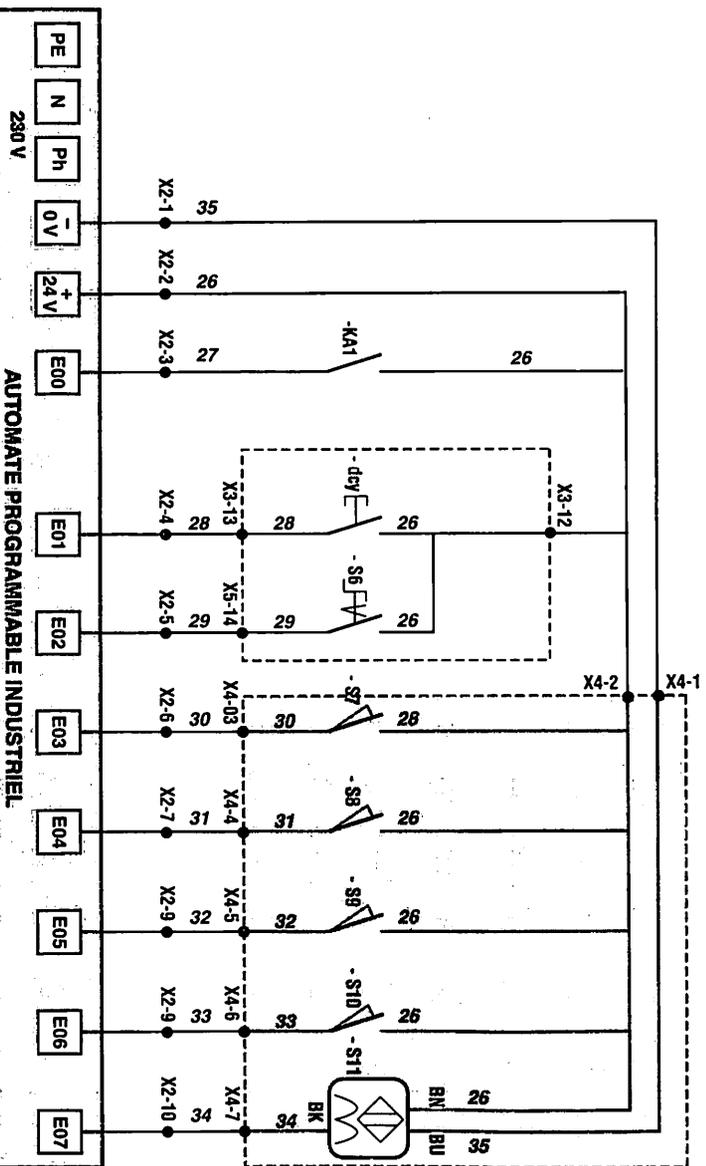
4. Schéma des circuits de puissance



□ Ne pas câbler
Repères de fils : "habillage"

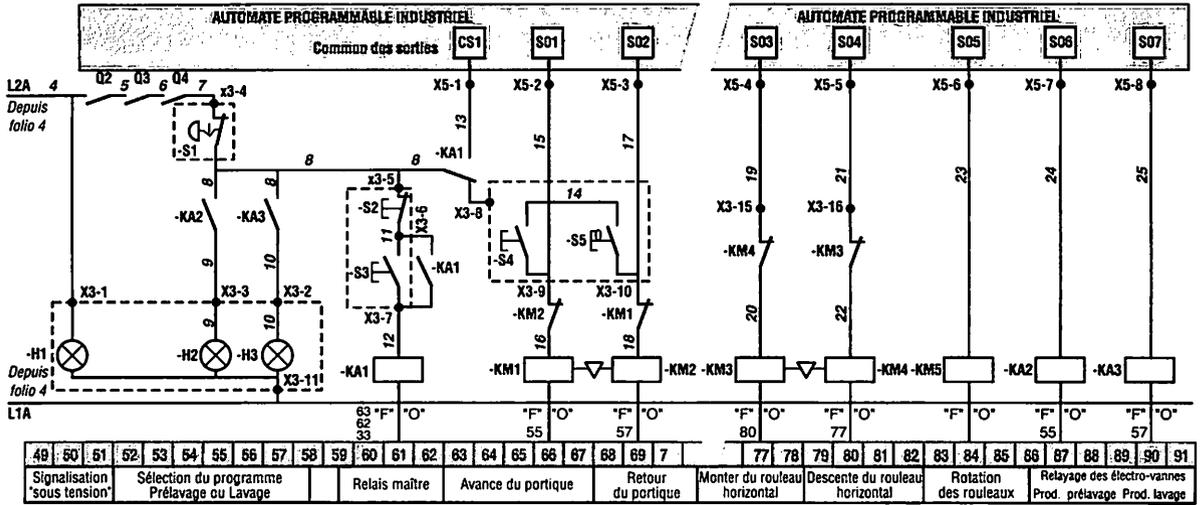
01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
réseau alim. du circuit d'alim. de commande				Moteur de déplacement du portique								Moteur de déplacement du rouleau horizontal								Moteur de rotation des rouleaux			

5. Schéma des circuits d'entrées d'automate



26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48
----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

6. Schéma des circuits de sorties d'automate



7. Schéma d'implantation des matériels de câblage

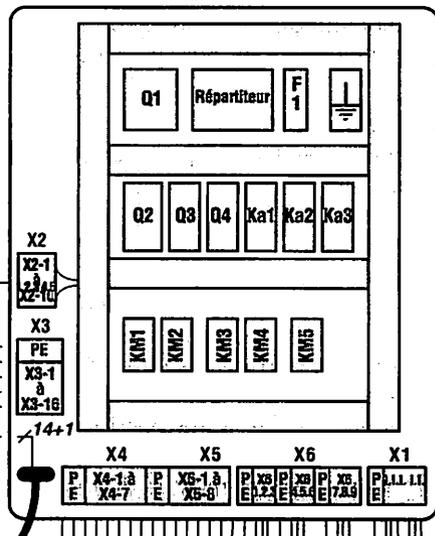
nota :
à l'intérieur du coffret,
le fil PE est en attente



Entrées automates 10

Sur le bornier X3,
2 bornes ne sont pas raccordées

Dans cette gaine:
- 14 conducteurs H05
V-K 0,75 mm²
- 1conducteur pour PE



Vers le simulateur 8
du fonctionnement automate 9
Sortie M1 M2 M3 4 4 4
Vers les moteurs 3X 24 V
Alimentations 4 4 2

25

Régulation et asservissement

Les automatismes en logique combinatoire ou séquentielle étudiés jusqu'à présent fonctionnent selon un cycle prévu à l'avance. En automatisation de régulation, ou en système asservi, l'automatisme doit réagir dès qu'une perturbation (modification de la grandeur régulée, par exemple température) se fait sentir, afin de compenser l'effet de cette perturbation. Ce type d'automatisme est employé en régulation de tension, de température, de vitesse ou tout autre grandeur physique.

OBJECTIF

À partir de la structure d'un système asservi, il faut distinguer la chaîne directe et la chaîne de retour (réaction et contre-réaction) afin d'être capable d'énoncer les paramètres fondamentaux d'un asservissement.

SAVOIR TECHNOLOGIQUE

S 5.2

1 Principe d'un régulateur

1.1. Régulation et asservissement

Lorsque vous roulez dans une automobile et que vous êtes tenu de respecter le 90 km/h, vous devez regarder le compteur de vitesse en permanence et accélérer ou ralentir selon que la route est en montée, ou en descente. Vous effectuez une régulation manuelle de vitesse.

Si vous arrivez dans une traversée de ville vous devez passer de 90 km/h à 50 km/h ; vous allez ralentir, on dit que votre vitesse est asservie.

En résumé :

Le régulateur est un dispositif qui consiste à maintenir une grandeur physique à une valeur fixée à l'avance.

L'asservissement est un dispositif qui consiste à appliquer une loi, non fixée à l'avance, à une ou plusieurs grandeurs physiques.

Exemples :

- **régulation** de la température à 800 °C ;
- **asservissement** de la vitesse de démarrage et d'arrêt en fonction de la limite d'intensité d'un moteur.

1.2. Chaîne directe et inverse

Un système asservi est un système bouclé dans lequel on distingue (fig. 2) :

- la chaîne directe qui permet de corriger les effets d'une perturbation sur un système (comparateur, action) ;
- la chaîne inverse, ou encore boucle de rétroaction, qui surveille en permanence l'état de la sortie pour informer le régulateur des modifications à apporter sur la chaîne directe (mesure du résultat).

Exemple : régulation automatique d'un système de chauffage électrique (fig. 3). L'apport de chaleur est donné par une résistance électrique ; une sonde mesure la température et le régulateur compare la température mesurée à la température affichée.



Fig. 1 : Notion d'asservissement.

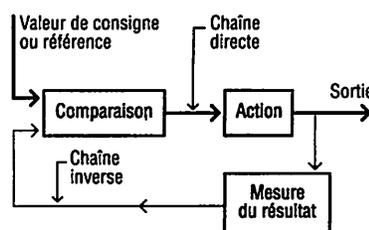


Fig. 2 : Structure générale d'un asservissement.

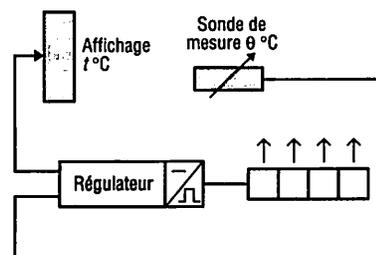


Fig. 3 : Régulation en chauffage électrique.

1.3. Schéma fonctionnel (fig. 4)

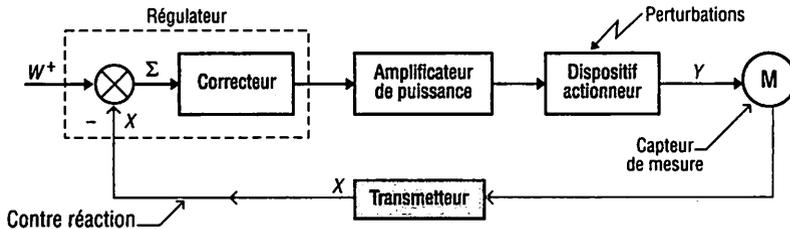


Fig. 4 : Représentation d'une régulation avec ses fonctionnalités.

- W : grandeur de référence ou consigne ;
- X : grandeur mesurée ou grandeur réglée ;
- Y : grandeur de sortie à asservir ou grandeur réglante ;
- P : grandeur perturbatrice.

1.4. Différents organes

Le **régulateur** se compose de deux parties :

- le **comparateur** qui compare les mesures W et X et donne le résultat :

$$\varepsilon = W - X$$

Les valeurs W et X sont souvent sous forme d'une tension d'amplitude de 0 à 10 V, ou d'un courant 4-20 mA ou 0-20 mA.

- Le **correcteur** qui indique le sens de la correction et sa valeur dans le temps.

Le **dispositif actionneur** agit sur le procédé, par exemple une vanne, un moteur, une résistance de chauffage.

L'**amplificateur de puissance** amplifie le signal de source du régulateur. Ce peut être un gradateur, un hacheur, un redresseur contrôlé.

Le **transmetteur** transforme le signal du capteur de mesure en une tension normalisée variable de 0 à 10 V, ou en un courant 4 à 20 mA ou 0 à 20 mA. On emploie un amplificateur opérationnel ou un convertisseur numérique-analogique ou un convertisseur fréquence-tension.

2 Différents types de régulateurs

Le régulateur regroupe un ensemble de fonctions électroniques réalisées à l'aide d'amplificateurs opérationnels qui mettent en œuvre différents montages de base déjà étudiés.

2.1. Grandeurs utilisées

Pour la suite des explications, nous utiliserons les conventions suivantes :

- X : grandeur réglée ou mesure ;
- W : consigne de réglage ou valeur de référence ;
- ε : écart entre la valeur de consigne et la mesure :

$$\varepsilon = W - X$$

- Y : grandeur réglante au niveau du régulateur :

$$Y = f(\varepsilon, t)$$

La valeur de Y est fonction de l'écart de réglage et du temps.

- Sys : système ou installation à réguler.



Un régulateur, inséré dans une chaîne de commande, applique au système un niveau de puissance selon une loi de commande de la forme :

$$Y = f(\epsilon, t)$$

Selon leur loi de commande, on classe les régulateurs en trois types :

- P : action proportionnelle,
- I : action intégrale,
- D : action dérivée.

2.2. Régulateur à action proportionnelle (P) (fig. 5)

Un régulateur est dit à action proportionnelle lorsque la valeur de sa tension de sortie est proportionnelle à l'erreur détectée. Quand l'erreur a été corrigée, l'écart entre la tension mesurée et la tension de référence est nul.

Le coefficient de proportionnalité est appelé gain du régulateur, il est réglable par le paramètre X_p sur le régulateur.

$$Y = K\epsilon \quad \text{avec : } \epsilon = W - X$$

Y en %

La courbe (fig. 6) donne un exemple de variation de la température d'un système dans le cas d'une variation de type proportionnelle uniquement.

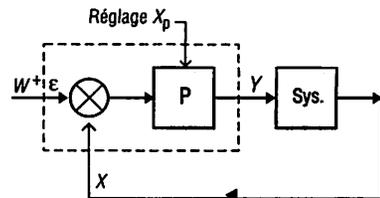


Fig. 5 : Régulateur de type P (proportionnel).

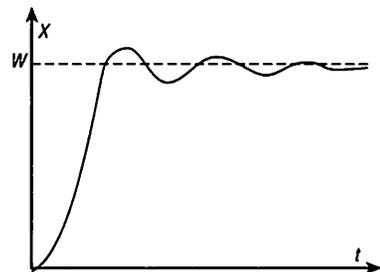


Fig. 6 : Variation proportionnelle (P).

En savoir plus...

Régulateur de température de 0 à 1 200 °C.

X_p est réglé sur 10 %, l'écart maxi sera de :

$$\frac{1\ 200 \times 10}{100} = \pm 120\text{ °C autour de } 1\ 200\text{ °C.}$$

Cette valeur est appelée bande proportionnelle B_p . On peut calculer K à partir de la formule $Y\% = K \times \epsilon$.

$$K = \frac{100}{B_p} = \frac{100}{120} = 0,833$$

d'où la valeur de $Y\%$:

$$Y\% = 0,833 \cdot \epsilon$$

2.3. Régulateur à action proportionnelle intégrale (PI) (fig. 7)

Dans le cas d'un régulateur proportionnel, on constate une variation autour de la valeur de référence W , on l'appelle écart de statisme. Pour corriger ces écarts, on corrige la valeur proportionnelle en ajoutant une valeur intégrale (I) qui tient compte à la fois de l'écart et du temps.

Le nouveau paramètre est la **constante de temps** de l'action intégrale T_i . Cette valeur est réglable sur le régulateur.

Exemple : régulateur de température présentant une étendue de réglage de 0 à 1 200 °C.

$$X_p = 10\%, T_i = 60\text{ s ou } 1\text{ min.}$$

Le régulateur à action PI (Proportionnelle Intégrale) présente une plus grande précision que le précédent, par contre il est plus lent (fig. 8).

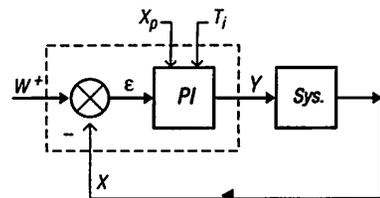


Fig. 7 : Régulateur à action proportionnelle et intégrale.

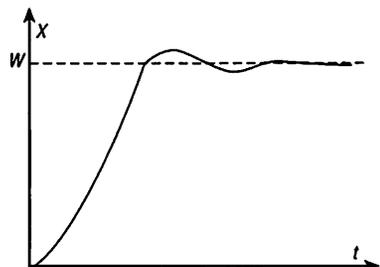


Fig. 8 : Variation proportionnelle et intégrale PI.

2.4. Régulateur à action proportionnelle, intégrale et dérivée (PID) (fig. 9)

L'action dérivée du régulateur fait intervenir la **vitesse de variation** de l'écart, c'est-à-dire que plus la variation est rapide, plus la correction est grande.

Le paramètre de réglage de l'action dérivée est désigné par la valeur T_D . L'action dérivée freine la montée en température au voisinage de la consigne W et évite les dépassements éventuels (fig. 10).

L'action dérivée permet d'augmenter la précision des régulateurs et leur stabilité mais son réglage est assez délicat.

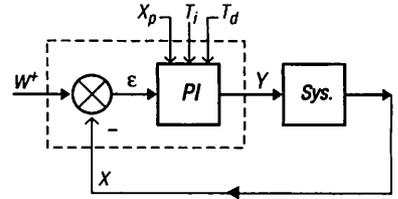


Fig. 9 : Régulateur à action proportionnelle intégrale et différentielle PID.

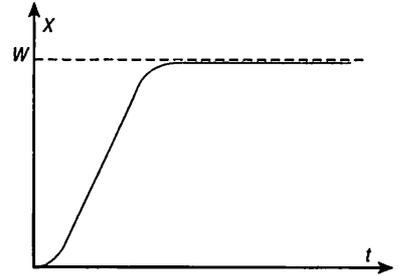


Fig. 10 : Variation proportionnelle intégrale et différentielle PID.

3 Qualités d'un régulateur

3.1. Précision

C'est l'écart entre la valeur de consigne et la valeur effectivement réglée. On distingue deux types de précision.

a) La précision statique (fig. 11)

C'est celle qui est définie en fonctionnement stable ou permanent.

b) La précision dynamique

C'est celle qui est définie lors de variations brusques.

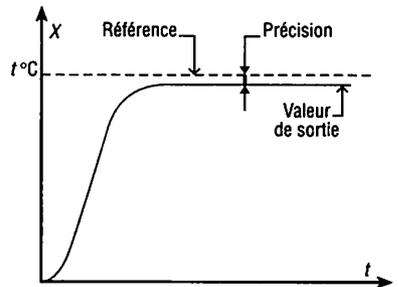


Fig. 11 : Précision en statique.

3.2. Stabilité

Pour obtenir une plus grande précision, on a tendance à augmenter le gain d'amplification, mais on risque dans ce cas de provoquer des phénomènes d'instabilité.

Pour augmenter la stabilité, c'est-à-dire pour éviter les variations autour de la valeur de référence (phénomène de pompage) (fig. 12) il faut :

- diminuer le gain ;
- ajouter la fonction dérivative ;
- diminuer la constante de temps.

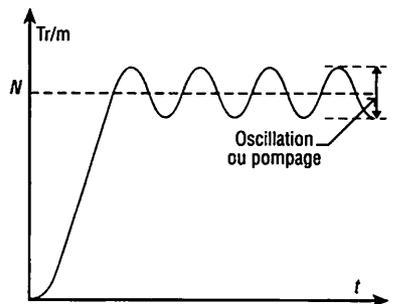


Fig. 12 : Régulateur de vitesse manquant de stabilité.

3.3. Rapidité

Pour contrôler la rapidité d'un régulateur, on observe la variation de la sortie quand l'entrée varie brutalement (fig. 13).

La rapidité avec une action proportionnelle est moyenne, elle est faible avec une action intégrale, elle est rapide avec une action dérivée.

Remarque importante :

Le réglage d'un régulateur PID s'effectue en agissant sur des potentiomètres qui règlent les paramètres :

- X_p pour le réglage de l'action proportionnelle ;
- T_i pour le réglage de l'action intégrale ;
- T_D pour le réglage de l'action dérivée.

Ces réglages doivent être réalisés selon des méthodes précises. Il est déconseillé de changer ces réglages sans une connaissance approfondie en régulation et asservissement, car on risque de provoquer l'instabilité du système.

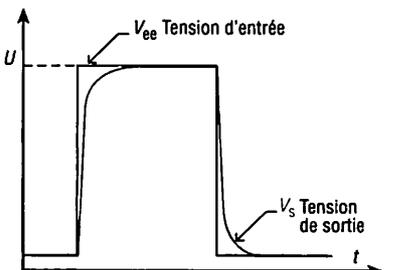


Fig. 13 : Régulateur de tension moyennement rapide.

4 Exemple d'asservissement de vitesse

Dans le cas d'une température, on a tendance à parler de régulation, car on cherche le plus souvent à obtenir une température la plus

constante possible. Dans le cas d'une variation de vitesse, on parlera d'asservissement de vitesse, car on souhaite contrôler la vitesse d'un moteur au moment du démarrage plutôt qu'en vitesse constante lors de son ralentissement.

4.1. Principe général

Lorsqu'un moteur entraîne une charge, sa vitesse a tendance à diminuer. Le régulateur de vitesse doit permettre d'augmenter la tension d'alimentation du moteur pour que sa vitesse reste à la valeur affichée.

4.2. Schéma fonctionnel (fig. 14)

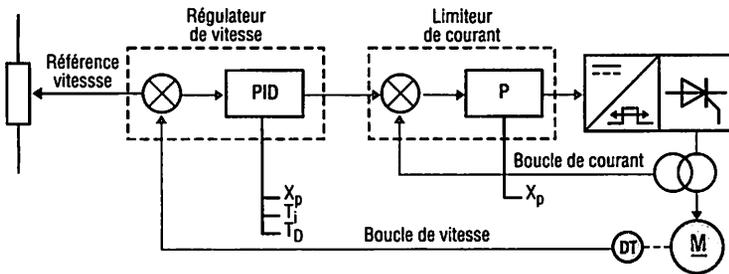


Fig. 14 : Régulation de vitesse et d'intensité pour un système à vitesse variable.

4.3. Explications

On fait correspondre une tension de référence à la vitesse désirée et on mesure en permanence la vitesse réelle à l'aide de la dynamo tachymétrique, en bout d'axe du moteur. La régulation de vitesse agit sur l'amorçage des thyristors pour maintenir la vitesse constante.

a) En cas de ralentissement

Le moteur ralentit, la tension donnée par la dynamo tachymétrique diminue, le régulateur PID de vitesse délivre une tension proportionnelle à cette variation. Cette tension permet d'augmenter le temps d'amorçage des thyristors, ce qui augmente la tension aux bornes du moteur qui pourra rétablir sa vitesse de réglage.

b) En cas de surintensité

Dans le cas précédent, le moteur aura tendance à absorber plus de courant pour rétablir sa vitesse. C'est à ce moment qu'intervient le régulateur proportionnel qui va limiter l'appel de courant à une valeur de consigne de l'ordre de 20 à 30 % supérieure à la valeur nominale.

Tant que le courant ne dépasse pas la valeur affichée, c'est la régulation de vitesse qui est prépondérante ; ensuite c'est la limitation de courant qui devient prioritaire.

Dans ce cas, le système possède deux boucles de régulation : la boucle de vitesse et la boucle du courant.

4.4. Domaines d'applications

La régulation peut s'appliquer aux grandeurs :

- électriques : tension, courant, puissance, cos ϕ , etc. ;
- mécaniques : vitesse, force, couple ;
- hydrauliques : pression, débit, niveau... ;
- thermiques : température, quantité de chaleur... ou à tout autre grandeur physique ou chimique.

L'essentiel

- Le régulateur est un dispositif qui consiste à maintenir une grandeur physique à une valeur fixée à l'avance.
- L'asservissement est un dispositif qui consiste à faire suivre une loi de variation, non fixée à l'avance, à une ou plusieurs grandeurs physiques.
- Un régulateur, ou asservissement, possède :
 - une chaîne directe, ou chaîne d'action, qui permet de corriger les effets d'une perturbation ;
 - une chaîne inverse ou rétroaction, qui surveille en permanence l'état de la sortie, pour informer la chaîne d'action.
- Un système régulé ou asservi comporte :
 - un comparateur et le correcteur qui forment le régulateur ;
 - un amplificateur de puissance, l'actionneur et un transmetteur.
- Les grandeurs utilisées sont désignées par : X : grandeur réglée ou de mesure ; W : consigne de réglage ; ε : écart entre consigne et grandeur mesurée ; Y : grandeur réglante.
- Un régulateur inséré dans une chaîne de commande fonctionne selon une loi de commande $Y = f(\varepsilon, t)$. On classe les régulateurs en trois types :
 - P : action proportionnelle (réglée par X_p) ;
 - I : action intégrale (réglée par T_i) ;
 - D : action dérivée (réglée par T_d).
- Un régulateur doit présenter des qualités de précision, de stabilité, de rapidité. Son réglage doit être réalisé en connaissance de cause.



VRAI OU FAUX ?

Parmi les affirmations suivantes, indiquez celles qui sont vraies.

1. Un régulateur de température est un dispositif qui consiste à maintenir une température à une valeur fixée à l'avance.
2. Un asservissement consiste à faire varier une vitesse selon une loi fixée à l'avance.
3. Une régulation fonctionne en chaîne ouverte.
4. Un asservissement fonctionne en chaîne fermée.
5. Une boucle de rétroaction est appelée chaîne inverse.
6. Dans un régulateur, le comparateur compare deux mesures.
7. Le correcteur d'un régulateur de température permet de corriger la tension d'alimentation.
8. Un capteur est un dispositif actionneur.
9. Un redresseur contrôlé peut être un amplificateur de puissance.
10. Le transmetteur se situe sur la chaîne d'action.
11. La valeur de référence s'appelle aussi consigne de réglage.
12. On désigne par Y l'écart entre la valeur de consigne et la mesure.
13. Un régulateur est dit à action proportionnelle, lorsque la valeur de sa tension de sortie est proportionnelle à l'erreur détectée.
14. Le coefficient de proportionnalité d'un régulateur est appelé constante de temps.
15. Un régulateur à action proportionnelle intégrale tient compte à la fois de l'écart et du temps.
16. L'action intégrale d'un régulateur est caractérisée par le gain.
17. Un régulateur à action intégrale et dérivée fait intervenir la vitesse de variation de l'écart.
18. On augmente la stabilité d'un régulateur en augmentant son gain.
19. Un régulateur peut comporter plusieurs boucles de rétroaction.
20. On augmente la rapidité d'un régulateur avec une action dérivée.

RÉSOLUS

1. Énoncez les paramètres fondamentaux d'un régulateur proportionnel.

Solution :

Un régulateur proportionnel fonctionne selon les grandeurs suivantes :

W : consigne de réglage ;

X : grandeur réglée ou mesure ;

Y : grandeur réglante au niveau du régulateur.

L'action est proportionnelle à l'écart $\varepsilon = W - Y$, on peut augmenter ou diminuer cette action en agissant sur le potentiomètre réglant cette valeur paramètre X_p .

2. Énoncez les qualités d'un régulateur, et d'un asservissement.

Solution : Un régulateur doit être précis de façon statique et dynamique ; dans un asservissement, c'est surtout la précision dynamique qui est importante.

Un régulateur doit être stable et répondre rapidement en cas de perturbation.

3. Un régulateur de vitesse de 10 à 2 000 tr/min donne, pour un réglage à 1 500 tr/min, une variation de l'écart X_p de 5 %. Indiquez l'écart maximal de la grandeur réglante.

Solution :

Une variante de 5 % sur 1 500 tr/min représente :

$$(1\,500 \times 5) / 100 = 75 \text{ tr/min.}$$

La vitesse peut varier de 1 425 tr/min à 1 575 tr/min.

À RÉSOUDRE

1. Pour un régulateur de tension, citez les paramètres qui vous paraissent les plus importants.

2. Un régulateur de température permet de régler la température de 0 à 1 100 °C, on vous indique qu'il est du type PID. Qu'est-ce que cela veut dire ?

3. Un variateur de vitesse est réalisé avec un asservissement de vitesse de type PI et une limitation de courant de type P. Que représentent ces indications ?

4. Sur un régulateur de température, vous observez trois boutons de réglage repérés, X_p , T_i , T_D . À quoi servent-ils ? Et quelle influence peuvent-ils avoir ?

5. Vous constatez, sur un système possédant une variation de vitesse, que la vitesse du moteur, qui devrait être

constante à 830 tr/min, varie alternativement entre 780 et 880 tr/min avec une périodicité de 4 à 5 secondes. Quel est ce phénomène ? D'où cela peut-il provenir ?

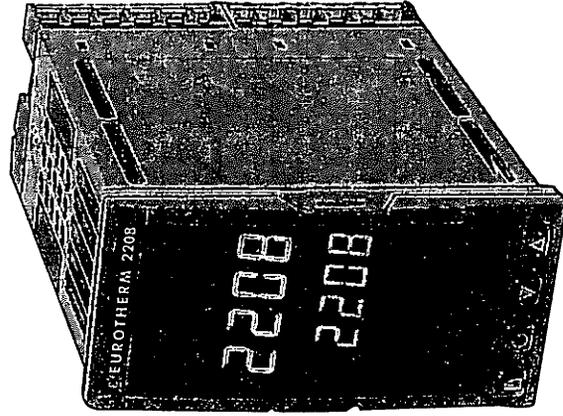
6. À partir de la documentation du régulateur de température (page 257), indiquez sur quelles bornes on doit brancher la sonde ou le thermocouple.

7. Précisez quels types de régulation on peut effectuer avec ce modèle de régulateur (documentation pages 257, 258).

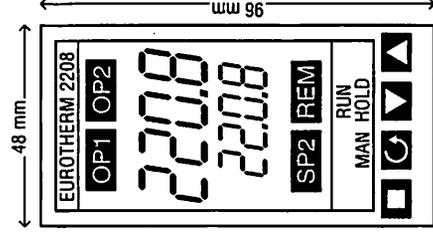
8. Quels sont les éléments qui permettent de commander le chauffage d'une enceinte régulée par ce modèle de régulateur (référence 2208) ?

9. Quels capteurs de mesure peut-on utiliser avec ce modèle de régulateur ? (documentation pages 257, 258).

Régulateur de température 2208

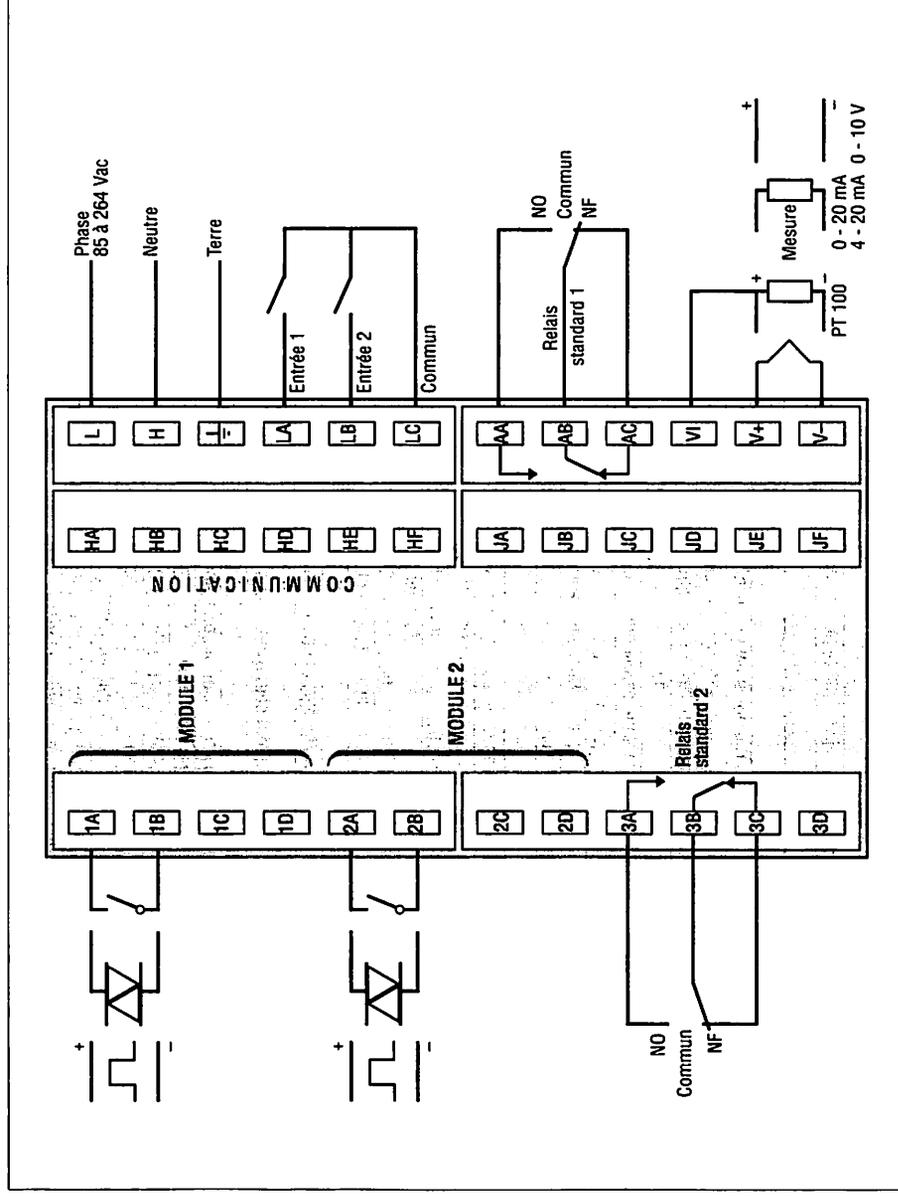


- Régulateur PID ou Tout ou Rien.
- Régulateur à 2 points de consigne (travail et repos).
- Auto-réglage des paramètres de régulation.
- Entrées consigne externe (PDSIO) pour régulation multi-zones.
- Communication numérique.
- Entrée par contacts pour télécommande.
- Alarmes process.



Encadrement
(Profondeur 112 mm)

REPÉRAGE DES BORNES



Régulateur de température 2208 - spécifications techniques

Généralités

Affichage	2 afficheurs de 4 LED 7 segments haute intensité
Dimensions	Largeur : 48 mm - Hauteur : 96 mm - Profondeur : 103 mm derrière le panneau
Poids	380 g
Alimentation	85 à 264 Vac - 48 à 62 Hz - 10 watts maximum
Température et humidité ambiantes	Fonctionnement entre 0 et 55 °C - Humidité : entre 5 et 90 % non condensé

Fonctions régulation

Régulation	Modes	PID avec système d'anti-dépassement de la mesure, PD, PI, P. "Tout ou Rien" ou positionneur de vanne Régulation inverse, directe, inverse/directe
	Rampe sur la consigne	0,1 à 999,9 unités par minute
	Algorithmes de régulation	Linéaire, Refroidissement par eau, air ou huile, Compensation automatique des variations secteur
Auto-réglage	Automatique	Calcul des paramètres PID et d'anti-dépassement de la mesure sur la première montée en température
	Auto-adaptatif	Calcul permanent des paramètres PID
	Intégrale manuelle	Dans le cas d'une régulation PD, compensation automatique des pertes (CAP)
Alarmes	Types	Pleine échelle (haute ou basse), de déviation (haute, basse ou de déviation)
	Modes	Non mémorisées en fonctionnement normal ou "bloquant" Jusqu'à 4 alarmes peuvent être combinées sur une seule sortie

Entrées

Généralités	Gamme	± 100 mV et 0 à 10 V_{cc} (auto-calibrable)
	Fréquence d'échantillonnage	9 Hz (110 ms)
	Précision de la calibration	0,25 % de la lecture
	Résolution	< 1 μ V pour une gamme ± 100 mV, < 0,2 mV pour une gamme 10 V_{cc}
	Linéarité	< 0,1 % de la lecture
	Dérive de calibration	0,3 μ V typiques par °C pour une gamme ± 100 mV
	en fonction de la température ambiante	0,3 mV typiques par °C pour une gamme 10 V_{cc}
	Filtre d'entrée	1,0 à 999,9 secondes
	Décalage d'entrée	réglable sur toute l'échelle entre - 99,9 et + 999,9 ou - 999 à + 9999
Thermocouple	Types	J, K, T, L, N, C, R, S, B et Platine II (en standard) D, E, Ni/Ni18%Mo, Pt10%Rh/Pt40%Rh, Pt20%Rh/Pt40%Rh, W/W26%Re (Engelhard ou Hoskins), W5%Re/W26%Re (Engelhard ou Bocusse) W3%Re/W25%Re
	Compensation de soudure froide	Références externes (configurables) : 0 °C, 45 °C et 50 °C ou compensation interne
Sonde à résistance	Type	3 fils - Pt 100 Ω DIN 43760
	Courant de polarisation	0,2 mA
	Compensation de ligne	jusqu'à 22 Ω par fil
Entrée Procédé	Signal linéaire	± 100 mV, 0 à 20 mA ou 0 à 10 V_{cc} (Signal linéaire configurable dans ces limites)
	Impédance d'entrée	70 k Ω pour 0-10 V - 100 M Ω pour ± 100 mV
Entrée digitale	Type	Contact fermé
	Application	Sélection de la commande manuelle, de la 2 ^e consigne, du 2 ^e jeu de PID

Sorties

Relais	Niveau	2 ampères - 12 à 264 Vac
	Application	Régulation chaud, directe, positionneur de vanne, alarme
Logique	Niveau	18 V_{cc} , 20 mA - Non isolée
	Application	Régulation Inverse, directe, Alarme
Triac	Niveau	1 A, 30 à 264 Vac
	Application	Régulation inverse, directe, positionneur de vanne, alarme
Analogique	Gamme	Isolée - 0 à 20 mA (600 Ω max), 0 à 10 V_{cc} (avec shunt 500 Ω en standard)
	Application	Régulation inverse ou directe
	Précision	2,5 %

Communications

Numérique	Protocole	Modbus [®] et EI sur bus RS 485, RS 422 ou RS 232 (1200 à 19200 BAUD)
Liaison 2 fils "PDSIO"		

Compte tenu de la politique d'amélioration continue de ses produits que poursuit Eurotherm, les caractéristiques techniques citées dans ce document sont susceptibles d'évoluer sans préavis, et sont données par conséquent uniquement à titre d'information.

26

Maintenance des installations électriques

Les installations électriques doivent être conformes à la norme NF C 15-100 et aux recommandations de PROMOTELEC, et cela à la mise en service et en cours d'exploitation. Pour assurer une continuité de service, il est indispensable de vérifier périodiquement la conformité de l'installation électrique, qu'elle soit dans les milieux domestique, tertiaire ou industriel.

1 Mise en service d'une installation

1.1. Organismes agréés

Les installations électriques doivent être conformes :

- au décret sur la protection des travailleurs du 14 novembre 1988 ;
- à la norme NF C 15-100 - NF C 18-510, 18-530 et 18-540 ;
- aux recommandations PROMOTELEC pour les installations domestiques et agricoles.

Le contrôle des installations est effectué tous les ans par des organismes de contrôle tels que : APAVE, SOCOTEC, pour les installations industrielles et du secteur tertiaire.

Pour les installations domestiques, le contrôle est réalisé à la mise en service de l'installation par le CONSUEL.

Le CONSUEL délivre une attestation de conformité de l'installation qui est exigée par EDF pour effectuer la mise sous tension de l'installation.

1.2. Mesures et vérifications de conformité

Il faut vérifier que l'ensemble de l'installation est bien conforme à la sécurité des personnes et du matériel. Le contrôle porte sur les points suivants :

a) La vérification du schéma de l'installation

b) La vérification de l'adaptation des canalisations de l'appareillage

On vérifie l'adaptation des canalisations aux conditions d'influences externes et de l'appareillage. Il faut aussi vérifier les sections des conducteurs.

c) La mesure de l'isolement des conducteurs

Il faut mesurer l'isolement des conducteurs de chaque circuit par rapport à la terre en l'absence de récepteurs entre les conducteurs (voir p. 49).

Tableau 1 : Tableau des valeurs minimales de la résistance d'isolement.

Tension nominale du circuit (V)	Tension d'essai en courant continu (V)	Résistance d'isolement (MΩ)
TBTS et TBTP	250	≥ 0,25
$U_m \leq 500$ V	500	≥ 0,5
$U_n \leq 500$ V	1 000	≥ 1,0

OBJECTIFS

La maintenance des installations électriques impose des interventions qui doivent être exécutées sous tension ou hors tension.

Il faut connaître les règlements et procédures pour intervenir en toute sécurité sur une installation ou pour en effectuer la maintenance.

SAVOIRS TECHNOLOGIQUES

S 6.4 à S 6.7



Fig. 1 : Les relations électriques !

- Les mesures sont effectuées avec un mégohmmètre pouvant donner un courant de 1 mA sous 500 ou 1 000 V.
- Lorsque l'installation électrique comporte des dispositifs électroniques, les conducteurs de phase et le neutre peuvent être reliés ensemble.

d) Protection contre les contacts directs

On vérifie l'éloignement, les obstacles, les verrouillages.

e) Protection contre les contacts indirects

On doit mesurer :

- la **résistance des prises de terre** (voir p. 49-50) ;
- les résistances **entre les masses** et la **liaison équipotentielle** principale (cas du régime IT ou TN) (fig. 2).

Cette mesure peut s'effectuer par comparaison ; on mesure la tension avec et sans connexion d'une résistance de charge variable. La valeur de l'impédance de la boucle de défaut est donnée par la formule :

$$Z = \frac{V_1 - V_2}{I_R}$$

Z = impédance de la boucle de défaut
 V_1 = tension sans résistance de charge
 V_2 = tension avec résistance de charge
 I_R = courant dans la résistance de charge.

On doit aussi **vérifier les déclenchements** des disjoncteurs à courant différentiel résiduel ($I_{\Delta n}$) (régime TT ou IT).

Pour effectuer cette vérification, une résistance variable R est montée entre une phase et la terre et on mesure $I_{\Delta n}$ à l'ampèremètre (fig. 3).

Un autre principe peut être utilisé : on place la résistance R entre une phase à l'aval du différentiel et une autre phase à l'amont (fig. 4).

Remarque : en schéma IT, il peut être nécessaire de relier un point de l'installation à la terre pendant les essais afin d'obtenir le fonctionnement du dispositif.

- Il faut vérifier les caractéristiques du limiteur de surtension et du seuil de fonctionnement du contrôleur permanent d'isolement (CPI) (régime IT).

f) Coupures de sécurité

Il faut vérifier la présence des sectionneurs sur chaque circuit et des arrêts d'urgence.

g) Protection contre les surintensités

Il faut contrôler le calibre des fusibles, le courant de réglage des disjoncteurs en fonction du courant admissible dans les canalisations.

Il faut vérifier le pouvoir de coupure des disjoncteurs et des fusibles.

h) Contrôle des dispositifs de connexion

Il faut vérifier le serrage des conducteurs sur les bornes et la conformité des couleurs des conducteurs.

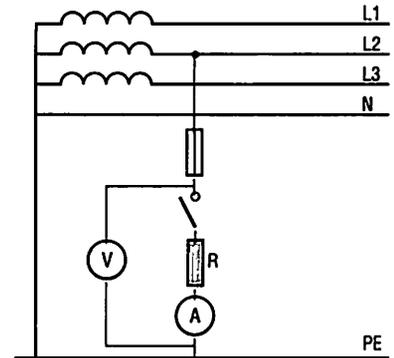


Fig. 2 : Mesure de l'impédance de la boucle de défaut en cas de liaison équipotentielle locale.

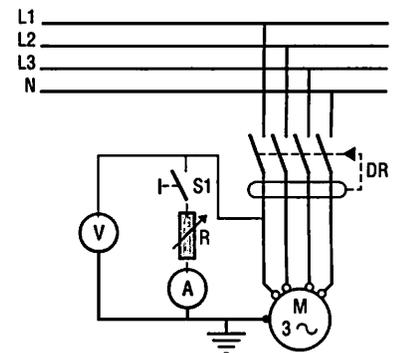


Fig. 3 : Mesure du courant différentiel.

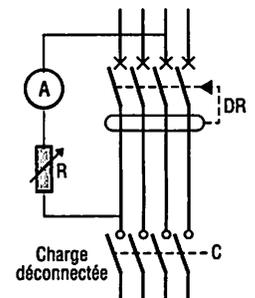


Fig. 4 : Autre disposition pour la mesure du courant différentiel.



Fig. 5 : Séparation des circuits.

2 Travaux hors tension

Pour effectuer des travaux ou interventions (définitions page 8) hors tension sur une installation électrique, il faut avoir réalisé au préalable une **consignation** de la partie de l'installation sur laquelle on va intervenir.

2.1. Procédures de consignation

La consignation électrique d'une installation ou d'un équipement est destinée à assurer la protection des personnes contre tout maintien accidentel ou retour de la tension pendant le travail sur l'installation. Pour réaliser une consignation, il faut effectuer les opérations suivantes :

a) Séparation

Il faut séparer la partie d'installation de la source de tension, ce qui s'effectue en général par la manœuvre d'un sectionneur ou le débouchage d'un appareil (*fig. 5*).

b) Condamnation

L'organe de séparation ne doit pas pouvoir être refermé, il est condamné en position d'ouverture à l'aide d'un cadenas ou d'une serrure (*fig. 6*).

c) Identification

Sur le lieu de travail, on identifie la partie de l'installation où les travaux seront bien effectués hors tension (*fig. 7*).

d) Vérification

On vérifie l'absence de tension entre phases et entre phase et neutre (*fig. 8*) à l'aide d'un appareil V.A.T. (Vérificateur d'Absence de Tension). Cette vérification est immédiatement suivie de la mise à la terre et en court-circuit (*fig. 9*), cette dernière opération s'effectue de préférence sur le lieu de travail et constitue une confirmation de la consignation.

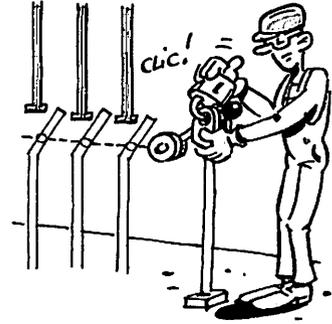


Fig. 6 : Condamnation en position d'ouverture.

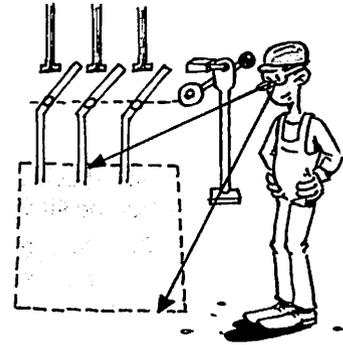


Fig. 7 : Identification de la partie d'installation.

2.2. Sécurité de l'exécutant

L'exécutant doit :

- suivre les instructions de son responsable (chargé de travaux) ;
- n'entreprendre un travail que s'il en a reçu l'ordre ;
- respecter les limites de la zone de travail qui lui a été définie et respecter les dispositions de sécurité ;
- porter les équipements de protection individuelle ;
- n'utiliser que les outils adaptés au travail à exécuter ;
- vérifier le matériel et les outils avant leur utilisation.

Remarque : en cas d'orage (éclairs ou tonnerre), aucun travail ne doit être effectué sur des installations alimentées par une ligne aérienne.

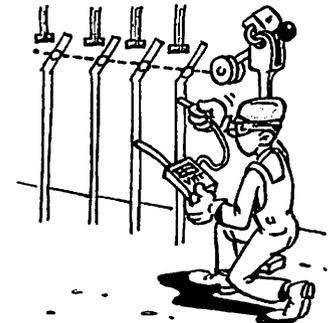


Fig. 8 : Vérification de l'absence de tension.

3 Travaux sous tension (domaine BT)

Les indications de ce paragraphe s'appliquent uniquement aux installations du domaine BT et TBT et en aucun cas à un domaine HT.

3.1. Domaines de tensions

Les distances d'environnement et les habilitations dépendent des domaines de tension (*voir tableau 3, chapitre 1*).

3.2. Interventions dans le domaine BT

On peut classer les interventions en trois sortes :

- interventions de maintenance corrective (dépannage) ;
- interventions de connexion avec présence de tension ;
- interventions particulières de remplacement de fusibles, lampes ou de leurs accessoires.

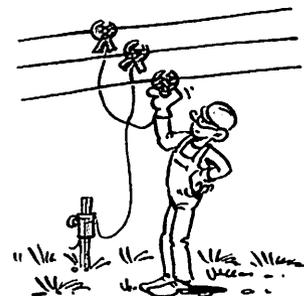


Fig. 9 : Mise en court-circuit et à la terre des conducteurs actifs.

3.3. Interventions de maintenance corrective (dépannage)

Dans une activité de dépannage, on distingue trois étapes qui nécessitent ou non la présence de tension (fig. 10).

a) Recherche et localisation des défauts

– La mesure des grandeurs électriques au moyen d'appareils de mesure ne nécessitant pas l'ouverture de circuits est autorisée (fig. 11).

– Le débranchement et le rebranchement sous tension ou hors tension de conducteurs ne sont autorisés :

- qu'en BTA et en TBT ;
- pour des sections au plus égales à 6 mm².

Chaque conducteur débranché doit être isolé à son extrémité.

Remarque : les opérations de déverrouillage électrique, de court-circuitage d'un fin de course, de manœuvre manuelle d'un relais ou d'un contacteur ne doivent être exécutées qu'après avoir mesuré les risques d'accidents qu'elles peuvent engendrer.

b) Élimination des défauts

L'élimination des défauts, la réparation ou le remplacement des éléments défectueux ne sont entrepris qu'après consignation de l'installation ou de l'équipement (fig. 12).

Dès que la réparation est effectuée, on pourra procéder à la déconsignation et passer à l'étape suivante (fig. 13).

c) Réglages et vérifications de l'installation

Cette étape nécessite en général la mise sous tension. L'intervention est considérée comme terminée si l'installation fonctionne normalement. En fin d'intervention, il faut remettre en place les capots et verrouillages des portes. Enfin, il faut prévenir l'utilisateur de l'installation de la remise en état provisoire (dépannage) ou définitive de l'installation.

3.4. Interventions de remplacement

a) Remplacement des fusibles

– Avant de remplacer un fusible, il faut rechercher la cause qui a entraîné sa fusion et l'éliminer.

– En BTA ou BTB le remplacement du fusible doit s'effectuer hors tension avec un élément de même calibre et de mêmes dimensions.

– Le remplacement d'un fusible sous tension et en charge n'est autorisé qu'avec des fusibles conçus à cet effet.

b) Remplacement des lampes d'éclairage

– Le remplacement des lampes et des accessoires débrochables peut s'effectuer en présence de tension lorsque le matériel présente une protection contre les contacts directs, en particulier lampe enlevée.

– En cas de risque de contact direct ou d'explosion de la lampe (lampes à vapeur de sodium), il faut assurer la protection de la personne avec des moyens appropriés (travail hors tension, gants, masque par exemple).

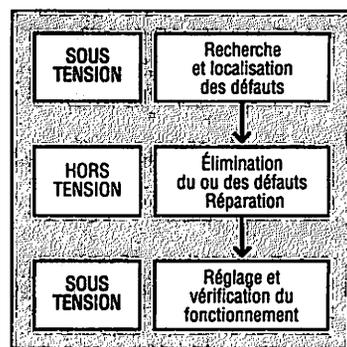


Fig. 10 : Méthode d'intervention sur une installation.

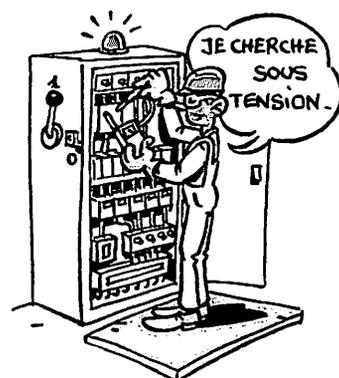


Fig. 11 : Localisation du défaut.

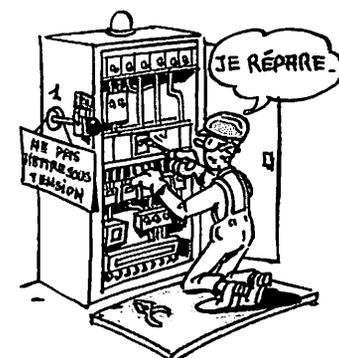


Fig. 12 : Réparation.



Fig. 13 : Déconsignation.

4 Matériel de protection

Il existe du matériel de protection individuel et collectif.

4.1. Équipements de protection individuelle (EPI) (fig. 14)

a) Casque

Il doit être porté dans les zones où il y a des risques de chute d'objet, de choc à la tête, de chute de hauteur (plus de 3 m), de contact électrique.

b) Lunettes ou masque anti-UV (ultraviolet)

Elles doivent être portées obligatoirement :

- lors de travaux sous tension ou au voisinage de pièces sous tension ;
- lors des opérations de contrôle, essais, vérification, mise à la terre.

c) Gants isolants

Ils sont utilisés dans les mêmes circonstances que ci-dessus. Les gants ne doivent pas présenter de déchirures ou de trous, ils doivent être rangés dans des boîtes ou sachets de protection.

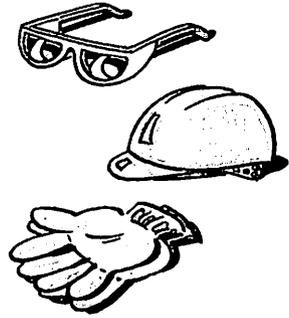


Fig. 14 : Matériel de protection individuel pour électricien.

4.2. Équipements collectifs de sécurité (ECS)

a) Vérificateur d'absence de tension (VAT)

Ils sont utilisés au cours des opérations de consignation, avant la mise à la terre et en court-circuit, pour vérifier l'absence de tension.

Remarque : une lampe montée sur douille à bouts de fils est formellement interdite.

b) Dispositifs de mise à la terre et en court-circuit (fig. 15)

Ils sont utilisés pour la protection de la zone de travail contre tout risque de réalimentation ou d'induction. On prendra bien soin pour leur pose de mettre la terre avant de mettre en court-circuit. Ils sont désignés aussi sous l'abréviation (M.A.L.T. et CC).

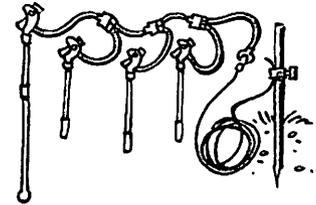


Fig. 15 : Dispositif de mise à la terre et en court-circuit pour un réseau BT.

c) Autres appareils

- En HTA ou HTB, on utilise des écrans de protection, grillages, panneaux isolants, tabourets et tapis isolants, perches isolantes et différentes pancartes et rubans pour délimiter la zone de travail.

- En BT, on utilise des profilés isolants sur les lignes des pancartes (fig. 16).

Remarque : On doit vérifier le bon état de ces équipements avant et après utilisation (voir fiche documentation p. 267).

5 Utilisation des appareils mobiles

Lors de l'emploi des appareils mobiles, des risques peuvent se présenter pour les personnes ; il faut respecter les règles de sécurité.

5.1. Machines-outils portatives (fig. 17)

Ce sont en particulier les perceuses. Avant l'emploi, il faut vérifier le bon état de la machine ainsi que de son câble d'alimentation.

- Sur les chantiers extérieurs et dans les locaux humides, il faut utiliser du matériel de classe II, protégé contre les chutes d'eau (IP x 4) ou protégé à l'origine de l'alimentation par un différentiel haute sensibilité (30 mA) ; c'est le cas des tondeuses à gazon, taille-haie, etc.

- Dans les enceintes conductrices exigües il faut utiliser :

- soit du matériel de classe III alimenté en TBTS ou TBTP ;
- soit du matériel de classe II alimenté par un transformateur BT de séparation de circuit de classe II et placé en dehors de l'enceinte ;
- soit du matériel de classe I dans les mêmes conditions que le matériel de classe II ci-dessus et en interconnectant les masses.

5.2. Lampes baladeuses

L'emploi de lampes baladeuses de fortune est interdit. On ne doit utiliser que du matériel normalisé de degré de protection IP 45, non démontable selon les normes NF C 71-000 et NF C 71-008.



Fig. 16 : Signaux et pancartes de sécurité.



Fig. 17 : Attention au câble !

5.3. Appareils de mesure

Il sont toujours utilisés sur des installations sous tension à l'exception des ohmmètres.

- Les cordons doivent être de couleurs différentes et les pointes de touche isolées au maximum, ainsi que les fiches bananes et pinces crocodiles.
- Les changements d'échelle doivent s'effectuer appareil non alimenté.
- Faire très attention à la proximité de pièces sous tension et aux risques de courts-circuits.

Remarque importante : les enveloppes métalliques des oscilloscopes ou des voltmètres sont parfois directement raccordées à une polarité de la tension à mesurer, ce qui peut représenter un grand danger.

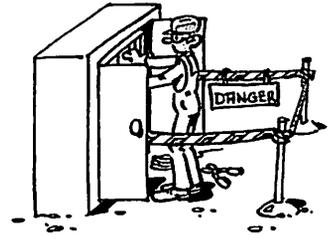


Fig. 18 : Exemple de balisage en cours d'intervention.

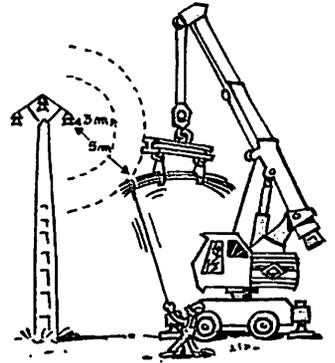


Fig. 19 : Distance d'approche d'une ligne sous tension.

6 Organisation du poste de travail

L'électricien doit organiser rationnellement son poste de travail en respectant les règles de sécurité et les contraintes d'exploitation (fig. 18).

6.1. Distances de sécurité

On distingue plusieurs distances de sécurité.

a) Distance de tension t (fig. 19)

En l'absence de dispositifs appropriés de protection ou de mise hors de portée de parties conductrices, cette distance est donnée par la relation :

$$t = 0,005 U_n$$

t = distance de tension en mètres
 U_n = valeur de la tension en kV.

b) Distance de garde g

Cette distance a pour objet de libérer l'opérateur du souci permanent de respect de la distance de tension et de lui permettre ainsi de consacrer toute son attention à l'exécution de son travail.

$$g = 0,30 \text{ m pour la BT}$$

$$g = 0,50 \text{ m pour le domaine HT}$$

c) Distance minimale d'approche D

C'est la somme des deux distances précédentes :

$$D = t + g$$

c) Distances limites de voisinage

Elles permettent de définir les zones de travaux dits au voisinage, ces distances dépendent de la tension (tableau 2).

Tableau 2 : Distances en fonction de la tension.

Tension nominale U_n (kV)	Distance d'approche D (m)	Zone au voisinage (m)
0,4	0,30	0,30
1	0,30	0,30
15	0,60	2
20	0,60	2
30	0,70	2
63	0,80	3
90	1	3
150	1,30	3
225	1,60	3
400	2,50	4

50 000 V ou plus : 5 m
 moins de 50 000 V : 3 m

6.2. Travaux en élévation

Dès que la hauteur au-dessus du sol dépasse 3 m, on applique la réglementation pour les travaux en élévation (fig. 20).

6.3. Manutention

Chaque fois que l'électricien aura à utiliser du matériel de manutention ou de levage, il doit veiller à ne pas dépasser la limite des caractéristiques nominales des appareils utilisés.

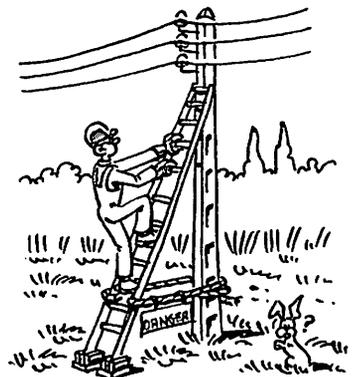


Fig. 20 : Travail en hauteur sur échelle.

L'essentiel

▣ Une installation électrique est en général sous tension 24 heures sur 24, c'est la continuité de service. Pour cette raison, il faut éviter les coupures de courant. Les opérations de maintenance sont régies par les normes NFC 15-100, C 18-510, 18-530, 18-540, et par le décret du 14 novembre 1988.

▣ **À la mise en service**, et périodiquement, on doit effectuer des mesures et vérifications, et plus particulièrement :

– les mesures d'isolement (250 kΩ à 1 MΩ), les résistances de terre ;

– les vérifications des protections contre les contacts indirects (différentiels, impédance de la boucle de défaut, CPI) ;

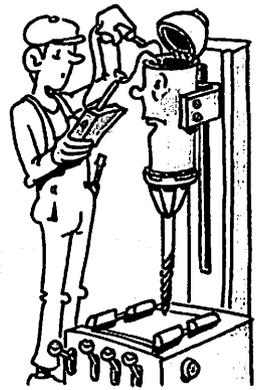
– les **travaux effectués hors tension**, chaque fois que cela est possible, nécessitent une consignation du circuit (séparation, condamnation, identification, vérification) ;

– les **travaux effectués sous tension** (TBT ou BT) sont surtout des mesures et vérifications ou des réglages sur l'installation. Les travaux de réparation sont toujours faits hors tension et après consignation.

▣ Le matériel individuel, gants, casque, lunettes ou masque doit être mis pour les travaux sous tension. Le matériel collectif est surtout utilisé pour les consignations.

▣ Les appareils mobiles tels que perceuses portatives, tondeuses à gazon, ainsi que les baladeuses doivent être convenablement protégés.

▣ Un électricien doit organiser rationnellement son poste de travail, en respectant les règles de sécurité et les contraintes d'exploitation.



VRAI OU FAUX ?

Parmi les affirmations suivantes, indiquez celles qui sont vraies.

1. Pour la mise en service d'une installation domestique, on doit avoir l'avis du « Consuel ».

2. Sur une installation alimentée en 230 V, la résistance d'isolement doit être supérieure à 10 Megohms.

3. Un disjoncteur différentiel à haute sensibilité (30 mA) protège principalement les personnes utilisatrices.

4. Pour effectuer des travaux hors tension, il n'est pas nécessaire d'assurer une consignation de l'installation sur laquelle on doit intervenir.

5. La condamnation d'un sectionneur doit s'effectuer à l'aide d'un cadenas.

6. Un appareil de type VAT est un appareil de mesure des volts-ampères, et des prises de terre.

7. Un réseau en basse tension de 230/400 V est classé en basse tension B (BTB).

8. Le casque individuel et les lunettes font partie du matériel classé ECS.

9. Sur un chantier, un électricien exécutant habilité B1/B1V est responsable de sa sécurité.

10. Un électricien exécutant est responsable du port des protections individuelles.

11. La mise à la terre et en court-circuit n'est pas toujours obligatoire en BTA.

12. La MALT et CC protège contre les retours de tension intempestifs.

13. Le fonctionnement d'un VAT doit être vérifié avant et après chaque mesure.

14. En cas d'orage, on doit arrêter les travaux sur une installation si elle est alimentée par une ligne aérienne.

15. On peut s'approcher dans une armoire électrique de pièces nues sous tension à 400 V jusqu'à 3 centimètres (distance d'approche).

16. En cas de travaux au voisinage d'une installation alimentée en 400 V et comportant des pièces nues sous tension, on doit prendre des précautions à partir de 0,5 m.

17. Il faut respecter une distance de 2 m au voisinage d'une installation alimentée en 20 kV.

18. La réduction de la distance de voisinage peut être obtenue par la mise en place d'écrans.

19. La suppression d'un voisinage peut être obtenue par la consignation de l'ouvrage au voisinage.

20. En regardant attentivement un jeu de barres non isolées, on peut voir s'il est sous tension.

RÉSOLUS

1. Pour contrôler un disjoncteur différentiel $I_{\Delta n} = 100 \text{ mA}$, on utilise le montage de la figure 3, page 260. La tension du réseau étant de 230/400 V, quelle sera la valeur de la résistance R ?

Solution :

Le courant de fuite devant être de 100 mA ou 0,1 A, la résistance étant branchée sous 230 V, sa valeur est donnée par la loi d'Ohm :

$$R = \frac{U}{I} = \frac{230}{0,1} = 2\,300 \, \Omega$$

2. Que signifie une habilitation de type B1T ?

Solution : Cette habilitation signifie que la personne peut travailler sur des installations en basse tension (BTA ou BTB).

1 : correspond à une qualification d'électricien exécutant, T : signifie qu'il peut travailler sous tension.

3. Quelle est l'intensité qui passe dans un circuit alimenté en 230 V et dont la résistance est de 1 000 ohms ? S'il s'agit d'un corps humain, cette intensité est-elle dangereuse ?

Solution : On applique la loi d'Ohm, soit $I = U/R$, ce qui donne $I = 230/1\,000 = 0,23 \text{ A}$. Cette intensité est très dangereuse, voire mortelle.

4. Calculez l'impédance d'un circuit électrique monophasé où circule un courant de 6 A sous une tension de 420 V.

Solution :

L'impédance de ce circuit est :
 $Z = U/I = 420/6 = 70 \text{ ohms}$.

À RÉSOUDRE

1. Pour contrôler un disjoncteur différentiel de sensibilité 30 mA, on utilise le schéma de la figure 3 page 260. Quelle sera la valeur de la résistance pour un réseau 230/400 V ?

2. Pour contrôler un disjoncteur différentiel de sensibilité 300 mA, on utilise le schéma de la figure 3 page 260. Quelle sera la valeur de la résistance pour un réseau 230/400 V et la puissance dissipée dans R ?

3. Quelle est l'intensité qui passe dans un circuit alimenté en 400 V, et dont la résistance est de 2 000 ohms ? S'il s'agit d'un corps humain, cette intensité est-elle dangereuse ?

4. Calculez l'impédance d'un circuit électrique monophasé où circule un courant de 4 A sous une tension de 230 V.

5. Quelles sont les opérations à effectuer pour réaliser une consignation ?

6. Quelles sont les précautions à prendre avant d'utiliser une machine-outil portative à l'extérieur (milieu humide) ?

7. Quelles sont les vérifications importantes à effectuer avant de mettre en service une installation ?

8. Quel matériel de protection individuelle doit-on utiliser avant d'effectuer un travail sous tension ? Quelles sont les précautions à prendre pendant l'exécution de ce travail sous tension ?

9. Étant donné l'exemple de tâche à réaliser par un électricien exécutant (page 267), indiquez quelles sont les EPI et ECS à utiliser pour effectuer cette tâche.

10. Indiquez quelles sont les recommandations pour sa sécurité, que l'exécutant électricien doit mettre en œuvre lors d'un travail au voisinage.

11. Par qui est remplie l'attestation de consignation pour travaux (document page 268), et à qui doit-elle être remise ?

12. Par qui l'autorisation de travail est-elle établie, et à qui est-elle remise ?

Exemple de tâche réalisée par un électricien B1V

Donneur d'ordre : <i>Chargé de travaux</i>	TACHES <i>Tâche 1 : Exécuter hors tension des opérations après consignation pour travaux « avec voisinage » (ex. : création dans une armoire en service, partiellement consignée, d'un nouveau départ).</i>	Niveau d'habilitation B1V
Conditions initiales : <i>L'installation est partiellement en service maintien en exploitation des autres fonctions</i>		
Lieu : <input type="text" value="Atelier de réalisation ou prototype"/> <input type="text" value="Entreprise"/>		
ÉQUIPEMENTS DE PROTECTION INDIVIDUELLE		
Lunette anti-UV Paire de gants de travail et gants isolants avec étui		Casque isolant et anti choc ou coiffe isolante Vêtement de protection
ÉQUIPEMENTS COLLECTIFS DE SÉCURITÉ Écran de protection Banderole de balisage de zone <input type="checkbox"/> Pancarte d'avertissement de travaux <input type="checkbox"/>		ÉQUIPEMENTS INDIVIDUELS DE SÉCURITÉ Cadenas <input type="checkbox"/> Macaron de consignation <input type="checkbox"/> Outils isolants Tapis isolant
MOYENS		RÉSULTATS ATTENDUS
ÉQUIPEMENT	OUTILS et DOCUMENTS	1. Vérification des équipements de protection individuelle (E.P.I.) (VTE 510 Annexe 5-A) 1. Vérification du V.A.T. (VTE 510 Annexe 5-A)
Exemple d'équipement : <i>station de pompage</i> <i>Transgerbeur</i> <i>Traitement de surface</i> <i>système de levage etc.</i>	Ordre écrit ou verbal pour effectuer des travaux d'ordre électrique Schémas électriques de l'équipement V.A.T.	2. Vérification de l'outillage (VTE 510 Annexe 5-A) 3. Ordre verbal ou écrit du chargé de travaux (VTE 510 § 4.5) (précisant le travail à effectuer avec indications sur les parties d'installations restées sous tension) 4. Présentation de sa propre sécurité (VTE 510 § 4.5) (ne pas franchir les limites de la zone de travail) 5. Avec les E.P.I. procède à une vérification d'absence de tension des parties d'installations mises hors tension (consignées) (VTE 510 § 4.1.4) 6. Pose avec les E.P.I. d'écran de protection pour suppression du voisinage de pièces nues sous tension (VTE 510 § 6.1 et 6.3) (VTE 510 § 4.3.1.4) 7. Suit les instructions du chargé de travaux pour l'exécution du travail à réaliser (VTE 510 § 4.5) 8. Dépose avec les E.P.I. de l'écran de protection (VTE 510 § 6.1 et 6.3) Avise le chargé de travaux de la fin d'exécution de l'ordre de travail (VTE 510 § 4.4.5)

ATTESTATION DE CONSIGNATION POUR TRAVAUX

Établissement :

Exploitation :

N°

--	--	--

Le chargé de travaux, M.
des Établissements ou Service
est chargé de l'exécution des travaux suivants :

habilitation

sur l'ouvrage ci-après :

Le chargé de consignation, M.
atteste qu'en vue de l'exécution de ces travaux il a consigné :

Tél. :

Le chargé de travaux doit considérer comme étant sous tension tout ouvrage électrique autre que ceux dont la consignation lui est certifiée par la présente attestation ou par d'autres attestations en sa possession.

Dispositions particulières :

L'avis de fin de travail devra être rendu au plus tard le à h min
Le délai de restitution des installations en cas d'urgence est de h min

Attestation délivrée le à h min au chargé de travaux qui s'engage à respecter les prescriptions de sécurité en vigueur.

Signatures
ou
numéro du message

Le chargé de consignation
Le chargé de travaux

AUTORISATION DE TRAVAIL

Établissement :

Exploitation⁽¹⁾ :

N°

--	--	--

Le chargé de consignation
ou le chargé de travaux
ou le chargé d'exploitation
autorise M.
Chargé de travaux habilité (2)
Surveillant de sécurité électrique (2)
Chef du chantier, non habilité (2)
de l'Entreprise ou du Service :
à effectuer les travaux suivants :

emplacements des travaux (A) :

Dans le cas où les travaux sont à effectuer par un Chef du chantier non habilité
M. habilitation est chargé par le chargé de consignation ou le chargé de travaux ou le chargé d'exploitation de prendre les dispositions pour assurer la sécurité vis-à-vis des risques d'ordre électrique occasionnés par les ouvrages voisins de l'emplacement des travaux (A)
Surveillant de sécurité électrique

Instructions à observer pour l'exécution de travaux au voisinage d'ouvrages sous tension.
Les ouvrages suivants, situés au voisinage de l'emplacement (A), sont maintenus sous tension :
Consigne particulière :

Emplacement des écrans de protection :

Indications complémentaires :

Autorisation délivrée le à h min
Durée des travaux :
Délai de restitution en cas de nécessité :

Signatures
ou
numéros des messages

Le chargé de consignation ou le chargé de travaux ou le chargé d'exploitation
Le chargé de travaux ou le chef du chantier.....

(1) Désignation de l'exploitation.

(2) Marquer d'une croix la case correspondante.

27

Maintenance sur les équipements électriques

La maintenance s'applique à tous les domaines d'activité, aux systèmes de production, mais aussi aux bâtiments, aux engins agricoles, de travaux publics et de transport, et aux réseaux de toutes sortes.

Nous nous limiterons dans ce chapitre à l'étude de la maintenance des équipements électriques de production et de manutention.

1 Problème de la maintenance

1.1. Définition de la maintenance

La maintenance est définie comme l'ensemble des actions permettant de maintenir ou de rétablir un bien dans un état spécifié ou en mesure d'assurer un service déterminé (définition de la norme NF X 60-010).

Les principales actions ou opérations de maintenance dans le domaine électrique sont : dépannage, contrôle et vérification, réparation, amélioration, réglage, mesures.

1.2. Méthodes de maintenance

Les méthodes de maintenance peuvent être classées en deux grandes familles :

- la maintenance préventive ;
- la maintenance corrective.

Pour chaque méthode, l'organigramme (fig. 1) indique les événements (échancier, état du bien, défaillance) et les opérations de maintenance (inspection, contrôle, visite, dépannage, réparation).

OBJECTIFS

La complexité des systèmes automatisés impose dans toute intervention de maintenance :

- de réunir les informations nécessaires avant toute intervention ;
- d'analyser les causes possibles de pannes ;
- de prendre les précautions et d'effectuer les consignations, préalablement à l'intervention ;
- de dépanner par échange standard des composants défectueux, dont la cause de dysfonctionnement a été identifiée.

SAVOIRS TECHNOLOGIQUES

S 6.4 à S 6.5

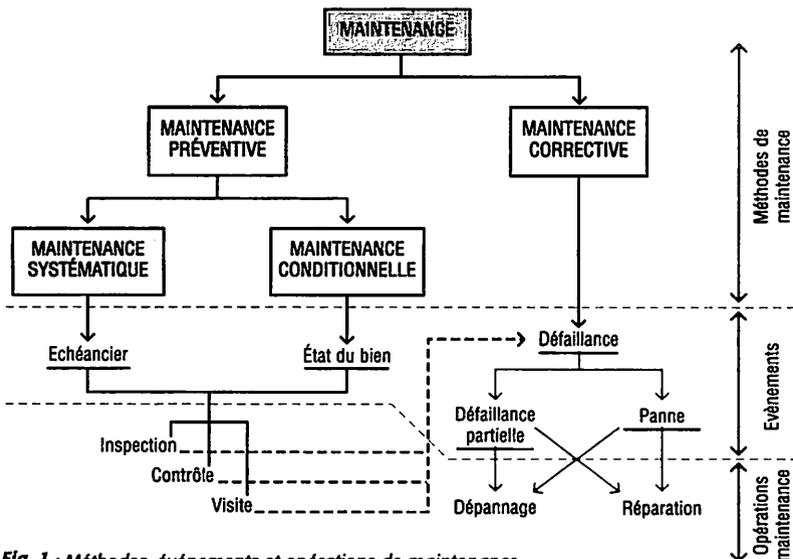


Fig. 1 : Méthodes, événements et opérations de maintenance.

2 Maintenance préventive

Elle doit permettre d'éviter les défaillances des équipements en cours d'utilisation et d'avoir ainsi une meilleure continuité de service.

2.1. Objectifs de la maintenance préventive

- Augmenter la durée de vie des matériels et équipements ;
- diminuer, voire annuler les défaillances en service ;
- réduire le temps d'arrêt pour cause de panne ;
- supprimer les causes d'accidents dus aux dépannages.

2.2. Maintenance préventive systématique (fig. 2)

C'est une maintenance qui est effectuée à des dates planifiées à l'avance, avec une périodicité qui dépend du nombre d'heures, du nombre de kilomètres, du nombre de cycles réalisés...

Exemples :

- vérification et mesure des prises de terre tous les ans ;
- changement des lampes toutes les 800 heures de fonctionnement.

Particularités : Il faut connaître la durée de vie du matériel et les cadences de fonctionnement. Le remplacement du matériel s'effectue par échange standard.

2.3. Maintenance préventive conditionnelle (fig. 3)

La maintenance conditionnelle est une maintenance qui est liée à un type d'événement prédéterminé, on l'appelle aussi **maintenance prédictive**.

Exemple : le déclenchement intempestif d'un disjoncteur différentiel indique une baisse de la résistance d'isolement d'un récepteur.

Particularités : C'est la mise en évidence de points faibles qu'il faut mesurer et qui permettent de déclencher les opérations de réparation.

Exemple : surveillance de la résistance d'isolement d'un équipement. Si $R_{\text{isol}} < 250\ 000\ \Omega$, vérifiez les différents appareils.

Remarque : Les inspections, visites, contrôles ont pour but essentiel d'apprécier l'évolution de l'état du matériel pour intervenir avant son dysfonctionnement.

2.4. Opérations de maintenance préventive

a) Inspections

Ce sont des opérations de surveillance consistant à relever périodiquement des anomalies et à exécuter des réglages simples, sans outillage spécifique, ni arrêt de l'équipement.

b) Visites

Ce sont des opérations de surveillance réalisées en maintenance préventive systématique que l'on effectue à période fixe, avec une liste d'opérations prédéfinies et une immobilisation du matériel.

c) Contrôles

On va effectuer des vérifications de conformité par rapport à des données préétablies qui seront suivies d'un jugement.

Exemple : contrôle d'isolement d'un moteur : si la résistance entre phases et masse est inférieure à $0,5\ M\Omega$ ($500\ 000\ \Omega$), le moteur doit être changé.

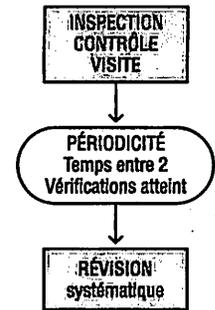


Fig. 2 : Opérations de maintenance systématique.

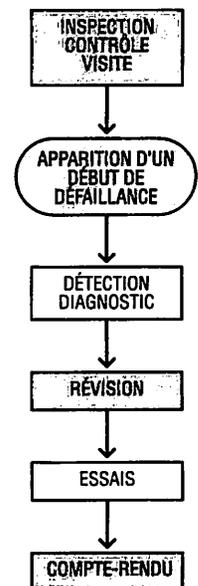


Fig. 3 : Opération de maintenance préventive conditionnelle.

3 Maintenance corrective (dépannage)

C'est la maintenance effectuée après une défaillance.

3.1. Défaillance

Elle est définie par la norme comme une altération ou une cessation de l'aptitude d'un équipement à accomplir la fonction qu'il doit remplir. La défaillance peut être partielle ou complète.

Exemple : un équipement automatique fonctionne en position manuelle mais ne démarre pas en position automatique.

3.2. Opérations de maintenance corrective (fig. 4)

a) Dépannage

C'est une action exercée sur un équipement pour le remettre en état de fonctionnement. Le dépannage peut s'accommoder de résultats provisoires, dans ce cas il sera suivi d'une réparation.

Exemple : un capteur de position est défectueux, il est remplacé par un interrupteur à commande manuelle afin de ne pas arrêter la production.

Particularités du dépannage :

- L'intervention de dépannage doit être de courte durée pour ne pas immobiliser l'équipement. Il peut s'effectuer sous tension ou hors tension (nécessité de consignation).
- La connaissance du matériel et l'analyse préalable du fonctionnement permettent de repérer plus rapidement les causes de dysfonctionnement.

b) Réparation

C'est la remise en état définitive d'un équipement qui doit assurer pleinement les fonctions pour lesquelles il a été conçu.

La réparation peut aussi s'effectuer après un dépannage.

Exemple : le remplacement du capteur de position (de l'exemple précédent) par un échange standard est une réparation.

La réparation présente un aspect définitif alors que le dépannage présente le plus souvent un aspect provisoire.

Particularités de la réparation :

La réparation peut être réalisée soit immédiatement après un dépannage, mais aussi après une visite de maintenance préventive conditionnelle ou systématique.

3.3. Diagnostic en maintenance curative

La maintenance corrective repose sur le diagnostic relatif à une défaillance. Le diagnostic doit permettre d'identifier et de confirmer les hypothèses faites sur l'origine d'une défaillance (fig. 5).

a) Constatations

Elles s'effectuent en observant la défaillance du système.

b) Hypothèses

En fonction des constatations effectuées, on émet une hypothèse.

Chaque hypothèse concerne une cause de panne possible.

c) Vérifications

Un test permet de contrôler si l'hypothèse est vérifiée (« oui, c'est bien la cause », ou « non, cela ne vient pas de cet organe »).

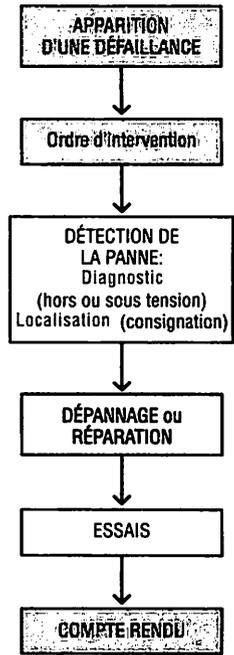


Fig. 4 : Succession des opérations de maintenance corrective (dépannage).

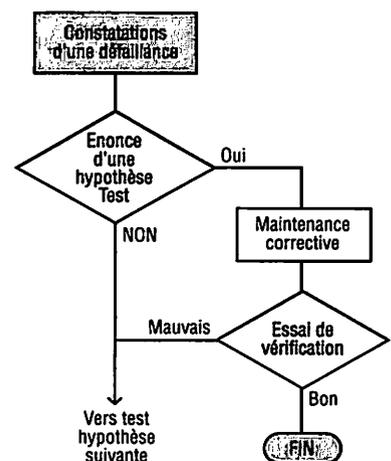


Fig. 5 : Structure générale d'un diagnostic en maintenance corrective.

Lorsqu'une hypothèse se trouve vérifiée, on intervient pour remédier à la défaillance et effectuer un essai de fonctionnement. Si le résultat est positif, le système fonctionne à nouveau, sinon on repart sur une nouvelle hypothèse.

3.4. Graphique causes effets

Ce graphique en arête de poisson permet de répertorier l'ensemble des causes possibles de défaillances sur un système (fig. 6). Chaque arête correspond à une famille de causes.

Exemple : Un groupe motopompe est commandé par un contacteur avec deux boutons-poussoirs et un capteur de pression. Le graphique causes effets est donné (fig. 7).

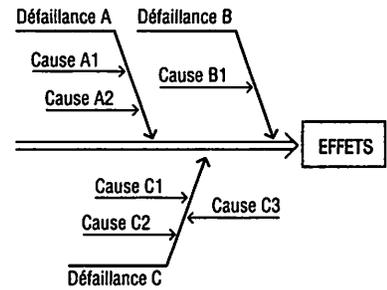


Fig. 6 : Graphique causes/effets.

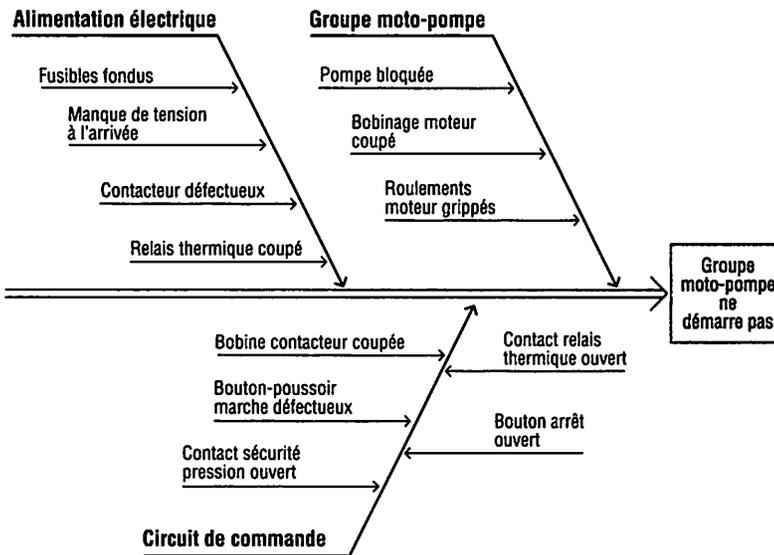


Fig. 7 : Graphique en arête de poisson causes/effets.

4 Dépannage d'équipement électrique

Les vibrations, l'humidité, la poussière, les détériorations de toutes sortes peuvent produire des défaillances de l'équipement électrique. Le dépannage a pour but essentiel de remettre rapidement en état de fonctionnement une installation électrique ou un équipement électrique.

4.1. Distinction entre installation et équipement électrique

a) L'installation électrique

Elle comprend l'ensemble des canalisations fixes avec les matériels électriques qui transforment et distribuent l'énergie électrique aux divers équipements qui l'utilisent localement (fig. 8, partie en noir).

b) L'équipement électrique

C'est l'ensemble des appareillages et circuits (circuits de commande, de puissance et de protection) des moteurs et appareils d'utilisation de l'énergie électrique (fig. 8, partie en couleur).

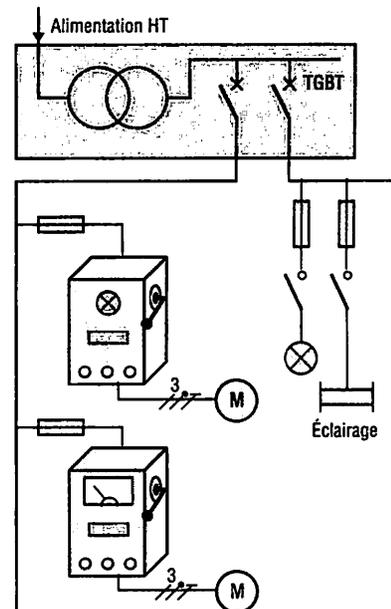


Fig. 8 : Parties installation (en noir) et équipement (en couleur).

4.2. Causes de pannes possibles

Les principales causes de pannes sont analysées dans le *tableau 1*.

Tableau 1 : Causes de pannes possibles.

Défauts	Causes possibles	Constatactions
COUPURE DE CIRCUIT	<ul style="list-style-type: none"> - Coupure d'un conducteur. - Détérioration d'un contact. - Fusion d'un fusible. 	<ul style="list-style-type: none"> - Arrêt total de fonctionnement de l'appareil.
MAUVAIS CONTACT	<ul style="list-style-type: none"> - Connexions mal serrées. - Soudure sèche. - Oxydation de contact. - Échauffement d'une borne de connexion. 	<ul style="list-style-type: none"> - Coupure intermittente. - Production de parasites. - Baisse de tension. - Risque d'arc.
COURT-CIRCUIT	<ul style="list-style-type: none"> - Détérioration de l'isolant entre conducteurs. - Erreur de branchement. - Intrusion d'un corps conducteur. 	<ul style="list-style-type: none"> - Déclenchement des appareils de protection : disjoncteurs, fusibles. - Fusion des conducteurs et coupure.
MISE À LA MASSE	<ul style="list-style-type: none"> - Défaut d'isolement entre un conducteur actif et une masse métallique. 	<ul style="list-style-type: none"> - Mise sous tension des masses métalliques. - Déclenchement des systèmes de protection.
COMPOSANT DÉFECTUEUX	<ul style="list-style-type: none"> - Échauffement anormal d'une résistance. - Claquage d'isolant ou de semi-conducteur. 	<ul style="list-style-type: none"> - Dysfonctionnement de l'appareil entraînant soit l'arrêt, soit un fonctionnement anormal.

4.3. Localisation d'une panne

La recherche d'une panne dans un circuit électrique relève d'un raisonnement logique, dont l'organigramme (*fig. 9*) indique les principales étapes.

4.4. Exemple de recherche de défaut

Considérons le circuit de commande du contacteur K1 (*fig. 10*).

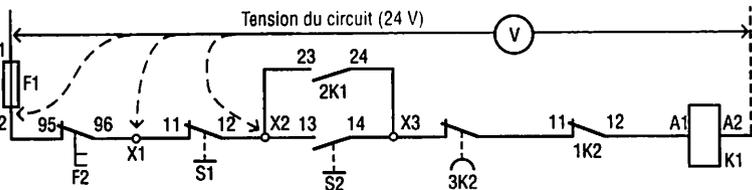


Fig. 10 : Schéma développé d'un circuit de commande (contrôle sous tension).

a) Constataction

Le contacteur K1 ne s'enclenche pas quand on appuie sur S2.

b) Recherche logique des causes possibles (hypothèse)

On peut faire les hypothèses suivantes :

- absence de tension d'alimentation ;
- coupure de la bobine du contacteur ;
- mauvais contacts dans les capteurs ou contacts auxiliaires ;
- coupure d'une liaison électrique.

c) Vérification des hypothèses de pannes

- Installation sous tension : on va mesurer la tension d'alimentation en amont puis en aval des fusibles et du relais thermique (*fig. 10*).
- Installation hors tension : il faut faire attention à la consignation.

On mesure la résistance de la bobine à l'ohmmètre et la continuité des circuits et contacts (*fig. 11*). On utilise surtout les bornes des appareils et du bornier pour effectuer les mesures.

Ces vérifications permettent alors de localiser le contact ou le conducteur défectueux (*fig. 12*).

d) Remise en état

Elle est effectuée par échange du composant et **essai** de l'équipement.

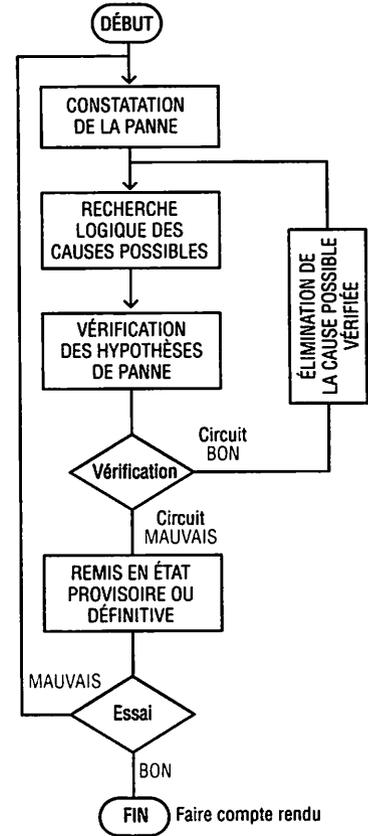


Fig. 9 : Organigramme général de dépannage.

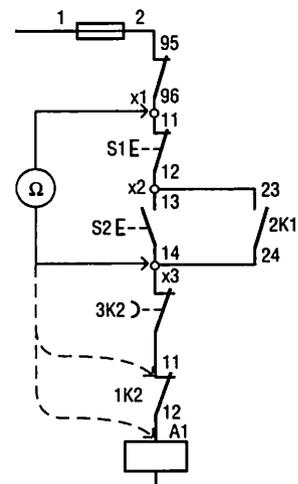


Fig. 11 : Vérification de la continuité des circuits et du fonctionnement des contacts (hors tension).

4.5. Précautions pour le contrôle

Pour les équipements des systèmes automatiques, le contrôleur universel permet d'effectuer dans presque tous les cas les mesures et contrôles nécessaires aux dépannages les plus courants. Selon les alimentations TBT, les liaisons à la terre sont différentes (voir **tableau 2**).

Remarques :

- L'intervention sur un équipement, qu'il soit sous tension ou hors tension, doit s'effectuer selon les règles de sécurité de l'habilitation (consignation et VAT).
- En cas d'erreur de diagnostic, le résultat des essais peut présenter des dangers, surtout en cas de court-circuit sur l'équipement.
- Avant toute intervention sur un équipement, se munir du matériel de protection individuelle (EPI) et se conformer aux directives du chargé de travaux.

Tableau 2 : Différences entre TBTS, TBTP et TBTF.

Type de TBT	Alimentation	Liaison à la terre	Sectionnement Protection C.C.	Protection contre les contacts		Récepteurs
				direct	indirects	
TBTS	Transfo sécurité classe II 	Interdite	Coupeure de tous les conducteurs actifs 	NON	NON	Z 
TBTP	Transfo d'isolement classe I 	Conducteur actif relié à la terre 	Coupeure de tous les conducteurs actifs 	NON	NON	Z 
TBTF	Transfo d'origine indéterminée 	Conducteur actif relié à la terre 	Coupeure de tous les conducteurs actifs 	OUI (DDR)	OUI Appareils IP2X	Z 



Fig. 12 : Attention à l'ambiance !

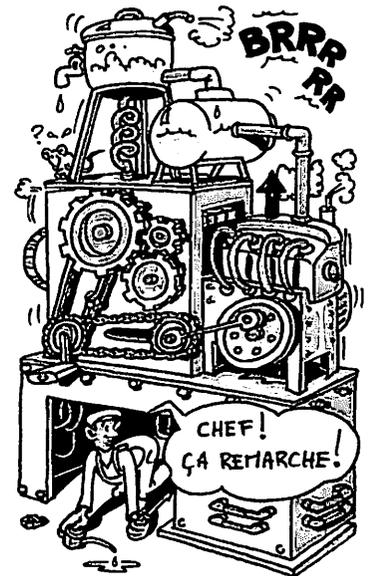


Fig. 13 : Situer les capteurs sur le système ? ... Il faut connaître ! ...

5 Documents de maintenance

Pour réaliser les opérations de maintenance sur un équipement électrique d'une machine de production ou d'un système de manutention, il faut disposer d'un certain nombre de documents et en créer d'autres.

5.1. Dossier technique

Ce dossier contient tous les renseignements nécessaires à une intervention de maintenance. Prenons à titre d'exemples les systèmes techniques étudiés précédemment : traitement de surface (p. 219) ; triage de colis (p. 234) ; station de lavage (p. 246).

Ces systèmes techniques présentent un dossier technique complet :

- implantation et nomenclature des composants ;
- analyse du fonctionnement du système (SADT, GRAFCET) ;
- schémas électriques de puissance, de commande ;
- adresses des entrées et sorties d'automate ;
- schémas des circuits pneumatiques.

5.2. Dossier de maintenance

C'est le carnet de santé de l'équipement électrique. Il permet de suivre dans le temps toutes les défaillances du système.

a) Historique des interventions

C'est un tableau qui indique la nature des interventions et leur date. Il permet :

- de connaître la nature des défaillances précédentes ;
- de décider des améliorations à apporter ;

- de chiffrer les coûts de maintenance ;
- d'opérer les approvisionnements de pièces de rechange.

Ce document permet de mémoriser la vie de l'équipement (fig. 14).

HISTORIQUE DE MAINTENANCE CORRECTIVE ET PRÉVENTIVE										Année	
Équipement machine :				Type : Numéro :		Division : Bâtiment :					
Dates	N° de bon	Travaux exécutés	Type d'intervention			Temps		Coûts			

Fig. 14 : Historique des interventions.

b) Processus de visite préventive

C'est un document qui indique à l'électricien les opérations de contrôle ou de vérifications à effectuer sur l'équipement (tableau 3) et la périodicité de ces visites (fig. 15).

c) Autres documents

- **Bon de travail** (fig. 16) qui précise à l'électricien le lieu, la nature de l'intervention, la date, l'heure, la qualification de l'exécutant.

BON DE TRAVAIL :		DÉPANNAGE RÉPARATION		O.T. N°
URGENCE 1-2-3-4-5	Équipement machine :	Type : Numéro :	Division : Bâtiment :	
DEMANDEUR	Travail demandé ou anomalie constatée :			EXÉCUTANT
Nom :	Compte rendu : opérations effectuées :			
Section :				
Date :				
Délai :	Date : Heure :			
Si arrêt de fabrication :	Date : Heure :			FIN
Heure arrêt	Date : Heure :			Temps passé
Heure reprise	Matériel - pièces - fournitures utilisées :			N°s bon de sortie magasin :
Date reprise				
Temps d'arrêt h				

Fig. 16 : Bon de travail.

- **Fiche de dépannage** : elle précise la nature de la panne et la réparation faite ou à faire, et comporte un compte rendu.
- **Compte rendu de visite** (fig. 17) qui signale : les travaux à effectuer sur un équipement et leur degré d'urgence.

COMPTE RENDU DE VISITE PRÉVENTIVE					
Équipement machine :			Type : Numéro :		Division : Bâtiment :
Date :	H. Début :	H. Fin :	Nom visiteur :		N°s du bon :
N° repère	Anomalies relevées	État des lieux	Travaux effectués lors de la visite	Travaux à effectuer	Urgence

Fig. 17 : Compte rendu de visite.

FICHE DE VISITE PRÉVENTIVE	
Équipement machine : Type : Numéro : Division : Bâtiment :	
Durée : Fréquence : Qualification :	
N°	Opérations à effectuer
Schéma - outillage - précautions	

Fig. 15 : Fiche de visite préventive.

Tableau 3 : Opérations de contrôle préventif.

- Contrôler les mises à la terre.
- Vérifier l'état des contacts des contacteurs.
- Vérifier les fins de course.
- Tester les voyants lumineux de signalisation.
- Contrôler le calibre des relais thermiques et les fusibles.
- Vérifier l'état des câbles, presse-étoupe, canalisations.
- Serrer les connexions sur les borniers.
- Vérifier sécurités, arrêts d'urgence...

■ La maintenance est définie comme l'ensemble des actions permettant de **maintenir** ou de **rétablir** un bien (équipement électrique) dans un état en mesure d'assurer un service déterminé (NF X 60-010).

■ La **maintenance préventive** permet d'éviter les défaillances des équipements en cours d'utilisation et ainsi d'avoir une meilleure continuité de service. Elle fait appel à des *inspections, visites, contrôles* programmés dans le temps.

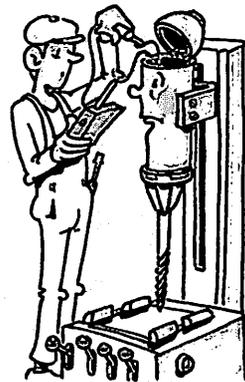
■ La **maintenance corrective** est effectuée après une défaillance sur un équipement, ce qui conduit à effectuer un **dépannage** suivi d'une **réparation**. La défaillance entraîne l'arrêt du système de production ou de manutention.

■ Le **dépannage** a pour but de remettre rapidement en état de fonctionner un système technique.

■ Le **graphique causes/effets** ou en arête de poisson permet de répertorier l'ensemble des causes possibles de défaillances sur un système.

■ Le **diagnostic** en maintenance curative fait appel à trois stades différents : la ou les constatations, les hypothèses ou causes de pannes possibles et les vérifications et essais.

■ Les **documents de maintenance** sont constitués par le dossier technique de l'équipement et le dossier de maintenance qui comprend en particulier : l'historique des interventions, les fiches de visite, de résultats de visite et de dépannage.



VRAI OU FAUX ?

Parmi les affirmations suivantes, indiquez celles qui sont vraies.

1. Maintenir en l'état ou rétablir un bien dans son état normal, constitue la maintenance.
2. Il existe autant de méthodes de maintenance que de biens à entretenir.
3. La maintenance préventive permet d'éviter les défaillances.
4. Une particularité de la maintenance préventive est d'attendre qu'une panne se produise.
5. En maintenance préventive, on utilise la notion de durée de vie.
6. La maintenance prédictive est une maintenance systématique.
7. En détectant un point faible sur un équipement, on effectue de la maintenance préventive conditionnelle.
8. Une inspection consiste à effectuer des vérifications et des contrôles avec arrêt de l'équipement.
9. Une visite est une surveillance réalisée en maintenance préventive systématique, à des périodes fixes.

10. Un contrôle consiste à exécuter des réglages simples, sans arrêt de l'équipement.

11. Quand un équipement tombe en panne, on dit qu'il y a défaillance.

12. Le dépannage consiste à remettre un équipement en fonctionnement provisoire ou définitif.

13. Une réparation est une remise en état provisoire.

14. L'observation d'une défaillance dans un système, s'appelle une hypothèse.

15. Pour une seule cause de panne, on peut émettre plusieurs hypothèses.

16. Pour contrôler la validité d'une hypothèse, on doit réaliser un test.

17. Le graphique en arête de poisson permet de répertorier toutes les causes de pannes.

18. Un court-circuit sur un équipement électrique est un défaut grave.

19. La cause possible d'un défaut constitue une hypothèse.

20. Une constatation peut être le résultat d'un test ou d'une observation.

RÉSOLUS

1. Le système de traitement de surface chapitre 22 (p. 206) fonctionne selon le GRAFCET (p. 222). À la suite d'une défaillance, on vous demande d'intervenir et vous constatez que le cycle démarre bien, mais en fin de descente, dans le premier bac, le cycle s'arrête. Pouvez-vous localiser la panne ? Quelle intervention préconisez-vous ?

Solution :

D'après le GRAFCET p. 221 en fin de descente, c'est le capteur S9 qui peut être défectueux, ou encore, la temporisation $T = 5$ s ne se fait pas. Il faut tester le contact S9 et la temporisation $T = 5$ s.

2. Sur le système de traitement de surface de l'exercice précédent, lorsque l'on est en position manuelle, on ne

parvient pas à commander le mouvement de montée. D'où cela peut-il provenir ?

Solution :

Le schéma développé du circuit de commande (p. 224) nous indique que c'est le circuit du bouton-poussoir SMO qui est coupé, ou que le contact SMO est défectueux.

3. Soit le dossier technique du système de traitement de surface page 219. On observe un arrêt de fonctionnement à la fin de l'étape 4. Recherchez les adresses des capteurs permettant d'effectuer la transition de l'étape 4 à l'étape 5.

Solution :

En observant le GRAFCET de programmation page 222, les capteurs dont les adresses sont les suivantes, doivent être testés : 0,03 ; - 0,04 ; - 0,05 ; - 0,06 ; - 0,08.

À RÉSOUDRE

1. Le système de triage de colis chapitre 23 (p. 234) fonctionne selon le GRAFCET (p. 236). À la suite d'une défaillance, le triage des colis s'arrête lorsqu'un grand colis se présente. Pouvez-vous localiser la panne, sachant que le grand colis est évacué, mais qu'ensuite le tri ne fonctionne pas ?

2. Sur le système de triage de colis de l'exercice précédent, un incident se produit au démarrage ; les tapis T1 et T2 démarrent, mais le tapis T3 ne veut pas démarrer. D'où cela peut-il provenir ? Quelles sont les interventions que vous pouvez faire ?

3. Le système de la station de lavage chapitre 24 (p. 246) fonctionne selon les GRAFCET (p. 247). Une défaillance survient quand on passe de l'étape 11 à l'étape 12. Analysez les causes possibles de dysfonctionnement et indiquez quelles sont les interventions à faire sur l'équipement.

4. Quelle différence faites-vous entre la maintenance préventive systématique et la maintenance préventive conditionnelle ?

5. Quelle différence faites-vous entre dépannage et réparation ?

6. Soit le dossier technique du système de triage de colis page 234. On observe un arrêt de fonctionnement à la fin de l'étape 4. Recherchez les capteurs concernés et les adresses correspondantes qui permettent d'effectuer la transition de l'étape 4 vers les étapes : 5, 6 et 8.

7. Soit le dossier technique du système de triage de colis page 234. On observe un arrêt de fonctionnement : le volet d'aiguillage des colis moyens ne revient pas à sa position d'origine. Recherchez sur le GRAFCET à quelles étapes et transitions cela correspond et indiquez les causes possibles de dysfonctionnement.

8. Soit le dossier technique du système de station de lavage page 246. On observe un arrêt de fonctionnement à la fin de l'étape 5. Recherchez la position et l'adresse du capteur permettant d'effectuer la transition de l'étape 5 à l'étape 6.

9. Soit le dossier technique du système de station de lavage page 246. On observe un arrêt de fonctionnement de l'électrovalve de prélavage. Recherchez les causes possibles ainsi que l'adresse de la sortie de l'automate permettant son alimentation.

28

Les aspects commerciaux et techniques

L'exercice du métier d'électricien, selon l'entreprise dans laquelle il travaille, peut le conduire à réaliser des tâches d'ordre technico-commerciales (commandes de matériels et établissement de devis) (fig. 4). De même, il est conduit à travailler chez des particuliers, dans des bureaux, magasins ou ateliers où il doit faire preuve de certaines qualités dans les relations humaines.

1 Calculs des coûts, devis

L'obtention d'une affaire est souvent liée à son prix. Si le montant est trop élevé, c'est une entreprise concurrente qui aura l'affaire ; si le montant du devis est trop bas, l'entreprise risque de faire le travail à perte. Il est donc très important d'avoir des prix calculés au plus juste.

1.1. Devis estimatif du matériel

À partir du descriptif du cahier des charges, on établit la nomenclature du matériel nécessaire et on chiffre la valeur de ce matériel (fig. 1).

Exemple : installation d'une lampe dans un sous-sol (fig. 2).

N° ordre	Désignation	Référence	Qté	Prix unit.	Total
1	Conduit IRO 025	204-447	20	3,20	64,00
2	Collier rilsan	320-22	60	0,32	19,20
3	Fil cuivre H 07-VU 1,5 mm ²	000-504	50	1,38	69,00
4	Boîte de dérivation	920-000	2	5,89	11,78
5	Interrupteur Neptune	805-01	1	8,46	8,46
Total : 172,44 F					
TVA : 19,6 % soit 33,80					Total TTC : 206,24 F

Fig. 2 : Devis estimatif (les prix indiqués ici sont fictifs - se reporter aux catalogues constructeurs).

Les prix des fournisseurs sont hors taxe, il faut y ajouter la TVA (taxe sur la valeur ajoutée) qui est de 19,6 % pour les produits industriels.

1.2. Devis avec prix standard

Le prix du matériel n'est qu'une partie du coût d'une installation. Il faut tenir compte en particulier du coût de la main-d'œuvre.

Il a été établi des listes de prix standard qui tiennent compte de la fourniture du matériel et du temps de main-d'œuvre pour la pose. Un extrait de ces listes de prix standard est donné dans les fiches de documentation pages 283-284.

OBJECTIFS

L'électricien en plus de ses compétences professionnelles doit avoir des relations d'ordre technico-commerciales.

- Par rapport à l'entreprise, il doit être capable de proposer un devis estimatif et de prendre en charge une commande de son établissement jusqu'à la livraison.

- Par rapport au client, il doit être capable de l'aider pour l'établissement d'un cahier des charges, et assurer la livraison d'une installation et sa maintenance.

SAVOIRS TECHNOLOGIQUES

S 7.1 et S 7.2



Fig. 1 : Attention à la référence.

Le tableau de la **figure 3** donne un exemple de constitution des prix du barème avec le détail :

- fournitures d'après les tarifs publics des fournisseurs ;
- main-d'œuvre calculée à partir de l'indice des salaires pour les travaux de bâtiment.

Calcul du prix de 1 m de canalisation électrique, fil H 07-VU 3 × 1,5 mm² sous conduit plastique encastré y compris la saignée.

Désignation	Unité	Qté	Matériel		M.O. en heures		Matériel + M.O.	
			U	Total	U	Total	U	Total
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
Fil H 07-VU 1,5 mm ²	ml	3	0,48	1,44	0,02	0,06	3,97	11,91
Tube ICO 5 APE diam 20	ml	1	1,78	1,78	0,06	0,06	12,35	12,35
Saignée dans mur	ml	1			0,30	0,30	50,57	50,57
Rebouchage	Ens	1	25,00	25,00	0,10	0,10	48,26	48,26
TOTAL				28,22		0,52		123,09

Fig. 3 : Devis avec prix standard (les prix indiqués ici sont fictifs. Se reporter aux données des mètres).

Détail des opérations pour chaque colonne de (1) à (9) :

- colonne (5) : c'est le produit (3) × (4) ;
- colonne (7) : c'est le produit (3) × (6) ;
- colonne (8) : c'est l'opération (4) × 1,25 + (6) × 168,97 ;
- le coefficient de 1,25 représente la marge sur le matériel, la valeur de 168,97 représente le taux horaire de la main-d'œuvre (valeur fictive) ;
- colonne (9) : c'est le produit (8) × (3).

1.3. Logiciel de chiffrage

Les constructeurs de matériel électrique ont établi des bases de donnée avec les références des appareils, les prix qui permettent d'établir la nomenclature du matériel et le chiffrage des fournitures et de la main-d'œuvre pour une installation électrique.

Exemples :

- AXETUD. Logiciel pour réaliser des devis d'électricité (Legrand), voir documentation page 285.
- Eco-bat, Ecoelec 2 pour la conception et le chiffrage d'équipements électriques (Schneider-MG).

Ces logiciels permettent de tracer les schémas et d'effectuer l'implantation de l'appareillage, d'établir les commandes de matériel.

2 Commandes de matériels

2.1. Passation d'une commande

À partir d'un ou de plusieurs catalogues, l'électricien doit compléter un bon de commande qui comporte les quantités et les références du matériel à commander (**fig. 4**).

Le bon de commande précise aussi le mode d'expédition, les conditions de paiement et le délai de livraison (**fig. 5**).

Remarque : Il faut faire très attention à bien indiquer le numéro de référence du produit. C'est cette valeur qui sera prise en compte pour la facturation, la désignation en clair sert uniquement à l'électricien.

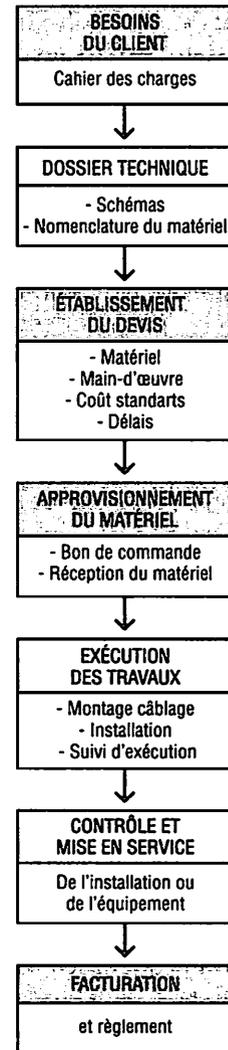


Fig. 4 : Étapes successives pour le traitement d'une affaire (en couleur : aspects techniques, en gris : aspects de gestion commerciale).

Entreprise Française d'Électricité 50, rue de la Liberté - Paris 8 ^e		N° 473-226 Adresse du fournisseur : Comptoir d'électricité Rue Général-Lyautey Paris		
Référence commande 02597-93/HC Service chantiers extérieurs				
Désignation	Référence	Qté	Prix Unit.	Total
Interrupteur série Neptune	805-00	10	7,39	73,90
Va-et-vient série Neptune	805-01	10	8,46	84,60
Prises de courant 10/16 A 2P + T	805-29	10	9,79	97,90
Tube IRO Ø 25	204-447	20	3,20	64,00
Fil H 07-VU 1,5 mm ²	12-2501	200	1,38	276,00
Délai de livraison		Total HT		596,40
Date :		TVA 19,60 %		116,89
		Total TTC		713,29

Fig. 5 : Bon de commande (prix fictifs).

2.2. Réception d'une livraison

Le contrôle d'une livraison s'effectue à partir du double du bon de commande. On vérifie les quantités, les références ; éventuellement on constate les articles non livrés, ou détériorés, ou non conformes.

3 Relations avec la clientèle

3.1. Aide à l'établissement du cahier des charges

L'électricien doit souvent établir avec son client le cahier des charges de l'installation. Il doit formuler en langage technique les besoins du client (fig. 6) et valoriser la solution qu'il préconise, en précisant les caractéristiques intéressantes.

3.2. Livraison d'un équipement ou d'une installation

Les notices et modes d'emploi seront commentés et remis au client en lui précisant bien les manœuvres à effectuer (fig. 7).

3.3. Intervention de maintenance en clientèle

Chaque fois qu'un électricien est appelé à intervenir chez un client (particulier, commerçant, entreprise), il faut tenir compte des contraintes liées aux personnes, à l'activité, aux locaux (fig. 8).

L'intervention doit être la plus rapide possible, tout en appliquant les règles de sécurité. Il doit restituer les lieux en respectant la finition et la propreté qui étaient celles existantes avant l'intervention.

4 Conclusion

À l'issue de l'étude de ce livre de technologie le professionnel électricien a dû acquérir les compétences qui lui permettent de câbler des équipements, de réaliser des installations électriques, d'intervenir en maintenance et cela en toute sécurité, pour lui et pour les utilisateurs. Mais surtout il doit savoir que tout travail doit être un travail bien fait, c'est ce que l'on désigne par l'expression « **Le travail sera exécuté selon les règles de l'art** ».



Fig. 6 : Traduire la pensée du client.



Fig. 7 : Former l'utilisateur.



Fig. 8 : Ne pas perturber.

L'essentiel

■ Les relations d'ordre technico-commerciales font appel à des notions d'administration et de communication.

– **Un devis** est une réponse chiffrée à un client, qui porte sur des travaux d'installation ou de câblage. Le calcul des coûts s'effectue à partir des prix du matériel et des heures de travail ou à partir de listes de prix standard.

Des logiciels spécifiques par constructeur permettent le chiffrage d'une installation, l'établissement des schémas et l'implantation dans les coffrets ou armoires.

– **Une commande** est un ordre par lequel on demande à un fournisseur la livraison de matériels ou l'exécution d'un service. Le bon de commande matérialise cet ordre, il définit la désignation des produits, la quantité, le montant, le mode d'expédition, les délais.

– **La réception** d'une livraison a pour rôle de contrôler la conformité du matériel, par rapport au bordereau de livraison et au bon de commande.

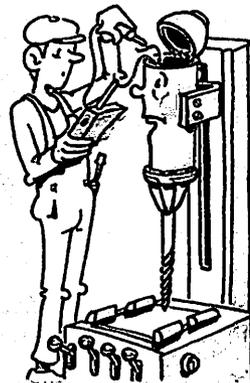
■ Les relations avec la clientèle font appel à des notions de communication :

– il s'agit de conseiller un client pour l'établissement du cahier des charges ;

– lors de la livraison d'une installation, il faut en expliquer le fonctionnement ;

– dans le cas d'intervention de maintenance, il faut tenir compte des contraintes d'exploitation et interroger l'utilisateur sur les défaillances constatées.

■ Dans tous les cas, l'électricien doit effectuer un travail de qualité, en respectant les règles de sécurité. On peut dire alors que l'installation ou l'équipement électrique est réalisée selon les règles de l'art.



VRAI OU FAUX ?

Parmi les affirmations suivantes, indiquez celles qui sont vraies.

1. Un devis estimatif ne comprend que le prix du matériel.

2. Un devis estimatif avec prix standard tient compte du matériel et de la main-d'œuvre.

3. Un logiciel de chiffrage permet d'établir par l'informatique, le prix du matériel ainsi que les unités de main-d'œuvre.

4. Sur un schéma, on doit porter les références constructeur du matériel.

5. Une nomenclature avec références constructeur permet d'effectuer une demande de prix.

6. Pour effectuer une commande de matériel, il ne faut pas indiquer les références constructeur.

7. On peut établir un devis à partir du cahier des charges et du schéma de l'installation.

8. Un bon de commande de matériel sert de devis pour une installation électrique.

9. La facturation d'une installation doit se faire avant sa mise en service.

10. À la suite d'une commande bien faite, il n'est pas nécessaire de contrôler la livraison du matériel.

11. L'établissement d'un cahier des charges est toujours fait par l'installateur électrique.

12. Un installateur doit toujours respecter les règles de sécurité.

13. Les logiciels de calcul de devis sont établis à partir d'une nomenclature.

14. Dans un logiciel de devis, la nomenclature peut être élaborée à partir du schéma.

15. L'implantation des composants dans une armoire est toujours faite manuellement.

16. Dans un barème de prix standard, l'unité est toujours le mètre linéaire.

17. La liste de prix standard du chauffage électrique ne comporte pas le prix de l'installation.

18. Le barème de prix standard des tableaux d'abonnés ne comporte que le prix des fournitures.

19. Le barème des prix standard pour les canalisations, indique le montant des fournitures plus celui de la main-d'œuvre.

20. La présentation et la politesse d'un électricien chez un client, sont des facteurs de réussite professionnelle.

RÉSOLUS

1. Établissez le devis estimatif du matériel nécessaire à un équipement électrique triphasé.

- 1 sectionneur 25 A triphasé,
- 2 contacteurs 25 A triphasés,
- 1 relais thermique 20 A.

Alimentation circuit de commande en 230 V.

Solution :

Il faut rechercher les références (pages 228 à 230 T1) et demander les prix correspondants au fournisseur.

Désignation	Référence	Qté	P.u.	Total
Sectionneur 25 A	LS1-D 25431 A 65	1	133,59	133,59
Contacteur	LP1-D 2510 MD	2	303,20	606,40
Relais thermique	LR2-D 1316	1	141,72	141,72

Total HT : 881,71
 TVA 19,6 % 172,81
 Total TTC : 1 054,52

2. Établissez le devis pour l'exécution d'une installation électrique sous tube plastique sur collier comportant 1 lampe commandée par 2 interrupteurs type PLEXO. Longueur de canalisation 12 m.

Solution :

On établit le devis à partir des prix standard (documentation pages 283-284).

Désignation	U	Qté	P.u.	Total
Canalisation tube plastique sur collier + H 07 V-U 2 x 1,5	ML	12	73,13	877,56
Interrupteur va-et-vient type PLEXO	U	2	83,07	174,14

Total HT : 1 051,77
 TVA 19,6 % 204,14
 Total TTC : 1 257,91

À RÉSOUDRE

1. Établissez la nomenclature avec les références constructeur (Schneider Electric) pour l'équipement automatique de la station de lavage (voir schémas page 248), afin de pouvoir effectuer une demande de prix.

Voir la documentation (tome 1 pages 214 à 218, et de 228 à 230). La demande de prix concerne uniquement le matériel contenu dans l'armoire, sauf les borniers et le répartiteur.

2. Établissez la nomenclature de l'appareillage avec les références Schneider du circuit de puissance du poste de traitement de surface (Schéma donné p. 223).

3. Établissez le devis pour réaliser une installation électrique dans un garage en sous-sol comportant :

- 1 tableau de répartition avec 2 départs lumière protégés par disjoncteur 10 ampères ;
- 1 départ prise de courant 25 A.

Le circuit prise d'une longueur de 23 m comporte 4 prises type PLEXO - 2 x 10/16 A + T et les 2 circuits lumière de

longueurs 15 m et 28 m sont équipés de 4 interrupteurs PLEXO et 3 boîtes de dérivation. Canalisation sous tube IRO avec collier.

4. Établissez le devis d'une installation de chauffage électrique comportant 2 radiateurs avec thermostat mécanique, puissance 1 250 W alimentés par une canalisation sous moulure de longueur 24 m.

5. On a relevé pour un système la nomenclature suivante :

- Repère : désignation
- Q : sectionneur tripolaire 25 A.
- F1-F2 : fusible 16 A pour circuit de commande 24 V.
- KA1 à KA4 : relais auxiliaire 2F.
- KM1 et 2 : contacteur pour moteur 2 kW, 400 V, triphasé.
- F3-F4 : relais thermique pour moteur 2 kW.

Recherchez les références du matériel pour effectuer une demande de prix (voir documentation Schneider Electric).

Extraits de barème de prix standard (prix relatifs*)

Canalisations				Appareillages			
Désignation du matériel	Unité	Quantité	Prix unit. (F.H.T.)	Désignation du matériel	Unité	Quantité	Prix unit. (F.H.T.)
Fil HO7V U sous tube ICD noyé en chape				Interrupteur SA posé en saillie	U	1	91,83
2 x 1,5 mm ²	ml	1	18,55	Interrupteur V & V posé en saillie	U	1	94,33
3 x 1,5 mm ²	ml	1	22,52	Bouton poussoir posé en saillie	U	1	104,83
4 x 1,5 mm ²	ml	1	26,49	Prise de courant posée en saillie			
5 x 1,5 mm ²	ml	1	30,46	2 x 10/16 A + T	U	1	91,83
3 x 2,5 mm ²	ml	1	23,81	2 x 20 A + T	U	1	132,06
3 x 4 mm ²	ml	1	32,25	2 x 32 A + T	U	1	174,48
3 x 6 mm ²	ml	1	40,01	3 x 16 A + T	U	1	219,00
Fil HO7V U sous fourreau plastique encastré saignée comprise				Interrupteur SA posé en encastré	U	1	103,49
2 x 1,5 mm ²	ml	1	119,12	Interrupteur V & V posé en encastré	U	1	105,87
3 x 1,5 mm ²	ml	1	123,09	Bouton poussoir posé en encastré	U	1	108,74
4 x 1,5 mm ²	ml	1	127,06	Prise de courant posée en encastré			
5 x 1,5 mm ²	ml	1	131,03	2 x 10/16 A + T	U	1	105,99
3 x 2,5 mm ²	ml	1	124,38	2 x 20 A + T	U	1	109,35
3 x 4 mm ²	ml	1	132,72	2 x 32 A + T	U	1	164,06
3 x 6 mm ²	ml	1	141,84	3 x 16 A + T	U	1	149,82
Fil HO7V U sous moulure plastique de 30 x 10 mm				Sortie de câble 2P + T posée en encastré	U	1	102,17
2 x 1,5 mm ²	ml	1	57,68	Prise téléphonique posée en encastré	U	1	133,50
3 x 1,5 mm ²	ml	1	61,65	Prise télévision + FM posée en encastré	U	1	266,88
4 x 1,5 mm ²	ml	1	65,62	PC 2 x 10/16 A + T posée sur plinthe plastique de 71 x 20 mm	U	1	152,84
5 x 1,5 mm ²	ml	1	69,62	PC 2 x 10/16 A + T posée sur plinthe plastique de 100 x 25 mm	U	1	179,47
3 x 2,5 mm ²	ml	1	62,94	Interrupteur SA type PLEXO	U	1	83,07
3 x 4 mm ²	ml	1	70,02	Interrupteur V & V type PLEXO	U	1	87,07
3 x 6 mm ²	ml	1	79,14	Bouton poussoir type PLEXO	U	1	88,07
Fil HO7V U sous tube plastique sur colliers				Prise de courant type PLEXO			
2 x 1,5 mm ²	ml	1	73,13	2 x 10/16 A + T	U	1	89,57
3 x 1,5 mm ²	ml	1	77,10	2 x 20 A + T	U	1	144,19
4 x 1,5 mm ²	ml	1	81,07	3 x 20 A + T	U	1	164,20
5 x 1,5 mm ²	ml	1	85,04	3 x 20 A + N + T	U	1	200,37
3 x 2,5 mm ²	ml	1	78,39	2 x 32 A + T	U	1	256,10
3 x 4 mm ²	ml	1	87,05	3 x 32 A + T	U	1	273,37
3 x 6 mm ²	ml	1	96,17	3 x 32 A + N + T	U	1	284,62
Fil HO7V U sous plinthe plastique							
75 x 20 mm 3 x 2,5 mm ²	ml	1	103,77				
120 x 23 mm 3 x 2,5 mm ²	ml	1	157,65				
Câble A05VV U sous tube plastique sur colliers							
2 x 1,5 mm ²	ml	1	75,29				
3 x 1,5 mm ²	ml	1	78,22				
4 x 1,5 mm ²	ml	1	80,61				
5 x 1,5 mm ²	ml	1	83,62				
3 x 2,5 mm ²	ml	1	79,64				
3 x 4 mm ²	ml	1	86,93				
4 x 4 mm ²	ml	1	89,43				
5 x 4 mm ²	ml	1	93,35				
3 x 6 mm ²	ml	1	93,05				
5 x 6 mm ²	ml	1	105,29				

* Prix relatifs : ces prix sont à considérer comme un ordre de grandeur des différences de prix entre les différents matériels.

Extraits de barème de prix standard (prix relatifs)

Tableau d'abonné			
Désignation du matériel	Unité	Quantité	Prix unit. (F.H.T.)
Tableau d'abonné prééquipé avec un disjoncteur différentiel sensibilité 500 mA 2 x 15/45 A			
avec 6 circuits mono.....	ENS	1	2 097,72
avec 8 circuits mono.....	ENS	1	3 219,70
Tableau d'abonné prééquipé pour chauffage électrique comprenant : deux coupe-circuit 10 A, cinq coupe-circuit 20 A, un coupe-circuit 2 A pour bobine, un contacteur chauffe-eau, un coupe-circuit 32 A, un interrupteur 2 x 32 A, 6 coupe-circuit 20 A, un disjoncteur 2 x 60 A différentiel 500 mA ; l'ensemble.....	ENS	1	5 434,43
Coffret répartiteur prééquipé à 4 circuits PH + N.....	ENS	1	1 108,97
Coffret répartiteur prééquipé à 7 circuits PH + N.....	ENS	1	1 255,26

Protection et commandes							
Désignation du matériel	Unité	Quantité	Prix unit. (F.H.T.)	Désignation du matériel	Unité	Quantité	Prix unit. (F.H.T.)
Coupe-circuit							
de 10 à 32 A PH + N.....	U	1	92,25	Bloc vigil 30 mA			
de 10 à 32 A BI.....	U	1	111,39	de 10 à 32 A BI.....	U	1	750,04
de 10 à 32 A TRI.....	U	1	158,66	de 10 à 32 A TRI.....	U	1	925,69
de 10 à 32 A TRI + N.....	U	1	209,70	de 10 à 32 A TETRA.....	U	1	977,58
Disjoncteur				Contacteur heure creuse			
de 10 à 32 A BI.....	U	1	319,48	2 x 20 A.....	U	1	426,98
de 10 à 32 A TRI.....	U	1	464,48	Contacteur pour contrat			
de 10 à 32 A TETRA.....	U	1	626,42	E.J.P. 2 x 20 A.....	U	1	373,23
de 32 à 63 A BI.....	U	1	775,73	Relais délesteur			
de 32 à 63 A TRI.....	U	1	1 274,83	un circuit de 15 A.....	U	1	1 140,73
de 32 à 63 A TETRA.....	U	1	1 647,67	Relais optimiseur 2 x 20 A.....	U	1	558,97
de 100 A BI.....	U	1	995,35	Relais délesteur			
de 100 A TETRA.....	U	1	2 314,29	trois circuits de 15 A.....	U	1	2 193,97
Bloc Vigil 300 mA				Programmateur			
de 10 à 32 A BI.....	U	1	690,04	10 heures avec 2 sorties 6 A	U	1	2 250,44
de 10 à 32 A TRI.....	U	1	765,69				
de 10 à 32 A TETRA.....	U	1	782,58				

Chauffage électrique							
Désignation du matériel	Unité	Quantité	Prix unit. (F.H.T.)	Désignation du matériel	Unité	Quantité	Prix unit. (F.H.T.)
Thermostat d'ambiance				d'une puissance de 1 750 W.....	U	1	815,77
posé en encastré.....	U	1	456,88	d'une puissance de 2 000 W.....	U	1	847,02
Convecteur électrique classe II				avec thermostat électronique			
d'une puissance de 500 W.....	U	1	633,27	d'une puissance de 500 W.....	U	1	844,52
d'une puissance de 750 W.....	U	1	650,77	d'une puissance de 750 W.....	U	1	868,27
d'une puissance de 1 000 W.....	U	1	654,52	d'une puissance de 1 000 W.....	U	1	887,02
d'une puissance de 1 250 W.....	U	1	739,52	d'une puissance de 1 250 W.....	U	1	990,77
d'une puissance de 1 500 W.....	U	1	769,52	d'une puissance de 1 500 W.....	U	1	1 037,02
				d'une puissance de 1 750 W.....	U	1	1 100,77
				d'une puissance de 2 000 W.....	U	1	1 147,02

Logiciel de réalisation de devis Axétud

Ce logiciel permet de réaliser le devis d'une installation électrique en tenant compte des normes des méthodes d'exécution et des références des appareils utilisés. Ce logiciel à vocation pédagogique est adapté d'un logiciel professionnel de devis. Il concerne toutes les installations électriques alimentées en tarif bleu domestique ou tertiaire.

1. Présentation

À partir d'un plan représentant la nature des murs (béton, brique, cloisons sèches), on représente le plan architectural pièce par pièce avec l'implantation de l'appareillage, ce qui permet un repérage rapide des composants, et la validation des choix établis.

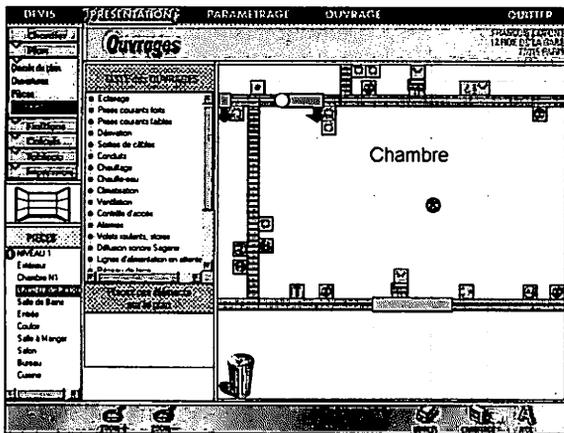


Fig. 1 : En sélectionnant le menu présentation, on visualise l'implantation de toutes les fonctions pièce par pièce.

Ce menu permet de modifier et d'actualiser en fonction des besoins du client.

2. Paramétrage

Le logiciel permet de s'adapter aux réalités d'un chantier :

- travail en rénovation ou travaux neufs ;
 - locaux à usage tertiaire ou habitat ;
 - installation en apparent ou en saillie ;
 - nature des murs : béton, brique, cloisons préfabriquées...
- Conception d'ouvrage spécifique et évaluation des petites fournitures (câble, gaine).

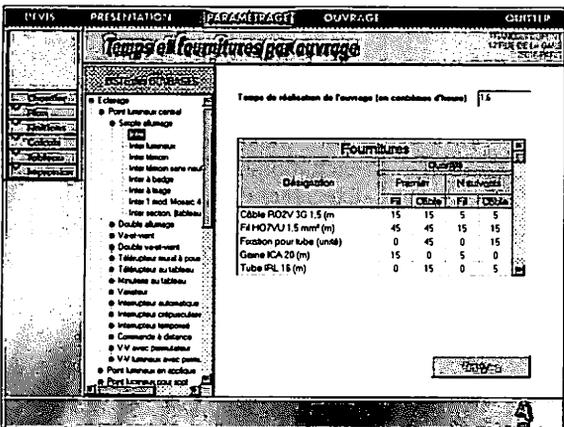


Fig. 2 : Le logiciel est établi avec les temps de travail et les fournitures par ouvrage ; il se réfère à une base de données de 1 500 ouvrages présentés avec leurs tarifs et temps de pose personnalisables.

3. Ouvrage

Avec le temps de réalisation de l'ouvrage et les références de l'appareillage utilisé (appareillage et canalisations). Les prix de revient sont établis à partir de la base de référence, dans laquelle tous les ouvrages sont présentés avec leur tarif et leur temps de pose.

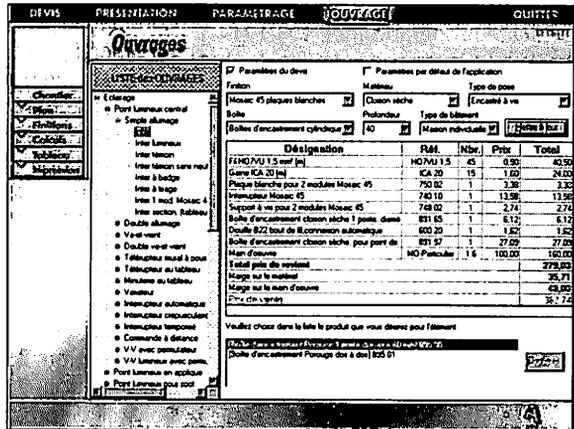


Fig. 3 : L'ouvrage permet de connaître la composition complète (main-d'œuvre et matériel), les marges correspondantes selon le paramétrage établi.

4. Devis

Ce logiciel permet également de terminer le devis avec plus de 500 matériels complémentaires (câbles, convecteurs, spots, etc.). Ces matériels sont pré-renseignés, il suffit de rajouter la marque.

Il est possible d'imprimer, en plus du devis, la liste du matériel, les fiches de chantier pièce par pièce avec le temps de pose, le plan et la liste de matériel.

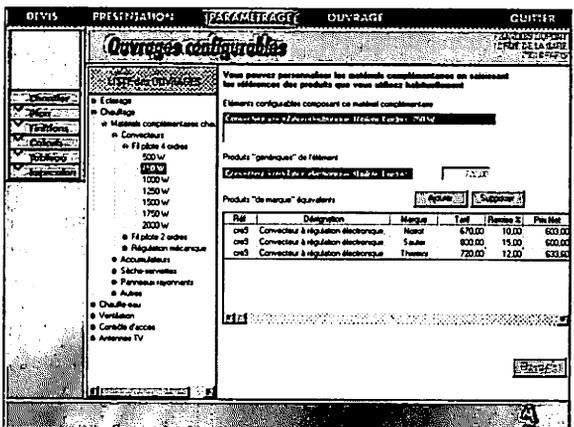


Fig. 4 : Les matériels complémentaires, convecteurs, spots, sont pré-renseignés. Il suffit de rajouter les marques habituelles.

Index alphabétique

A

Actigramme, 202
Actionneur, 251
Actions (PID), 252-253
Additionneur, 184-185-190
Adressage, 214
Aérienne (canalisation), 66-67
Afficheurs, 182
Alternance (simple, double), 143-144
Alternateur, 82
Amplificateur opérationnel, 193-194-199
Amplificateur, 192-251
Analogique (appareil), 48
Analogique (fonction), 192 à 196
Analyse fonctionnelle, 220-234-235
Appareillage (commande), 46 à 48
Appareils (mesure, contrôle), 48-49-264
Approches (fonctionnelle, temporelle, structurelle), 201
Arc (coupure), 47
Armement des supports, 67
Armoires d'énergie, 119
Artère (coupure), 14
ASI (alimentation sans interruption), 114
Asservissement, 250 à 254
Asynchrone (moteur), 78 à 81
Attestation (consignation), 268
Automate programmable, 204-205-209 à 213-238
Automatismes (gestion des), 201 à 206
Autorisation de travail, 268
Autosynchrone (moteur), 103

B

Balais (calage), 102
Balisage (éclairage de), 110-113
Bascules (JK), 174-175
Bascules (RS et D), 166-167
Binaire (comptage), 175-176
Bipolaires (transistors), 141
Bits (étape, système), 227
Bleu (tarif), 120-121
Blocs autonomes, 118
Boucle (défaut), 38
Brushless (moteur), 103

C

Câbles, 67-74
Calage des balais, 102
Canalisations, 66 à 71
Capteur (tension, courant), 17
Cartouches (fusibles), 64
Cause (effets), 272
Cellules (préfabriquées), 22
Chaîne (directe, inverse), 250
Champ tournant, 77

Chargé de consignation, 9
Chargé de travaux, 9
Choix d'une protection, 59
Chutes de tension, 69
Circuits intégrés (logique), 165-166
Classe d'isolation, 79
Classification (appareillage), 46
Clientèle (relation), 280
Codification (réseaux), 32
Commande (appareillage), 46 à 48
Commande, 270-280
Commerciaux (aspects), 278 à 280
Comparaison (fonction), 195-196
Comparateur, 185-190
Comparateur, 251
Compensation (cos ϕ), 50 à 52
Comptage (énergie), 17-50
Comptage binaire, 175 à 177
Comptage décimal, 177-178-181
Condamnation, 261
Conditionneur de réseau, 114
Conducteurs, 66
Consignation, 261, 268
Consignation, 9
Console de programmation, 205
Constituants électroniques, 131 à 135
Constitution (machines à courant continu), 99
Construction (moteur asynchrone), 78
Contact, 47
Contacts indirects, 70
Contrôlé (redressement), 145-146
Contrôleur (d'isolement), 41
Convertisseurs (courant alternatif), 153 à 156
Convertisseurs (courant continu), 142 à 147
Coordination (protection), 60
Correcteur, 251
Correction (facteur de), 57
Corrective (maintenance), 271
Cos ϕ (mesure), 49
Couplage, 16-25-26-100
Couple, 79
Coupure (alimentation sans), 114
Coupure (arc), 47-48
Coupure d'artère, 14
Coupure, 16
Courant admissible, 67
Courant continu (machines), 98
Courant d'emploi, 56-69
Courant de court-circuit, 71
Courbes (B, C, D), 59
Coûts (calculs), 278

D

Décibel, 193
Décimal (comptage), 177-178

Décodeur (DCB), 181-182
Défaut (boucle de), 38
Défaut (recherche), 273
Délestage, 123-124-128-129
Démarrage direct, 88-89
Démarrage étoile triangle, 89-90-97
Démarrage moteur (courant continu), 106
Démarrage par gradateur, 91-156-160-161-163
Démarrage rotorique, 91
Démarrage statorique, 90
Démarrageurs (symboles), 96
Démultiplexeur, 186-191
Dépannage, 271-272-275
Dérivation (simple, double), 14
Dérivée (action), 253
Devis, 278
Diodes (puissance), 131-132-138
Disjoncteurs, 58-59-65
Dispositif (de protection), 39
Distances de sécurité, 264
Distribution (réseau, postes), 12 à 17
Distribution, 13
Documents de maintenance, 274
Domaine de tension, 261

E

Échauffement, 79
Éclairage (sécurité), 110 à 114-117
Éclairage, 56
EJP, 121
Électricien (exécutant), 9
Électrique (fonction), 78
Électroniques (constituants), 131 à 135
Élévation (travaux en), 264
Emploi (courant d'), 56-57
Entrées, 205
Équipement (définition), 8
Équipement électrique, 223-238 à 241-248-249
Équipement sécurité, 262-263
Étape, 202
Étoile (couplage), 25
Étoile triangle (démarrage), 90-97
Excitation (série, parallèle), 100
Exécutant électricien, 9
Exploitation (procédure d'), 16
Extension (facteur d'), 57

F

Facteur de puissance, 50 à 52
Facteurs de correction, 57
Fonctions logiques, 164 à 173
Fonctions numériques, 183 à 187
Freinage des moteurs, 93
Fusibles, 57-58-64



G

Gain, 193
 Gants, 263
 Génération de signaux, 196-200
 Gestion d'énergie, 120 à 125-130
 Gradateur (démarrage par), 91
 Gradateur (principe), 153-156
 Graëtz (pont de), 144-145
 GRAFCET, 202-203-220-221-235-236-246-247
 Groupes (protection des), 110

H

Habilitation, 6 à 10
 Hacheurs, 147
 Heures creuses, 122 à 123
 Historique, 275
 Horaire (indice), 25

I

Identification, 261
 Immergé (transformateur), 26-31
 Indice (horaire), 25
 Installations (définition), 8
 Intégrale (action), 252
 Intégrés (circuits), 166
 Intérieur (poste), 15
 Interruption (alimentation sans), 114
 Interventions (définition), 8-261-262
 Inverseur (amplificateur), 195
 Inverseur de sources, 109
 Isolation (classe), 79
 Isolé (neutre IT), 33-40-41
 Isolement (CPI), 41
 Isolement (résistance), 49
 Isolement, 32-47-102

J

Jaune (tarif), 121
 Justification (régimes de neutre), 35

L

Lampes baladeuses, 263
 Langage (automate), 206
 Langage GRAFCET, 225 à 229
 Langage liste, 212 à 215
 Linéaire (structure), 203
 Livraison (poste), 14
 Livraison (réception), 280
 Localisation (défaut), 262-273
 Locaux (électriciens), 8
 Logiciel (TSX 17), 232 - 233
 Logiciel de chiffage, 279-285
 Logique (fonctions), 164 à 173
 Logique (opérateur), 170 à 173
 Lunettes, 263

M

Machine à courant continu, 98 à 102-106-107
 Machines électriques (courant alternatif), 77 à 82

Machines portatives, 263
 Maintenance (installations), 259 à 264
 Maintenance de l'équipement, 243-269 à 274
 Maître-esclave (bascule), 174-175
 Manoeuvres (définitions), 8
 Manutention, 264
 Matériel (éclairage sécurité), 112
 Mémoire, 187
 Mesure, 259
 Mesures (U, I, P, N), 101-102
 Méthodes (maintenance), 269
 Micro-automate, 218
 Microprocesseur, 205
 Mise au neutre (TN), 32-33
 Montages redresseurs, 150
 Moteur à deux vitesses, 92
 Moteur asynchrone (monophasé), 81-86-87
 Moteur autosynchrone, 103
 Moteur pas à pas, 102-103-108
 Moteur synchrone, 82
 Moteur, 56
 Multiplexeur, 186-187-191

N

Neutre (mise au) (TN), 38 à 40
 Neutre à la terre (TT), 33-34
 Normal-secours (réseaux), 109 à 114
 Numérique (appareil), 48
 Numérique (fonctions), 183 à 187
 Numérique (visualisation), 178

O

Onduleurs, 154
 Opérateurs logiques, 170 à 173
 Opération (définition), 8
 Opérationnel (amplificateur), 192-193
 Ordinateur (programmation assistée par), 242 à 244
 Organismes (agrés), 259

P

Pas à pas (moteurs), 102-103
 Plaque signalétique, 26-79
 Portatives (machines), 263
 Pose (règles de), 67
 Poste de travail, 264
 Postérieur (traitement), 228
 Postes de distribution, 12 à 17-21
 Postes de livraison, 14
 Poteau (poste sur), 15
 Poteaux, 67
 Pouvoir de coupure, 48-70
 Précision, 253
 Préfabriqué (poste), 15-22
 Préfabriquées (canalisations), 68-75-76
 Préliminaire (traitement), 228
 Prévention des risques, 7

Préventive (maintenance), 270
 Prix standard, 278-283-284
 Procédures (consignation), 261
 Procédures d'exploitation, 16
 Production, 12
 Programmation automates, 206-214-215-237
 Programmation temporelle, 125
 Programmée (logique), 204
 Proportionnelle (action), 252
 Protection (installations), 55 à 60-63
 Protection (par disjoncteur), 39-45
 Protection (par fusible), 39-44
 Protection (transformateur), 26
 Protection individuelle, 262-263
 Puissance, 49-101

R

Radial (réseau), 14
 Rapidité, 253
 Redresseurs, 142 à 145-150
 Régimes de neutre, 32 à 35
 Registres, 183-184-190
 Régulateur, 257-258
 Régulation, 250 à 254
 Relations (clientèle), 280
 Relestage, 123
 Remplacement, 262
 Réparation, 271
 Réseau (distribution), 12 à 17
 Réseau d'énergie, 109
 Réseau de contacts, 226
 Réseaux (normal-secours), 109 à 114
 Réseaux (types), 32
 Résistance (isolement), 49-80
 Résistance de terre, 49-50
 Risque électrique, 6
 Rotorique (démarrage), 91

S

SADT, 201-202
 Saut d'étape, 203
 Sec (transformateurs), 26 à 30
 Secours (réseau normal-), 109 à 114
 Section conducteur, 63-68 à 71
 Sécurité (éclairage de), 110 à 114
 Sécurité, 6 à 10
 Sélectivité (protection), 60
 Séparation, 261
 Séquences, 203-228
 Séquentiel (traitement), 228
 Signalétique (plaque), 26
 Signaux (génération de), 196-200
 Simultanément (facteur de), 57
 Sorties, 205
 Sources (inverseur), 109-110
 Souterraine (canalisation), 67
 Stabilité, 253
 Standard (prix), 278
 Statorique (démarrage), 90
 Surcharges (protection), 55-69
 Symboles (démarrateurs), 96
 Symboles (distribution), 20

Symboles (habilitation), 9
Symboles (machines tournantes), 85
Symboles (PL7-2), 227
Symboles (transformateur), 29
Synchrone (moteur), 82
Systématique, 270

T

Tâche, 267
Tarification (électricité), 120-121
Télécommande (éclairage de sécurité), 113
Tempo, 121
Temporelle (programmation), 125
Temporisation (programme), 226
Tension (chute de), 69

Terre (neutre à la), 33-34
Thyristors, 132-133-134-139
TN (mise au neutre), 38 à 40
Torsadés (câbles), 66
Traitement (séquentiel), 228
Transformateur, 23 à 26-29 à 31
Transistors de puissance, 135-141
Transition, 202
Transmetteur, 251
Transport, 12
Travaux (chargé de), 9
Travaux, 260-261
Très basse tension (TBT), 274
Triacs, 134-140
Triangle (couplage), 25
Triphasé (redressement), 146
TT (neutre à la terre), 49-50

U

Usage (fonction d'), 202
UTE (18-510), 7
Utilisation (facteur d'), 57

V

Variateurs de vitesse, 151-152-155-159-162
Vérificateur (VAT), 263
Vérifications, 259-261
Verrouillage, 16
Vert (tarif), 121
Visualisation (numérique), 178

Z

Zig-zag (couplage), 25



Cet ouvrage est conforme au programme de Terminale du BEP électrotechnique.

Il a pour objectif de développer chez l'élève une démarche scientifique et technologique par :

- un cours clair et bien structuré, dans lequel les connaissances essentielles sont mises en évidence ;
- une illustration abondante, complétée par des fiches schémas ;
- des fiches de documents constructeurs, mettant l'élève en contact direct avec la vie professionnelle et les nouveaux matériels ;
- des exercices de type Vrai/Faux, des exercices résolus et des exercices à résoudre exploitant les documents constructeurs.


NATHAN

