

## Objectif

Montrer que la cascade TNC et TNS obéit à des règles afin d'assurer la bonne protection des personnes.

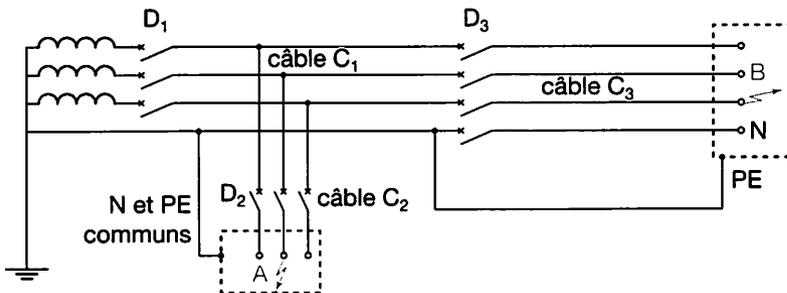
## Loi fondamentale

Le schéma TNC est obligatoirement en amont du schéma TNS.

Le schéma TNS est obligatoire si la section est inférieure à  $10 \text{ mm}^2$  en cuivre et  $16 \text{ mm}^2$  en aluminium, ou pour des câbles souples.

Le conducteur de protection ne doit jamais être coupé.

## Schéma



## Calculs et résultats

Supposons une distribution équipée d'un transformateur de 100 kVA, d'intensité nominale de 145 A ; le transformateur a une résistance par phase de  $34 \text{ m}\Omega$  et une réactance  $54 \text{ m}\Omega$ .

Le câble  $C_1$  a une section de  $50 \text{ mm}^2$  en aluminium et une longueur de 40 m ; le câble  $C_2$  a une section de  $25 \text{ mm}^2$  cuivre et une longueur de 20m ; le câble  $C_3$  a une section de  $6 \text{ mm}^2$  cuivre et une longueur de 85m.

Les disjoncteurs ont pour caractéristiques :

$D_1$  3 pôles 160 A courbe C (plage de 800 à 1600 A) ;

$D_2$  3 pôles 100 A courbe C (plage de 500 à 1000 A) ;

$D_3$  4 pôles 50 A courbe C (plage de 250 à 500 A).

Vérifions qu'un court circuit entre phase et neutre provoque le déclenchement du disjoncteur situé en amont et donc protège correctement les personnes (le réseau amont sera négligé).

Élément	L (en m)	R (en mΩ)	X en (mΩ)
Transformateur		34	54
Câble 1	40	47,0	9,6
Câble 2	20	30,4	4,8
Câble 3	133	842,4	31,92
au point A		111,4	68,4
au point B		923,5	95,52
Impédance au point A			131 mΩ
Impédance au point B			928 mΩ

L'intensité de court circuit est donc :

Au point A : 
$$I_{cca} = \frac{V}{Z} = 1763 \text{ A.}$$

Au point B : 
$$I_{ccb} = \frac{V}{Z} = 249 \text{ A.}$$

### Commentaires et conseils

Nous constatons que le disjoncteur  $D_3$  ne déclenche pas sur ce court-circuit, les personnes ne sont pas protégées (le seuil de 250 A n'est pas atteint).

Solutions proposées

**Changer le disjoncteur et adopter une courbe B** spécialement adaptée aux lignes longues (plage de 150 à 250 A).

Nous sommes certains que le déclenchement, donc la coupure automatique, aura bien lieu avec une courbe B.

**Changer la section du câble**, prendre par exemple  $16 \text{ mm}^2$ , ce qui va dans le bon sens de la limitation de la chute de tension.

Le courant de court-circuit devient 565 A, donc la protection des personnes est assurée par coupure automatique.

Le choix économique conduira à l'adoption de l'une ou l'autre des deux solutions.

### Exercice pour s'entraîner

Supposons que le câble  $C_1$  ait une longueur de 80 m, car on envisage de déplacer le coffret qui contient les disjoncteurs  $D_2$  et  $D_3$ .

Vérifier si un court circuit au point C provoque le déclenchement de  $D_1$ .

**Réponses possibles :**

Impédance :  $Z_c = 147,5 \text{ m}\Omega$  ;  $I_{cc} = 1565 \text{ A}$ .

La protection des personnes est correctement assurée mais nous sommes à la limite de la longueur de câble admissible.

## Objectif

Déterminer la longueur de la ligne ou choisir sa section afin d'assurer correctement la protection des personnes par déclenchement automatique.

## Loi fondamentale

La norme C 15 100 définit des temps de coupure en valeur maximale selon la tension de contact.

Tension de contact présumée en volts	Temps de coupure en s	
	locaux secs $U_l = 50 \text{ V}$	locaux mouillés $U_l = 25 \text{ V}$
25	5	5
50	5	0,48
75	0,6	0,3
80	0,45	0,25
110		0,18
120	0,34	
150	0,27	0,12
220	0,17	
230		0,06
280	0,12	0,02

Les dispositifs de protection doivent donc couper dans la limite du temps énoncé dans le tableau ci-dessus afin de protéger l'utilisateur.

La longueur maximale de la ligne se calcule ainsi :

$$L_{\max} = \frac{0,8 \times V \times S_{\text{ph}}}{\rho(1 + m) \times I_{\text{magn}}}$$

avec :

$L_{\max}$  en mètres ;

$V = 231 \text{ V}$ , tension simple en charge sur un réseau 237/410 V ;

$S_{\text{ph}}$  section du conducteur de phase en  $\text{mm}^2$  ;

$\rho = 22,5 \cdot 10^{-3} \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$  pour un câble en cuivre ;

$m = \frac{S_{\text{ph}}}{S_{\text{pe}}}$  (les sections  $S_{\text{ph}}$  et  $S_{\text{pe}}$  peuvent être différentes) ;

$I_{\text{magn}}$  seuil de déclenchement du déclencheur magnétique du disjoncteur.

## Calculs et résultats

Supposons une distribution constituée d'un câble en cuivre de 10 mm<sup>2</sup> de section et de longueur 95 m protégée par un disjoncteur 40 A courbe B. On admettra que la section de phase est identique à celle du conducteur de protection.

*L'utilisateur est-il correctement protégé ?*

$$L_{\max} = \frac{0,8 \times 231 \times 10}{22,5 \cdot 10^{-3} \times (1 + 1) \times 200} = 205 \text{ m.}$$

Les tableaux du constructeur indiquent une valeur proche 204 m.

**Conclusion : l'utilisateur est bien protégé.**

Tableau fourni par le constructeur

$S_{ph}$ en mm <sup>2</sup>		Calibre du disjoncteur en A, courbe B					
		10	16	20	25	32	40
1,5	123	77	61	49	38	31	25
2,5	204	128	102	82	64	51	41
4	327	204	164	131	102	82	65
6	491	307	245	196	153	123	98
10	818	511	409	327	256	204	164
16		818	654	523	409	327	262
25			1022	818	639	454	409

$S_{ph}$ en mm <sup>2</sup>		Calibre du disjoncteur en A, courbe C					
		10	16	20	25	32	40
1,5	61	38	31	25	19	15	12
2,5	102	64	51	41	32	26	20
4	64	102	82	65	51	41	33
6	245	153	123	98	77	61	49
10	409	256	204	164	128	102	82
16	654	409	327	262	204	164	131
25	1022	639	511	409	319	256	204

## Commentaires et conseils

Il convient de vérifier soigneusement si la longueur de la ligne est compatible avec celle donnée par le constructeur du disjoncteur.

## Exercices pour s'entraîner

*Vérifier si la protection est correcte dans le cas suivant.*

- Une ligne de 16 mm<sup>2</sup>, de longueur 132 m, protégée par un disjoncteur 40 A courbe C.

**Réponse possible :** protection correcte.

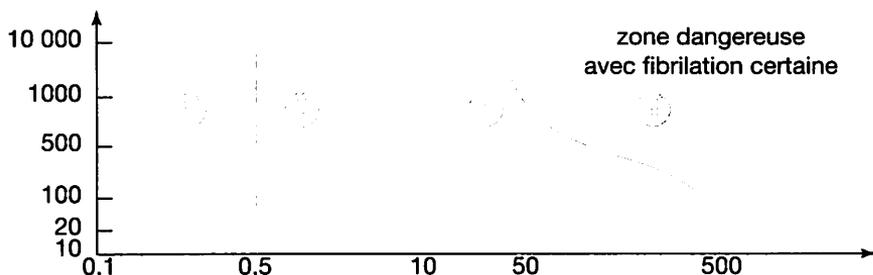
## Objectif

Étudier les effets possibles du courant sur le corps humain et définir les techniques de protection des personnes en préservant leur confort.

## Loi fondamentale

Le risque majeur du courant électrique réside dans l'action sur les deux grandes fonctions de l'organisme : La respiration et la circulation. Il ne faut pas négliger les risques de brûlure liés au passage du courant électrique dans l'organisme.

On définit une courbe  $t = f(i)$ , temps en fonction du courant probable, qui donne les caractéristiques des effets physiologiques du courant (selon la norme IEC 479-1).



Dans l'hypothèse d'un risque potentiel de passage du courant dans le corps humain, on définit également un temps de coupure maximal, coupure qui devra être effectuée par des appareils automatiques

Temps de coupure maximal du dispositif de protection

Tension de contact présumée en volts	$U_c = 50 \text{ V } t \text{ (s)}$	$U_c = 25 \text{ V } t \text{ (s)}$
25	5	5
50	5	0,48
75	0,60	0,30
90	0,45	0,25
110	-	0,18
150	0,27	0,12
220	0,17	-
230	-	0,05
280	0,12	0,02
350	0,08	-
500	0,04	-

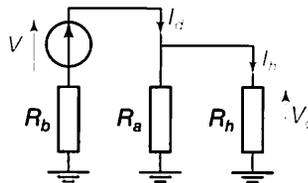
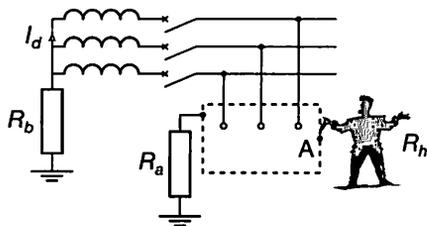
Tableau limité à quelques valeurs définies par la norme C 15 100.

Cette mise hors tension de l'installation, donc d'interruption de l'énergie, se fait différemment selon les schémas des liaisons à la terre (SLT)

Plus la tension de contact est élevée, plus rapide doit être l'élimination du défaut par une coupure automatique.

## Calculs et résultats,

Supposons une distribution telle qu'un contact accidentel se produise au point A.



Son modèle équivalent est :

$R_h$ , résistance du corps humain vaut 1 000  $\Omega$ .

$R_b = R_a = 5 \Omega$ .

L'association  $R_a$  en parallèle avec  $R_h$  vaut :

$$R_e = \frac{R_a \times R_h}{R_a + R_h}, \text{ donc : } 4,975 \Omega.$$

**Remarque :** dans beaucoup d'applications la valeur de  $R_a$  restera représentative de l'association  $R_h + R_a$  en parallèle.

Valeur du courant de défaut :

$$I_d = \frac{V}{R_a + R_b} = \frac{230}{10} = 23 \text{ A.}$$

Valeur de la tension de contact :

$$U_c = R_a \times I_d = 5 \times 23 = 115 \text{ V.}$$

Le temps de coupure dans les locaux secs ( $U_c = 25 \text{ V}$ ) doit être inférieur à 180 ms ou encore 9 périodes.

Le courant dans le corps humain est donc  $I_h = \frac{U_c}{R_h} = 115 \text{ mA}$  ce qui représente un risque important.

## Commentaires et conseils

Afin d'effectuer correctement le calcul de la tension de contact, il convient de bien définir le modèle équivalent en précisant tous les éléments.

Les courants de défaut peuvent être très élevés, ce qui milite pour la coupure rapide du circuit (élimination du risque d'incendie).

### Objectif

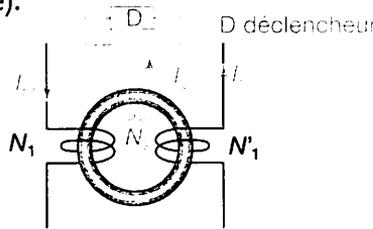
Étudier la technologie des dispositifs différentiels et justifier leurs utilisations.

### Loi fondamentale

Nous avons vu que la tension de contact définissait un temps de coupure du circuit, donc il est nécessaire de détecter le courant de défaut.

En fonctionnement normal le courant dans le fil de phase est égal au courant dans le fil de neutre (en monophasé).

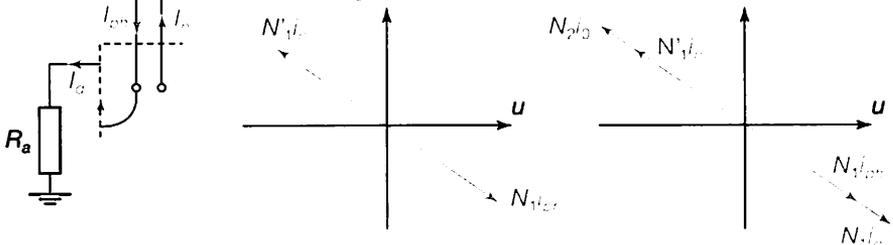
Tore différentiel



Nous pouvons écrire que : 
$$\vec{N}_1 \vec{I}_{ph} + \vec{N}'_1 \vec{I}_n = \vec{N}_2 \vec{I}_0$$

Ou encore : 
$$\vec{N}_1 \vec{I}_{ph} = -\vec{N}'_1 \vec{I}_n \text{ si } \vec{N}_2 \vec{I}_0 = 0 \text{ (pas de défaut).}$$

S'il apparaît un défaut, le courant  $I_0$  entraîne :



### Calculs et résultats

En pratique il existe deux appareils munis d'un système de déclenchement :

**Le disjoncteur différentiel**



**L'interrupteur différentiel**



Par rapport au disjoncteur différentiel, l'interrupteur se caractérise par un pouvoir de coupure limité (environ 1 500 A) sa sensibilité différentielle peut être identique à celle d'un disjoncteur.

## Calibres des dispositifs différentiels

10 mA	30 mA	100 mA	300 mA	500 mA	1 A	3 A
-------	-------	--------	--------	--------	-----	-----

Les appareils à coupure automatique fonctionnent à partir de  $\frac{\Delta I_d}{2}$ , c'est-à-dire qu'un interrupteur différentiel de calibre 30 mA réagira à partir de 15 mA. De construction, la plage de fonctionnement est située dans l'intervalle :

$$\frac{I\Delta n}{2} < I_d < I\Delta n.$$

## Commentaires et conseils

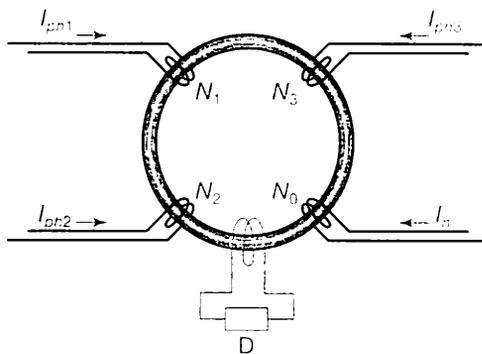
EDF pose des disjoncteurs d'abonné muni d'un dispositif différentiel de 500 mA, en tête de l'installation, ce disjoncteur est censé résister à la somme des courants de fuite partiels générés par les équipements.

En principe :

- le calibre 10 mA est réservé aux chantiers, aux installations provisoires là où il est difficile de garantir l'utilisateur ;
- le calibre 30 mA s'installe dans les locaux humides, cuisines, salles de bains, là où l'utilisateur risque d'avoir les pieds et les mains dans l'eau ou sur un sol humide.

En triphasé, le tore doit détecter le même courant de défaut, mais le courant différentiel doit être détecté parmi trois courants de phase et un de neutre.

Certains appareils possèdent des tores intégrés, d'autres fonctionnent avec des tores séparés.



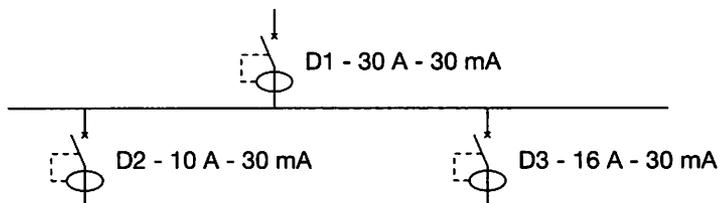
$$\vec{N}_1 \vec{I}_{ph1} + \vec{N}_2 \vec{I}_{ph2} + \vec{N}_3 \vec{I}_{ph3} + \vec{N}_0 \vec{I}_n = \vec{0} ; \text{ sans défaut } I_d = 0.$$

## Objectif

On se propose d'étudier la protection des personnes à l'aide de dispositifs différentiels, en conservant une distribution de l'énergie confortable en cas de fuite à la terre.

## Loi fondamentale

Supposons une installation ainsi constituée :



Dans l'hypothèse où D1, D2, D3 possèdent le même calibre différentiel (par exemple 30 mA), deux des trois disjoncteurs s'ouvrent pour le même courant de défaut.

L'installation complète est privée d'énergie, l'utilisateur est donc privé de certaines fonctions, par exemple l'éclairage, ce qui est pénalisant.

Les constructeurs ont créé des disjoncteurs sélectifs (type S) c'est-à-dire retardés par rapport au disjoncteur aval.

Le retard de l'appareil amont doit être supérieur au temps d'ouverture de l'appareil aval.

## Propositions des constructeurs

Blocs additionnels conformes à la norme NFC 61 440

<b>Bipolaires 230/400 V</b>	<b>Intensité maximale</b>	<b>Nombre de modules de 17,5 mm</b>
30 mA	32 et 63 A	2
300 mA	32 et 63 A	2
300 mA sélectifs	63 A	2
1 A sélectif	63 A	2
<b>Tétrapolaires 400 V</b>	<b>Intensité maximale</b>	<b>Nombre de modules de 17,5 mm</b>
30 mA	32 et 63 A	3
300 mA	32 et 63 A	3
300 mA sélectifs	63 A	3
1 A sélectif	63 A	3

Disjoncteurs magnéto thermiques pouvoir de coupure 10 000 A

Bipolaires 400 V	Intensité	Nombre de modules de 17,5 mm
Courbe B	6 ; 10 ; 16 ; 20 ; 25 ; 32 ; 40	2
Courbe C	2 ; 6 ; 10 ; 16 ; 20 ; 25 ; 32 ; 40	2
<b>Tétrapolaires 400 V</b>		
Courbes B ou C	6 ; 10 ; 16 ; 20 ; 25 ; 32 ; 40 ; 50	4

## Calculs et résultats

Supposons qu'une installation domestique soit constituée de :

- trois circuits d'éclairage ;
- une machine à laver de 2 300 W isolée à 20 k $\Omega$  par volt située dans la salle de bains ;
- un four de 1 500 W isolé à 20 k $\Omega$  par volt situé dans la cuisine ;
- 12 prises de courant (aspirateur, fer à repasser...) ;
- un réfrigérateur, un congélateur.

Déterminer le schéma à adopter et le calibre des appareils.

Machine à laver intensité :  $I = 10$  A.

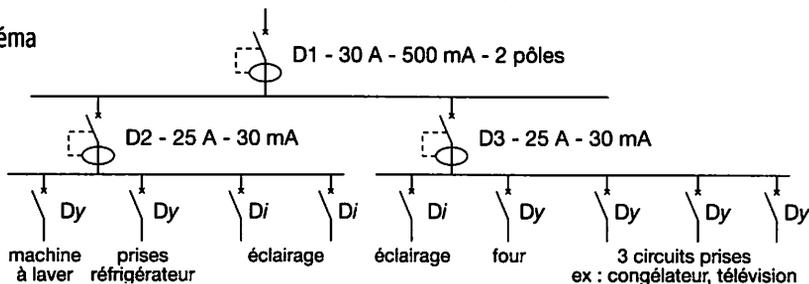
Four intensité :  $I = 6,5$  A

Courant de fuite sur MAL ou four :

$$I_d = \frac{230}{20\ 000} = 11,5 \text{ mA.}$$

**Conclusion** : ces deux appareils ne peuvent pas être situés sur le même circuit car nous dépassons le seuil de déclenchement possible 23 mA pour 15 mA.

Schéma



## Commentaires et conseils

Une nomenclature doit indiquer les caractéristiques précises des matériels :

D1 disjoncteur EDF de tête	30 A bipolaire 500 mA	Nombre 1
D2 interrupteur différentiel 30 mA	25 A bipolaire	Nombre 1 *
D3 interrupteur différentiel 30 mA	25 A bipolaire	Nombre 1 *
Di disjoncteurs magnéto thermiques	10 A bipolaires	Nombre 2
Dy disjoncteurs magnéto thermiques	16 A bipolaires	Nombre 6

\* ou disjoncteur muni d'un bloc différentiel, selon le choix technico-économique fait par le client.

## Exercices pour s'entraîner sur les fiches 31, 32 et 33

31

*Pour résoudre ces exercices il est conseillé de consulter la fiche 31*

### Exercice 311

On estime maintenant que la résistance du neutre  $R_b$  a varié et qu'elle vaut  $15 \Omega$ . Déterminer la nouvelle valeur de la tension de contact ainsi que le temps de coupure défini par la norme.

#### Réponses possibles :

Courant de défaut :  $I_d = 11,5 \text{ A}$ .

Tension de contact :  $U_c = 5 \times 11,5 = 57,5 \text{ V}$ .

Temps de coupure 480 ms en local sec et 5 secondes en local mouillé.

Courant dans le corps humain :  $I_h = 57,5 \text{ mA}$ .

### Exercice 312

On estime maintenant que  $R_o = 20 \Omega$  et  $R_b = 10 \Omega$ .  $R_h$  reste inchangée à  $1\,000 \Omega$  déterminer la nouvelle tension de contact.

#### Réponses possibles :

$I_d = 7,67 \text{ A}$  ;  $U_c = 153 \text{ V}$  ;  $t = 0,12 \text{ s}$  et  $0,27$  secondes.

**On remarque qu'il est important de surveiller la résistance  $R_o$ , donc les masses métalliques que l'utilisateur peut toucher.**

32

*Pour résoudre ces exercices il est conseillé de consulter la fiche 32.*

### Exercice 321

Sur un chantier la prise des masses est incertaine, du fait de la nature du chantier.

Un utilisateur de  $R_h = 1\,000 \Omega$  peut donc toucher une masse métallique dangereuse.

La prise de terre du neutre a une résistance de  $10 \Omega$ . La distribution est en monophasé.

*Donner le calibre du disjoncteur différentiel à utiliser.*

*Déterminer la résistance maximale de la prise des masses.*

#### Réponses possibles :

Calibre  $10 \text{ mA}$  ;  $R_o = 1,2 \Omega$  ;  $I_d = 20,8 \text{ A}$  ;  $I_h = 20,8 \text{ mA}$ .

**L'utilisateur est correctement protégé le circuit s'ouvre avant  $10 \text{ mA}$ .**

### Exercice 322

Supposons que  $R_b = 10 \Omega$  et que  $R_o = 12 \Omega$ . *Quelle serait la situation de l'utilisateur ?*

#### Réponses possibles :

Courant de défaut :  $I_d = 10,5 \text{ A}$ .

Tension de contact :  $U_c = R_o \times I_d = 126 \text{ V}$ .

Courant dans le corps humain :  $I_h = 126 \text{ mA}$ .

**La tension de contact est dangereuse, la norme exige la coupure en moins de  $180 \text{ ms}$ .**

Un dispositif différentiel permettra de couper dès  $5$  à  $10 \text{ mA}$  puisque c'est un chantier.

Pour résoudre ces exercices il est conseillé de consulter la fiche 33.

33

### Exercice 331

Le client demande d'ajouter deux prises commandées par un interrupteur dans des chambres.

*Indiquer les modifications à opérer.*

#### Réponses possibles :

Ajouter sur les circuits « éclairage » existants ou ajouter un circuit.

La normalisation limite à 8 le nombre de points à raccorder par circuit.

Toutefois pour des raisons de confort, il est souvent recommandé un nombre inférieur de récepteurs sur chaque circuit.

### Exercice 332

Le client désire installer une prise de courant dehors, sur la terrasse, pour un barbecue électrique de puissance 1 800 W.

*Indiquer les modifications à opérer.*

#### Réponses possibles :

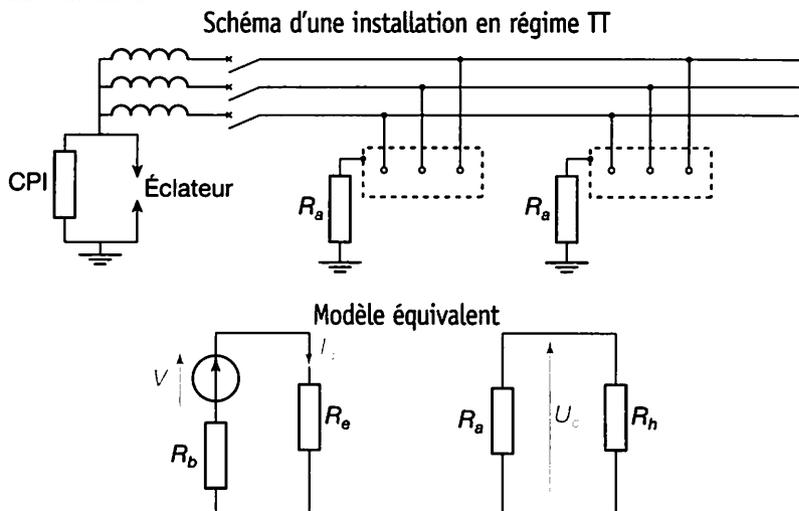
Créer un circuit supplémentaire 16 A avec disjoncteur et bloc différentiel, car l'installation extérieure apporte un risque accru de mauvais isolement.

La création d'un circuit spécifique aux récepteurs situés à l'extérieur, donc en milieu humide, à risques, permet de conserver en état les circuits situés à l'intérieur (éclairage, par exemple, ce qui est un gage de sécurité).

### Objectif

Montrer que la résistance d'une prise de terre a une influence sur la tension de contact et sur la protection des personnes.

### Loi fondamentale



$R_e$  résistance équivalente à  $R_a$  et  $R_h$  en parallèle :

$$R_e = \frac{R_a \times R_h}{R_a + R_h} ; I_d = \frac{V}{R_b + R_e} ;$$

$$U_c = R_e \times I_d \text{ ou encore } U_c = R_e \times \frac{V}{R_b + R_e} .$$

Donc la tension de contact  $U_c$  est directement proportionnelle à  $R_e$  dans laquelle  $R_a$  représente l'élément principal.

### Calculs et résultats

Supposons une valeur de  $R_b = 100 \Omega$  et  $R_a = 15 \Omega$ , la résistance du corps humain restant égale à  $2000 \Omega$ .

Que se passe-t-il si la résistance  $R_a$  change de valeur et devient égale à  $50 \Omega$  ?

Valeur de  $R_e$  :  $R_e = 14,9 \Omega$  avec  $R_o = 15 \Omega$ .

Tension de contact :  $U_c = 29,8 \text{ V}$ .

Dans un local sec, cette tension de contact reste inférieure à 50 V, donc l'utilisateur est protégé.

Nouvelle valeur de  $R_e$  :  $R_e = 48,8 \Omega$  avec  $R_o = 50 \Omega$ .

Nouvelle tension de contact :  $U_c = 75,4 \text{ V}$ .

**L'utilisateur est donc soumis à une tension dangereuse supérieure à 50 V.**

## Commentaires et conseils

La valeur de la prise de terre des masses doit être la plus stable possible, elle doit être surveillée pour garantir la sécurité de l'utilisateur.

## Modes de réalisation des prises de terre

On peut réaliser une prise de terre selon les technologies suivantes :

Boucle à fond de fouille  $R = \frac{2\rho}{L}$

Un conducteur de 25 mm<sup>2</sup> cuivre ou 35 mm<sup>2</sup> aluminium est noyé dans le fond des fondations, cette opération ne peut se faire qu'à la construction, elle concerne donc les constructions neuves

Conducteur en tranchée  $R = \frac{\rho}{L}$

Un conducteur est enfoui dans une tranchée de 1 m au minimum et doit se situer à au moins 20 cm de toute canalisation (gaz, eau...).

Piquet de terre  $R = \frac{\rho}{L}$

Un piquet constitué d'un tube, d'un profilé, d'au moins 2 m est enfoncé dans le sol

Plaque verticale  $R = \frac{0,8\rho}{L}$

Une plaque verticale, généralement carrée, de 1 m de côté est enfouie dans le sol (plaque en cuivre : e = 2 mm, ou galvanisée : e = 3 mm).

Résistivité de certains terrains constructibles

	$\rho$ en $\Omega \cdot \text{m}$
<b>Terrains arables gras, remblais humides</b>	50
<b>Terrains maigres, graviers, remblais grossiers</b>	500
<b>Sols pierreux, sables secs, roches perméables</b>	3 000

La résistance d'une prise de terre se calcule par :

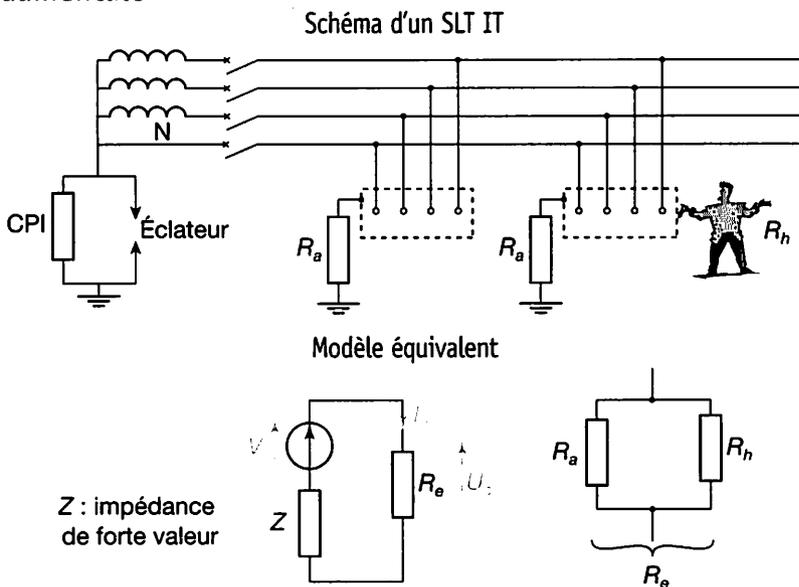
$$R = \frac{k\rho}{L}$$

avec :  $R$  en  $\Omega$ ,  $\rho$  en  $\Omega \cdot \text{m}$  et  $L$  en m.

### Objectif

Montrer que le premier défaut ne présente pas de tension de contact dangereuse pour l'utilisateur

### Loi fondamentale



### Calculs et résultats

Supposons que la résistance  $R_0$  soit égale à 10 k $\Omega$ , que la résistance  $R_a$  soit de 10  $\Omega$ , tandis que la résistance du corps humain est 1 000  $\Omega$ .

Évaluons la tension de contact.

Résistance équivalente :  $R_e = 9,9 \Omega$ .

Tension de contact :  $U_c = 0,23 \text{ V}$ .

**Conclusion :** lors d'un défaut, l'utilisateur perçoit une tension de contact très faible, le défaut ne fait que monter le potentiel du point A qui se trouve alors au voisinage du potentiel d'une phase.

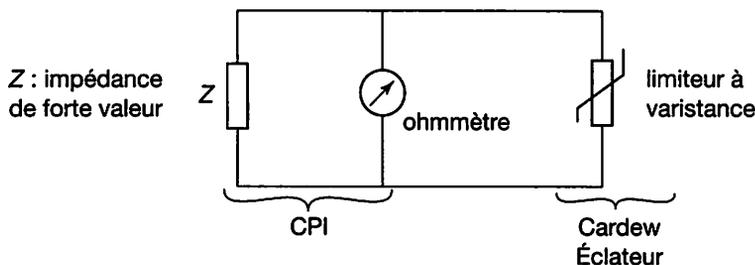
Ce défaut doit être signalé mais son élimination n'est pas obligatoire, toutefois le CPI contrôleur permanent d'isolement signale ce défaut par une alarme visuelle et une indication de la résistance d'isolement.

## Commentaires et conseils

À partir de cette signalisation, un personnel compétent doit rechercher la cause de cette anomalie et éliminer le circuit qui est à l'origine de ce dysfonctionnement.

## Limiteur de surtension Cardew et contrôleur permanent d'isolement

Schéma équivalent



### CPI

Le Contrôleur Permanent d'Isolement est un ohmmètre qui indique le degré d'isolation de l'installation et qui délivre des alarmes selon des seuils fixés

### Cardew

Le limiteur de surtension permet de protéger le contrôleur CPI, de garantir son bon fonctionnement et d'écouler à la terre les surtensions éventuelles se présentant sur l'installation.

Caractéristiques d'un limiteur de surtension Cardew

<b>Tension de non amorçage à 50 Hz</b>	< $1,6 U_n$
<b>Tension d'amorçage certain à 50 Hz</b>	> $2,5 U_n$
<b>Intensité maximale après amorçage</b>	40 kA/0,2 s
<b>Résistance d'isolement</b>	> à $10^{10} \Omega$

Conforme aux normes C 63 150 et C 15 100.

Caractéristiques d'un contrôleur permanent d'isolement CPI

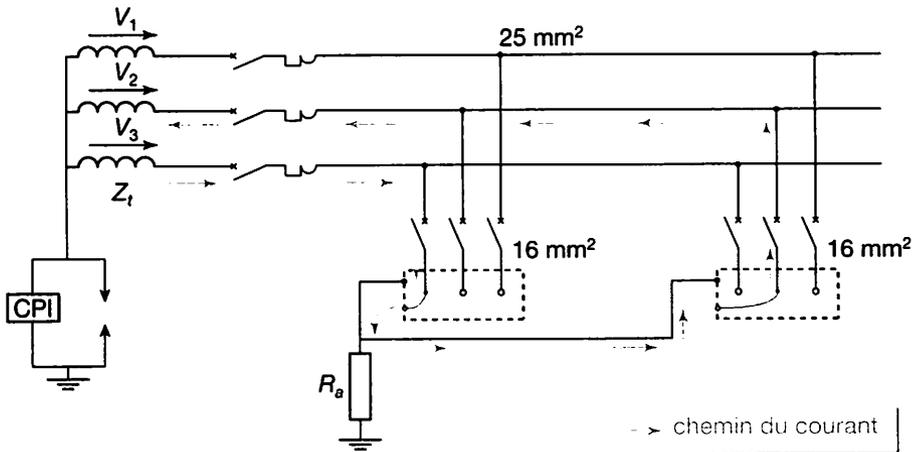
<b>Tension entre phases et neutre accessible</b>	< 760 V
<b>Fréquence</b>	20 à 1 000 Hz
<b>Ohmmètre</b>	0 à 500 kW
<b>Réglage du seuil</b>	0,7 à 100 kW
<b>Impédance 50 Hz</b>	100 kW
<b>Tenue diélectrique</b>	2 500 V

**Objectif**

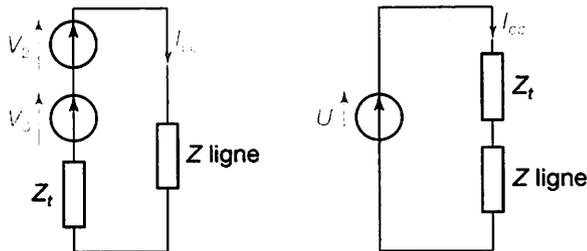
Montrer que lorsqu'un deuxième défaut se produit, on est ramené à un schéma TN avec les mêmes conséquences.

**Loi fondamentale**

Schéma IT avec deux défauts Phase Masse



Modèle équivalent



**Calculs et résultats**

Supposons que les câbles de 25 mm<sup>2</sup> aient une longueur de 50 m au total, que ceux de 16 mm<sup>2</sup> soient d'une longueur totale de 80 m et que les paramètres du transformateur soient  $R_t = 14,4 \text{ m}\Omega$  et  $X_t = 58,3 \text{ m}\Omega$ .

Le disjoncteur D1 a pour calibre 100 A courbe C.

Déterminer le courant de court circuit et donner le temps de déclenchement du dispositif.

Résistances :  $R_t = 14,4 \text{ m}\Omega$        $R_{c1} = 38 \text{ m}\Omega$        $R_{c2} = 95 \text{ m}\Omega$

Réactances :  $X_t = 58,3 \text{ m}\Omega$        $X_{c1} = 6 \text{ m}\Omega$        $X_{c2} = 9,6 \text{ m}\Omega$

Impédance totale :  $Z = 165 \text{ m}\Omega$ .

Courant de court-circuit :  $I_{cc} = 2\,425 \text{ A}$ .

**Conclusion** : la plage de fonctionnement du disjoncteur D1 étant de 500 à 1 000 A, nous sommes sûrs du déclenchement de D1, donc la protection est efficace ; toutefois, les utilisateurs sont privés d'énergie car le court-circuit persiste.

Supposons maintenant que les lignes soient de 150 m pour le 25 mm<sup>2</sup> et de 300 m pour le 16 mm<sup>2</sup>. La protection des personnes est-elle encore assurée ?

Résistances :  $R_t = 14,4 \text{ m}\Omega$        $R_{c1} = 114 \text{ m}\Omega$        $R_{c2} = 356 \text{ m}\Omega$

Réactances :  $X_t = 58,3 \text{ m}\Omega$        $X_{c1} = 18 \text{ m}\Omega$        $X_{c2} = 36 \text{ m}\Omega$

Impédance totale :  $Z = 499 \text{ m}\Omega$

Courant de court-circuit :  $I_{cc} = 802 \text{ A}$ .

Nous ne sommes pas sûrs du déclenchement de D1 (de 500 à 1 000 A), donc le court-circuit peut persister, en conséquence :

**il y a risque d'incendie dû aux courants élevés. Une tension de contact voisine de  $U/2$  peut se retrouver sur une masse métallique.**

## Commentaires et conseils

Un schéma de liaisons à la terre IT (neutre isolé) doit être entretenu par un personnel compétent.

Chaque défaut doit être recherché et éliminé.

La seule liberté réside dans le délai d'élimination du défaut, sa recherche doit être très rapide mais la réparation est possible en temps masqué.

C'est-à-dire que la mise hors tension des installations se fera à un moment privilégié de manière à ne pas pénaliser les utilisateurs (arrêt de production...).

**On dit que le SLT à neutre isolé IT procure une meilleure continuité de service car la réparation peut être différée légèrement.**

Les constructeurs publient des tableaux de longueur maximale des câbles.

Section de la phase en mm <sup>2</sup>	Calibre du disjoncteur courbe C en A						
	6	10	16	20	25	32	40
6	354 *	212	132	106	84	66	52
10	589	354	221	176	142	110	88
16		566	354	283	226	176	142
25		885	553	442	354	276	221

\* longueur des conducteurs en mètres, sections phase et neutre identiques.

Section de la phase en mm <sup>2</sup>	Calibre du disjoncteur courbe B en A						
	10	16	20	25	32	40	50
6	425	265	212	169	132	106	84
10	708	442	354	283	221	176	142
16		708	566	452	354	283	226
25			885	708	553	393	354
35					774	550	495
50					1106	885	708

## Exercices pour s'entraîner sur les fiches 34, 35 et 36

*Pour résoudre ces exercices il est conseillé de consulter la fiche 34.*

34

### Exercice 341

Nous allons déterminer la résistance d'une prise de terre dans un sol pierreux, d'une boucle de 30 m, d'un conducteur de 10 m, d'un piquet de 3 m.

Résistance obtenue :

- boucle à fond de fouille :  $R = 200 \Omega$  ;
- conducteur en tranchée :  $R = 300 \Omega$  ;
- piquet de terre :  $R = 1\,000 \Omega$ .

*Nous remarquons que le piquet n'est pas adapté à ce genre de terrain.*

### Exercice 342

Déterminer la longueur d'un conducteur en tranchée, dans un terrain maigre avec graviers, pour obtenir la résistance de  $15 \Omega$  citée ci-dessus.

**Réponse possible :**

Longueur minimale de conducteur nécessaire :  $L = 67 \text{ m}$ .

### Exercice 343

Même question mais dans un terrain arable gras.

**Réponse possible :**

$$L = 6,7 \text{ m}$$

Les plaques de cuivre (solution plus onéreuse) sont souvent utilisées lorsque l'on recherche une prise de terre de faible valeur ou lorsque la résistivité du sol est élevée.

*Pour résoudre ces exercices il est conseillé de consulter la fiche 35.*

35

### Exercice 351

En négligeant la résistance du corps humain, déterminer la tension de contact si la prise de terre est réalisée avec un piquet de 3 m dans un sol arable gras. L'impédance du CPI est égale à  $100 \text{ k}\Omega$ .

**Réponses possibles :**

$$R_o = 16,7 \Omega ; U_c = 38 \text{ mV}$$

*Donc l'utilisateur n'est pas soumis à une tension dangereuse.*

**Exercice 352**

Même question en supposant que cette prise de terre des masses évolue et soit égale à  $500 \Omega$ , car les caractéristiques du sol ont changé (prendre en compte la résistance du corps humain de  $2000 \Omega$ ).

**Réponses possibles :**

$$R_a = 500 \Omega ; R_e = 400 \Omega ; U_c = 0,9 \text{ V.}$$

*La tension de contact reste non dangereuse.*

36

*Pour résoudre ces exercices il est conseillé de consulter la fiche 36.*

**Exercice 361**

Une installation possédant un disjoncteur courbe B de calibre 50 A et des lignes de longueur 200 m en  $16 \text{ mm}^2$  est-elle protégée ?

**Réponse :** oui.

**Exercice 362**

1. Quelle est la longueur maximale du câble compatible avec un disjoncteur de 40 A courbe C et une section de  $10 \text{ mm}^2$  ?

2. Si la ligne fait 120 m, quelle est la solution ?

**Réponses :**

1. 88 m.

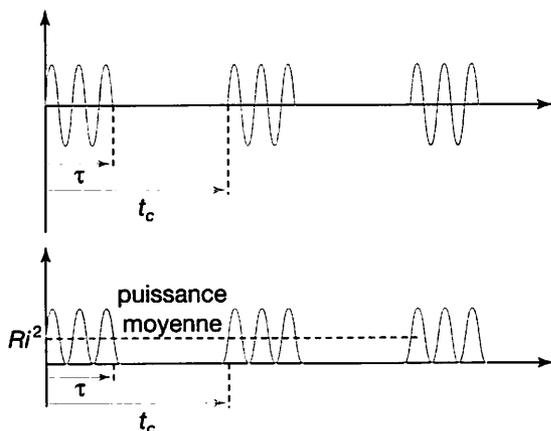
2. Changer la section pour  $16 \text{ mm}^2$ .

## Objectif

Montrer que certains dispositifs peuvent être pilotés par une modulation en trains d'ondes et obtenir des performances acceptables.

## Loi fondamentale

Allure du courant dans le système



Représentation de la puissance délivrée

On appelle rapport cyclique la valeur :  $\tau = \frac{t_1}{t_c}$ .

On démontre que la puissance moyenne est :

$$P_{\text{moyenne}} = P_{\text{installée}} \times \tau.$$

## Calculs et résultats

On utilise le gradateur à trains d'ondes lorsque l'inertie thermique du système le permet, par exemple, les fours et enceintes de réchauffage.

Prenons un exemple

Un four porte 100 kg de pièces en acier à 850 °C afin d'effectuer un traitement thermique. On admet que la montée en température dure 1 heure, la capacité thermique de l'acier est environ 435 J/kg·°C, les déperditions dues aux parois du four sont de 15 % de la puissance installée, la température ambiante est de 25 °C.

Évaluer la puissance à installer et le rapport cyclique pendant le traitement.

Énergie à fournir (en négligeant la variation des pertes) :

$$W_c = mC(T_2 - T_1) = 100 \times 435 \times (850 - 25) = 35\,887,5 \text{ kJ.}$$

Puissance à installer :

$$P = \frac{W}{t} = \frac{35\,887,5 \times 1,15}{3\,600} = 11,5 \text{ kW.}$$

Donc la puissance du four sera : 12 kW.

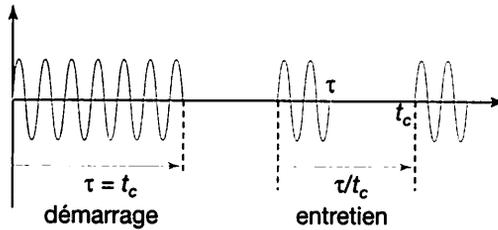
Puissance de démarrage : 12 kW.

Puissance d'entretien : 1,8 kW.

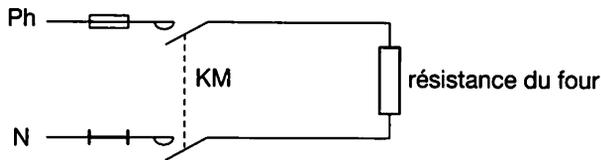
Le rapport cyclique est donc de 15 %.

Sur un gradateur ou la période est de l'ordre de 2,5 s (125 périodes), la résistance du four sera sous tension pendant 0,37 s (19 périodes) sur 2,5 s.

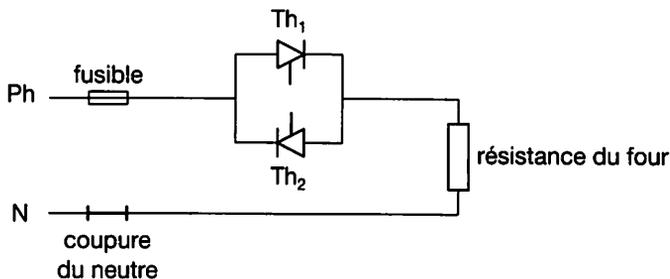
### Allure du courant pour le démarrage et l'entretien



### Schéma d'un gradateur électromécanique



### Schéma d'un gradateur électronique à thyristors

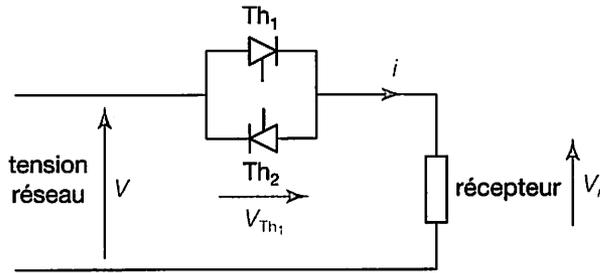


## Objectif

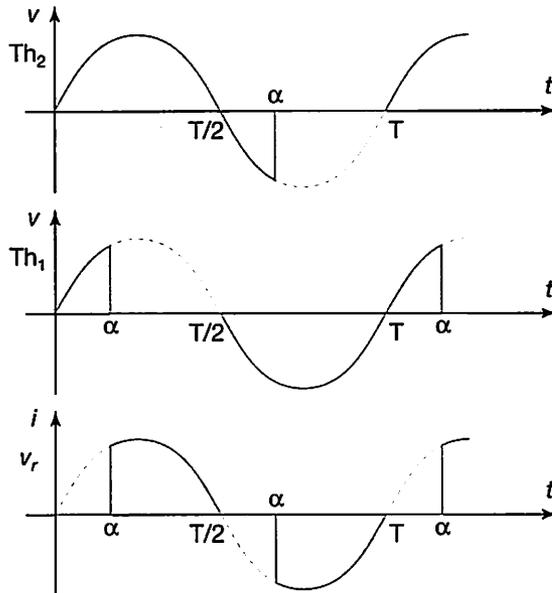
Il s'agit d'étudier un mode de modulation de l'énergie par découpage de la sinusoïde du réseau afin d'adapter la quantité d'énergie nécessaire au procédé.

## Loi fondamentale

Schéma d'un gradateur monophasé à angle de phase



Allure des tensions et du courant dans le système



### Calculs et résultats

On démontre que la tension efficace aux bornes de la charge s'exprime par :

$$U_{c\text{eff}} = V_{\text{eff}} \times \sqrt{1 - \frac{\alpha}{\pi} + \sin \frac{\alpha}{2\pi}} \quad \text{et} \quad P = \frac{U^2}{R}$$

Avec :

$V_{\text{eff}}$  : tension de la source d'alimentation ;

$\alpha$  : angle de retard à l'amorçage.

Aperçu de la loi de variation

$\alpha$ en radians	$U_{c\text{eff}}$ en V	P charge en W	S réseau en VA
0	100 %	100 %	100 %
$\frac{\pi}{5}$	97 %	94 %	97 %
$\frac{2\pi}{5}$	83 %	68 %	82 %
$\frac{3\pi}{5}$	55 %	30 %	54 %
$\frac{4\pi}{5}$	22 %	4 %	21 %
$\pi$	0	0	0

Ces valeurs sont approchées.

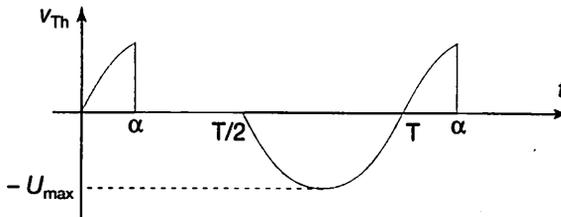
Nous remarquons que la tension aux bornes de la charge varie selon une loi non linéaire qui dépend de l'angle  $\alpha$ , la puissance également.

La tension que doit supporter le thyristor est :

$$V_{r\text{rm}} = -U_{\text{max}}$$

Le courant dans un composant est :

$$I_{\text{th}} = I_{\text{ch}} \times 0,786.$$



### Commentaires et conseils

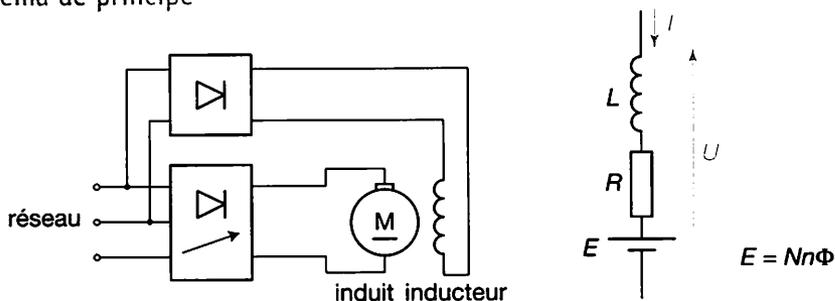
Les composants doivent être choisis pour la plus grande valeur de ces grandeurs, c'est-à-dire pour un angle  $\alpha$  nul ( $\alpha = 0$ ).

## Objectif

Étudier les principales caractéristiques d'une variation de vitesse pour moteur à courant continu à excitation constante ou séparée.

## Loi fondamentale

Schéma de principe



Le couple moteur peut s'écrire :

$$T = k \times \Phi \times I.$$

La fréquence de rotation :

$$n = \frac{U - RI}{N\Phi} \text{ [de la forme : } n = k'(U - RI)\text{].}$$

Avec :

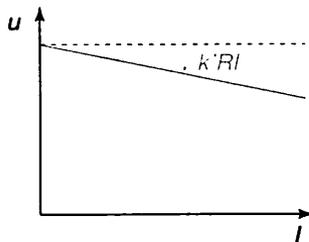
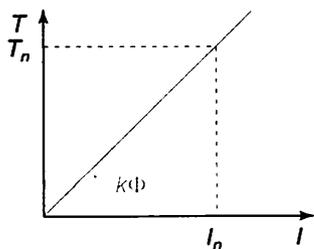
$T$  en N·m ;

$U$  : tension d'alimentation de l'induit ;  $\Phi$  : flux inducteur en weber ;

$I$  : intensité induit en A ;  $R$  : résistance de l'induit en  $\Omega$  ;

$k = \frac{1}{N\Phi}$ ,  $N$  : nombre de conducteurs de l'induit.

Évolution des grandeurs  $T = f(I)$  et  $u = f(I)$



## Calculs et résultats

Analysons quelques caractéristiques constructeurs

Couple moteur 30 Nm ;  $L$  induit 38 mH ;  $R$  induit 1,73  $\Omega$ .

$U_{\text{induit}}$	$n$ tr/min	$P$ en kW	$I$ en A	rendement
260	1 550	5,2	25,5	0,78
400	2 410	7,2	22	0,82
500	3 010	7,4	17,5	0,85

Supposons que le moteur fonctionne à son régime nominal.

$$U = 260 \text{ V} ; I = 25,5 \text{ A} ; n = 1\,550 \text{ tr} \cdot \text{min}^{-1} ; T = 30 \text{ N} \cdot \text{m}.$$

La puissance absorbée est donc :

$$UI = 260 \times 25,5 = 6\,630 \text{ W}.$$

La puissance mécanique est :

$$EI = (U - RI)I = [260 - (1,73 \times 25,5)] \times 25,5 = 5\,505 \text{ W}.$$

ou encore :

$$T \times \omega = 30 \times (2\pi \times \frac{1\,550}{60}) = 4\,869 \text{ W (puissance utile)}.$$

la puissance perdue (pertes magnétiques + mécaniques) est : 636 W.

La puissance perdue dans l'induit est :

$$RI^2 = 1,73 \times 25,5^2 = 1\,125 \text{ W}.$$

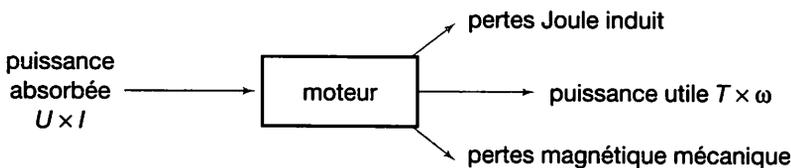
Le rendement peut s'écrire :

$$n = \frac{P_u}{P_u + \text{pertes}}, \text{ donc : } n = 0,74.$$

Nous retrouvons la puissance absorbée :  $6\,630 = 4\,869 + 636 + 1\,125 \text{ W}$ .

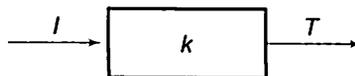
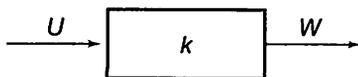
## Commentaires et conseils

Nous pouvons résumer ainsi :



à flux constant,

- $W$  est commandée par la tension induit ;
- $T$  est fonction du courant induit.



## Objectif

Étudier le comportement du moteur associé à un modulateur d'énergie permettant de faire varier la fréquence de rotation.

## Loi fondamentale

Le moteur asynchrone triphasé est constitué de 3 enroulements (un par phase) permettant de créer un champ tournant au stator.

La relation applicable est :  $f = p \times n_s$ .

Avec :

$f$  : fréquence du réseau en Hz ;

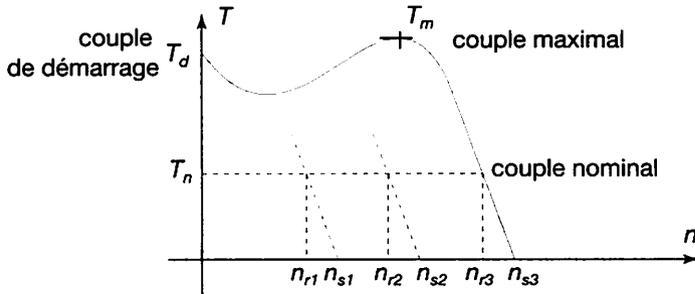
$p$  : nombre de paire de pôles au stator ;

$n$  : fréquence de rotation du champ tournant en tr/s.

Le rotor (cage en court circuit) est entraîné par ce champ tournant, mais avec une fréquence de rotation inférieure  $n_r$  ; il y a un glissement qui se définit :

Glissement :  $g = \frac{(n_s - n_r)}{n_s}$  quelques %.

Courbe de couple d'un moteur asynchrone



## Calculs et résultats

Analysons une documentation constructeur

4 pôles

P en kW	$n_r$ en tr/min	Glissement	$T_d/T_n$	$T_m/T_n$	Rendement
1,1	1 415	5,7 %	2,1	2,6	0,75
2,2	1 430	4,7 %	1,9	2,4	0,75
4	1 425	5 %	2,4	2,6	0,8

6 pôles

P en kW	$n_r$ en tr/min	Glissement	$T_d/T_n$	$T_m/T_n$	Rendement
1,5	930	7 %	1,9	2,1	0,72
3	945	6,5 %	2,4	2,4	0,78
5,5	970	3 %	3,1	3	0,82

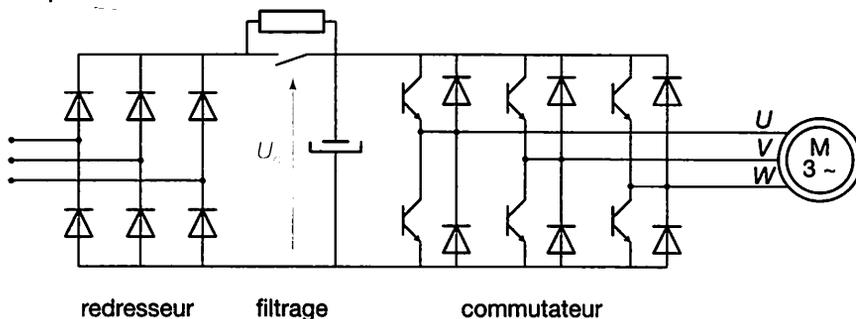
Nous constatons que le glissement évolue de 3 à 7 %, les moteurs puissants ont un glissement plus faible.

Au démarrage, le moteur développe un couple environ deux fois son couple nominal afin de vaincre les inerties de la plupart des systèmes mécaniques.

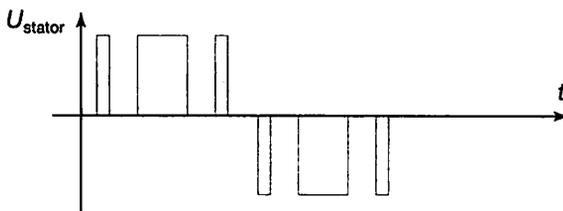
Il est donc important de ne pas trop affecter le couple de démarrage, c'est pourquoi le flux du moteur doit être maintenu : on appelle ceci fonctionnement à  $U/f = Cte$ .

### Commentaires et conseils

Exemple de schéma d'un variateur



Allure de la tension ( MLI modulation de largeur d'impulsion )



Le moteur doit toujours être choisi en tenant compte des contraintes du système mécanique entraîné.

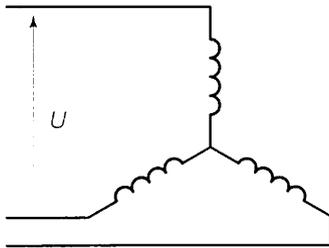
Ce moteur peut être déclassé, car le fonctionnement à vitesse variable génère des pertes supplémentaires, notamment sur le plan magnétique.

**Objectif**

Étudier les procédés de démarrage des moteurs asynchrones, en particulier les caractéristiques de couple et l'appel de courant au démarrage.

**Loi fondamentale**

Pour simplifier l'étude, nous considérerons que le moteur est constitué de trois enroulements identiques, nous retiendrons dans notre raisonnement un seul enroulement



couplage étoile



couplage triangle

L'intensité absorbée est :

$$I_n = \frac{U_m}{Z}$$

Avec :

$I_n$  : intensité dans un fil d'alimentation de l'enroulement ;

$V_n$  : tension d'alimentation entre phases ;

$Z$  : impédance d'un enroulement.

Le couple moteur peut s'exprimer en première approximation par :

$$T = k \times V^2$$

couple proportionnel au carré de la tension d'alimentation.

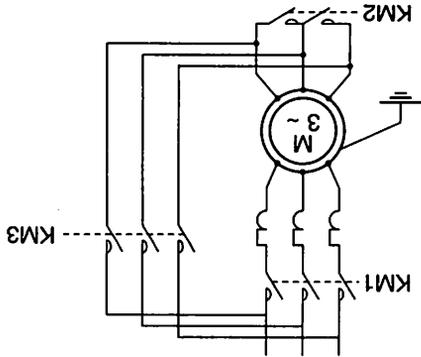
Relation entre tension simple et composée :

$$U = V \times \sqrt{3}$$

**Calculs et résultats**

Démarrage par couplage Étoile -Triangle

**Schéma et courbe  $T = f(n)$**



Intensité absorbée en étoile :

$$I_d = k \times \frac{I_n}{\sqrt{3}} \text{ (passage de } U \text{ à } V).$$

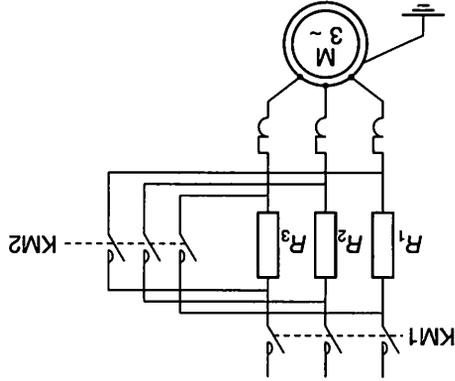
Couple moteur :

$$T_{d1} = \frac{3}{T} \text{ (car } fU^2).$$

Le procédé est simple, le couplage des enroulements est économique (contacteurs) : toutefois, le couple de démarrage est diminué, à la commutation le moteur n'est plus alimenté un court instant. Ce procédé s'applique généralement aux systèmes démarrants à vide (couple nul ou faible au démarrage).

Démarrage par insertion de résistances statoriques

Schéma et courbe  $T = f(n)$

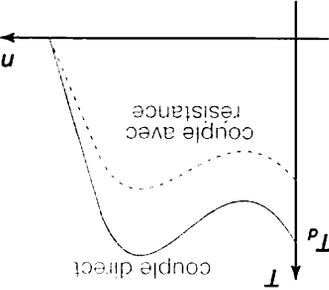
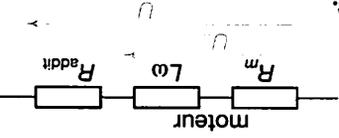


Intensité 1<sup>er</sup> temps (avec résistances) :  $I_d = \frac{U}{Z}$ ,

avec  $Z = R_{\text{moteur}} + R_{\text{additionnelle}} + L\omega$ .

Couple moteur : dépend de la valeur de  $R$  additionnelle.

La tension  $U_m$  est égale à :  $U_m = U \times \frac{R_m + R_{\text{addit}} + L\omega}{R_m + R_{\text{addit}} + L\omega}$ .

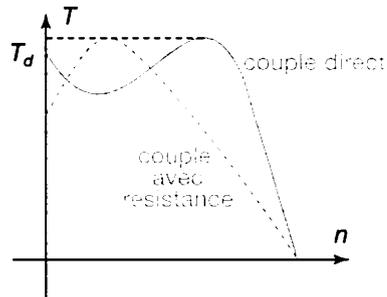
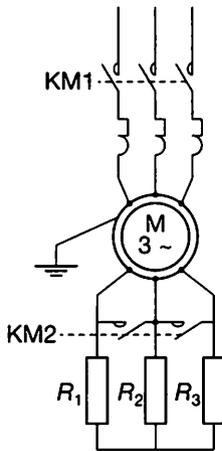


## Objectif

Étudier le procédé de démarrage par insertion de résistances rotoriques, l'influence sur le couple moteur obtenu.

## Loi fondamentale

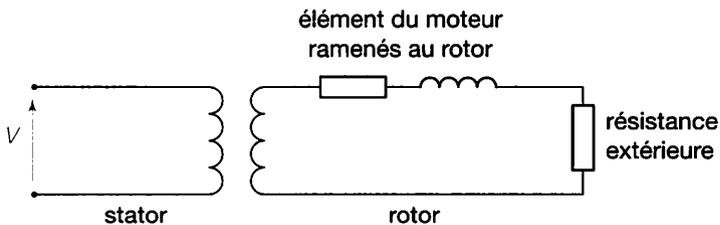
### Schéma et courbe de couple



## Calculs et résultats

Le modèle du moteur (au démarrage) ressemble à celui du transformateur, l'adjonction de résistances au rotor permet d'améliorer le facteur de puissance du rotor, donc l'énergie active transformée en énergie mécanique tout en limitant l'intensité absorbée. On démontre que le couple au démarrage peut être identique au couple maximal.

### Modèle



## Commentaires et conseils

### Applications

Ce procédé est onéreux car :

- le moteur est à rotor bobiné, donc plus cher et plus volumineux ;
- ce moteur nécessite une maintenance accrue due à la présence de bagues et de balais sur la partie tournante.

Toutefois ce procédé s'adresse aux systèmes nécessitant un fort couple au démarrage (flèche de grue, élévateurs en charge...)

Ce procédé est aujourd'hui abandonné (en construction neuve) et remplacé par des variateurs (démarreurs) électroniques, mais il subsiste un parc important de moteurs à rotor bobiné qu'il convient d'entretenir.

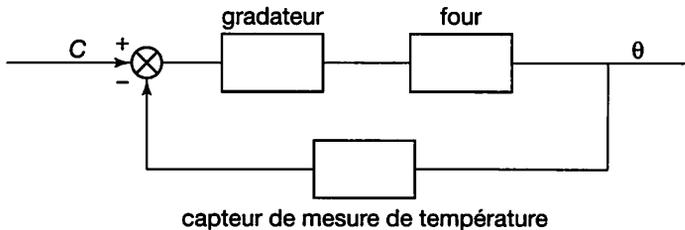
## Exercices pour s'entraîner sur les fiches 37 et 42

*Pour résoudre cet exercice, il est conseillé de consulter la fiche 37.*

37

### Exercice 371

Schéma fonctionnel d'un dispositif régulé



$C$  : consigne de température ;

$\theta$  : température réelle obtenue.

Un dispositif de traitement consomme 25 kW en période de chauffe et l'on estime que les pertes de la paroi sont de 3 kW.

Donner le rapport cyclique du gradateur en période de chauffe et en période d'entretien si la puissance installée est 25 kW.

**Réponse possible :**

Rapport cyclique :  $\frac{3}{25} = 0,12$  ; donc : 12 %.

*Pour résoudre cet exercice, il est conseillé de consulter la fiche 37.*

38

### Exercice 381

On désire commander un four de 12 kW à partir du réseau de distribution  $3 \times 400 \text{ V} + \text{N}$ . Ce four serait alimenté sous 400 V entre deux phases.

Déterminer les caractéristiques d'un thyristor ainsi que le calibre des fusibles de protection.

Intensité nominale du four :

$$I_n = \frac{P}{U} = \frac{12\,000}{400} = 30 \text{ A.}$$

Tension inverse maximale :

$$U_m = U_{\text{eff}} \times \sqrt{2} = 400 \times \sqrt{2} = 566 \text{ V.}$$

Courant dans un thyristor :

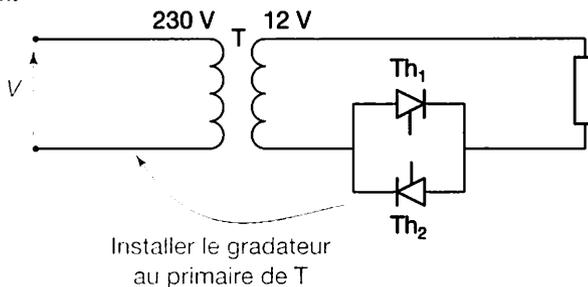
$$I_{\text{th}} = 0,786 \times I_n = 23,5 \text{ A.}$$

**Le thyristor devra supporter une tension inverse de 566 V, son courant efficace sera de 25 A.**

**Le fusible de protection doit avoir un calibre de 30 A** (ce fusible doit être rapide, ceci sera étudié dans un prochain chapitre).

Exercice 382

On suppose qu'un montage à très basse tension (sous 12 V) est piloté par un gradateur à angle de phase. La chute de tension dans un thyristor est estimée à 1,9 V sous le courant d'utilisation.



*Quelle réflexion peut-on faire à propos de ce montage ? Proposez une modification.*

**Réponse possible :** la chute de tension dans le composant est importante (15 %), donc les pertes aussi ; il convient de disposer le modulateur d'énergie au primaire du transformateur.

39 Pour résoudre cet exercice, il est conseillé de consulter la fiche 39.

Exercice 391

Une grue doit soulever une charge de 5 tonnes à 20 m de hauteur, à une vitesse ascensionnelle de 0,1 m/s. Le tambour du treuil fait 300 mm de diamètre, il est associé à un réducteur de rapport 1/550.

Le moteur à courant continu fonctionnera à une vitesse variable de 10 à 100 % de sa vitesse nominale, le rendement des éléments mécaniques est 0,75.

**Choisir ce moteur**

Énergie nécessaire :

$$W = mgh = 981\,000 \text{ J.}$$

Temps de montée :

$$t = \frac{h}{v} = 200 \text{ s.}$$

Puissance à la sortie du treuil :  $P = \frac{W}{t} = 4\,905 \text{ W}$ .

Puissance à fournir par le moteur :  $P = 6\,540 \text{ W}$ .

Fréquence de rotation du treuil :

$$n_t = \frac{v}{2\pi D} \times 60 = 3,18 \text{ tr} \cdot \text{min}^{-1}.$$

Fréquence de rotation du moteur :

$$n_m = 1\,749 \text{ tr} \cdot \text{min}^{-1}.$$

Les caractéristiques du moteur seront :

$$P = 7,2 \text{ kW} ; t = 30 \text{ N} \cdot \text{m} ; n_{\text{maxi}} = 2\,410 \text{ tr} \cdot \text{min}^{-1} ; I_n = 22 \text{ A} ; U = 400 \text{ V}.$$

**Remarque** : la vitesse à obtenir est de l'ordre de 73 % de celle maximum annoncée par le constructeur, il suffira de limiter la tension induit aux environs de 300 V.

### Exercice 392

Supposons que le client souhaite conserver le même engin mais en portant la vitesse ascensionnelle de la charge à 110 % de celle prévue aujourd'hui.

*Peut-on conserver le même moteur ?*

**Réponse possible :**

Puissance : 7,2 kW ; vitesse : 1 924 tr · min<sup>-1</sup> ; U = 320 V.

**Le moteur convient encore mais nous avons fait l'hypothèse que le rendement n'évo-  
luait pas.**

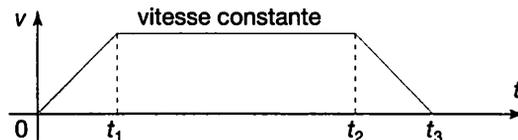
40

*Pour résoudre cet exercice, il est conseillé de consulter la fiche 40.*

### Exercice 401

Un dispositif mécanique nécessite une fréquence de rotation variable, c'est le cas d'un ascenseur qui doit présenter de bonnes conditions de confort pour les passagers.

La fréquence de rotation doit évoluer de 30 % à 100 % de la vitesse nominale selon la loi ci-dessous.



Les contraintes sont les suivantes :

10 passagers de 70 kg en moyenne, une cabine de 900 kg, un contre poids de 1 200 kg, une vitesse ascensionnelle de  $0,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ , le rendement de l'ensemble des éléments mécaniques est 0,68, le cas le plus défavorable est lorsque la cabine est pleine. La hauteur de l'immeuble est de 90 m.

*En ne considérant que l'énergie potentielle à fournir, indiquer la puissance du moteur ainsi que la fréquence de rotation minimale si ce moteur est à 6 pôles.*

On négligera les éléments en rotation.

Énergie nécessaire au démarrage :

$$W = mgh = 354\,960 \text{ W.}$$

Temps de montée :  $t = \frac{e}{v} = \frac{90}{0,5} = 180 \text{ s.}$

Puissance à la sortie du réducteur :  $P_r = \frac{W}{t} = 1\,972 \text{ W.}$

Puissance du moteur :  $P_u = 2\,900 \text{ W.}$

**Le moteur choisi est 3 kW,  $n = 945 \text{ tr} \cdot \text{min}^{-1}$ .**

La fréquence de rotation minimale sera  $n = 0,3 \times 945 = 284 \text{ tr} \cdot \text{min}^{-1}$ .

Dans ces conditions, si nous respectons la condition  $U/f = \text{Cte}$ , la tension d'alimentation ne doit pas être inférieure à 120 V (tension entre phases).

*Pour résoudre cet exercice, il est conseillé de consulter la fiche 41.*

#### Exercice 411

Un agriculteur utilise un banc de scie mu par un moteur de 4 kW - 4 pôles. Ce moteur démarre selon le procédé Étoile-Triangle, sa notice indique  $\frac{I_d}{I_n} = 5,7$  avec  $I_m = 9,1 \text{ A}$ .

*Donner les caractéristiques annoncées par le constructeur.*

*Calculer l'intensité de démarrage et le couple au démarrage.*

*Ce procédé est-il adapté à cette utilisation ?*

**Réponses possibles :**

$$\frac{I_d}{I_n} = 2,4 ; \frac{T_m}{T_n} = 2,6 ; T_n = 26,8 \text{ N} \cdot \text{m} ; \frac{I_d}{I_n} \text{ couplage étoile ; } I_{d1} = \frac{5,7 \times 9,1}{\sqrt{3}} = 29,9 \text{ A.}$$

Ce moteur peut démarrer avec un contrat 6 kW à condition qu'aucun autre récepteur ne soit branché.

Couple de démarrage :  $T_{d1} = \frac{T_d}{3} = 21,4 \text{ N} \cdot \text{m.}$

Le couple de démarrage est inférieur au couple nominal, **ce procédé est adapté car la scie démarre à vide** (pas de coupe en cours).

#### Exercice 412

Un broyeur (coupe racines) démarre à vide. Il est équipé d'un moteur de puissance 5,5 kW - 6 pôles couplé en étoile sur un réseau 400/690 V ;  $R_m = 2 \Omega$  et  $L = 4 \Omega$ .

On lui adjoint une résistance additionnelle de 2,3  $\Omega$ .

Le couple nominal est  $T_n = 54 \text{ N} \cdot \text{m}$  ; le rapport  $\frac{T_d}{T_n}$  est 3,1.

*Déterminer le courant de démarrage et le couple espéré au démarrage.*

**Réponses possibles :**

Impédance d'une phase :  $Z = \sqrt{4,3^2 + 4^2} = 5,87 \Omega.$

Intensité de démarrage avec résistances :  $I_d = \frac{U}{Z} = 68 \text{ A.}$

Le rapport  $\frac{I_d}{I_n}$  de 6,9 est ramené à 5,3.

Impédance du moteur seul :  $Z_m = \sqrt{2^2 + 4^2} = 4,47 \Omega$ .

Tension aux bornes de ses enroulements :

$$U_m = U \times \frac{Z_m}{Z} = 305 \text{ V.}$$

Ou encore **76 % de sa tension nominale.**

Le couple moteur espéré au démarrage est :

$$T_{d1} = T_d \times \left(\frac{U_m}{U}\right)^2 = (54 \times 3,1) \times 0,76^2 = 97 \text{ N}\cdot\text{m.}$$

**Ce couple de démarrage reste supérieur au couple nominal, donc le mécanisme devrait démarrer correctement.**

### Exercice 413

Supposons qu'un moteur identique, soit couplé en étoile-triangle (sur un réseau le permettant).

Par exemple, un moteur 400/690 V sur un réseau  $3 \times 400 \text{ V}$ , le couplage en fonctionnement normal est bien le couplage triangle.

*Comparer le couple moteur obtenu ainsi que l'intensité de démarrage.*

Moteur :

$$P = 5,5 \text{ kW} ; n = 970 \text{ tr/min} ; \frac{T_d}{T_n} = 3,1 ; \frac{T_m}{T_n} = 3 ; I_n = 12,9 \text{ A} ; \frac{I_d}{I_n} = 6,9 ; T_n = 54 \text{ N}\cdot\text{m.}$$

Couple de démarrage :  $T_d = 54 \times 3,1 = 167 \text{ N}\cdot\text{m.}$

Couple de démarrage en couplage étoile :

$$T_{d1} = \frac{T_d}{3} = 56 \text{ N}\cdot\text{m.}$$

Intensité de démarrage :  $I_{d1} = \frac{6,9 \times 12,9}{3} = 51,4 \text{ A.}$

**Conclusion** : ces deux procédés réduisent le courant de démarrage mais aussi, dans de fortes proportions, le couple au démarrage.

42

*Pour résoudre cet exercice, il est conseillé de consulter la fiche 42.*

### Exercice 421

On démontre que le maximum de couple est obtenu lorsque les termes  $R$  et  $L\omega$  sont égaux pour un moteur à rotor bobiné.

En considérant les éléments  $R = 5 \Omega$  et  $L = 80 \text{ mH}$  pour un moteur dont la vitesse de synchronisme est  $105 \text{ rd}\cdot\text{s}^{-1}$ ,

*Donner pour quelle vitesse le couple est maximal.*

**Réponse possible :**

$$R = L\omega = 5 \Omega, \text{ d'où : } \omega = 62,5 \text{ rd/s} = 597 \text{ tr}\cdot\text{min}^{-1}.$$

### Objectif

On se propose d'étudier les dispositifs d'éclairage, le calcul approché d'un projet simple d'éclairage car ceci relève d'une spécialité, toutefois l'électricien doit alimenter, protéger les sources employées.

### Loi fondamentale

L'éclairement s'exprime en lux (lx) et se calcule par :

$$E = \frac{\Phi}{S}$$

avec :  $E$  en lx ;  $\Phi$  en lm (lumen) ;  $S$  en m<sup>2</sup>.

Selon l'activité, l'éclairement est défini par des recommandations

	<b>E en lx</b>		<b>E en lx</b>
Lecture, travail d'écolier	300	Salle de dessin	1000
Chambre	200	Hôtels réception, hall	300
Cuisine	300	Scieries	150
Couture	500 à 750	Couloirs de circulation	100
Travail aux machines	500	Salle de cinéma	50

Toutes les sources n'ont pas la même efficacité lumineuse, ni la même durée de vie. Précisons ces éléments

#### Lampe à incandescence

Puissance en W	40	60	75	100	150	200	300	500
Flux émis en lm	430	730	960	1380	2220	2950	4950	8400

#### Lampe à incandescence

Puissance en W	10	13	18	26	36	40	55
Flux émis en lm	600	900	1200	1800	2900	3500	4800

#### Tubes fluorescents $\Phi 26$

Puissance en W	15	18	30	36	58
Flux émis en lm	1000	1300	2300	3250	5200

### Calculs et résultats

Une salle de dessin a les dimensions suivantes : 13,5 m sur 10 m ; elle est équipée actuellement de lampes à incandescence. Lors d'une modernisation, on installera des luminaires munis de 2 tubes fluorescents de 36 W chacun.

Déterminer le nombre de lampes de 300 W nécessaires et le nombre de luminaires de remplacement.

L'éclairage recommandé est 1000 lx, le flux lumineux nécessaire est :

$$\Phi = E \times S = 1000 \times (13,5 \times 10) = 135\,000 \text{ lm.}$$

Le nombre de lampes de 300 W est donc 28 donc 8400 W.

Les luminaires de remplacement seront au nombre de :

$$\frac{135000}{2 \times 3250} = 21.$$

la puissance devient alors :  $21 \times 2 \times 36 = 1512 \text{ W}$ ,  
donc 18% de la puissance initiale.

L'efficacité lumineuse est le rapport  $K = \frac{\Phi}{P}$  et s'exprime en lm/W.

Pour un flux lumineux de l'ordre de 2000 lm, l'efficacité lumineuse est :

- une lampe à incandescence de 150 W :  $K = 14,8 \text{ lm/W}$  ;
- une lampe de substitution de 26 W :  $K = 69 \text{ lm/W}$  ;
- un tube fluoescents de 30 W :  $K = 76,6 \text{ lm/W}$ .

## Commentaires et conseils

L'efficacité lumineuse des lampes de substitution et des tubes fluoescents étant supérieure à celle des lampes à incandescence, ces technologies seront préférées lors d'une modernisation.

Durée de vie

Lampes à incandescence et tubes fluoescents : environ 1000 h ;

Lampes de substitution : environ 8000 à 18 000 h.

## Exercice pour s'entraîner

Un couloir de circulation fait 25 m sur 2,4 m de large.

Indiquer le nombre de lampes de substitution à utiliser (les plafonniers ont 2 lampes identiques).

**Réponses possibles :**

Éclairage 100 lx ; flux 6000 lm ; 10 lampes de 10 W.

Donc : 5 plafonniers.

## Objectif

On se propose de montrer que le mode de pose des luminaires, les dimensions du local et la hauteur du plan de travail ont une influence sur l'éclairement obtenu.

## Loi fondamentale

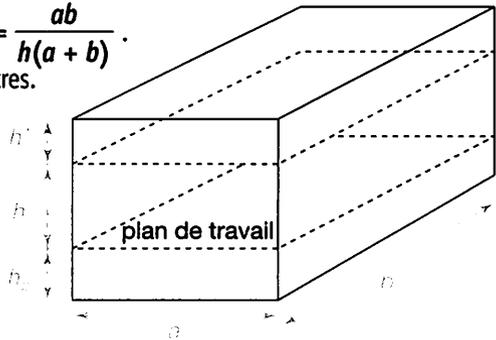
Le rapport de suspension est défini par :

$$J = \frac{h'}{h + h'}$$

L'indice du local se calcule par :

$$K = \frac{ab}{h(a + b)}$$

Les dimensions étant exprimées en mètres.



Le facteur de réflexion dépend du revêtement des parois

Facteur	Plafond	Mur	Plan de travail
Clair, lumineux	7 à 8	5 à 7	3
Moyen, propre	5	3	1
Sombre, foncé	3	1	1

Ainsi 713 correspond à un plafond clair, des murs sombres, un plan de travail clair, lumineux. Les rayons lumineux sont donc mieux réfléchis par le plafond ou le plan de travail que par les murs.

Les constructeurs publient des tables d'utilance.

### Tableau d'utilance pour $J = 0$

Facteur de réflexion	773	751	531	311
$K = 1$	108	95	93	91
$K = 1,5$	113	98	95	94
$K = 2$	116	101	98	95
$K = 3$	119	103	100	98

### pour $J = 1/3$

	773	751	531	311
	773	751	531	311
	105	94	92	90
	110	97	95	93
	113	100	98	96
	117	102	100	98

Les valeurs de l'utilance sont exprimées en %.

Nous pouvons donc définir le flux réellement reçu par le plan de travail en fonction du flux émis par les sources.

$$\Phi_u = \Phi_t \times \eta \times U$$

avec :

$\Phi_u$  : flux utile sur le plan de travail ;

$\Phi_t$  : flux total émis par les sources ;

$U$  : valeur de l'utilance donnée par le tableau ;

$\eta$  : rendement de l'appareil d'éclairage.

## Calculs et résultats

Supposons un local aux murs sombres, plafond et plan de travail foncés ; l'indice est 311. Les dimensions sont actuellement :  $a = 6$  m ;  $b = 3,5$  m ;  $h = 2,1$  m et  $h' = 0$  car les sources sont fixées au raz du plafond.

Nous supposons que le rendement des luminaires est égal à 0,6.

*Déterminer le flux à émettre si l'on désire 700 lx sur le plan de travail.*

Surface :  $a \times b = 21$  m<sup>2</sup>, donc :

$$\Phi_u = 700 \times 21 = 14\,700 \text{ lm.}$$

Rapport de suspension :  $J = 0$ , car  $h' = 0$ .

Indice du local :  $K = \frac{6 \times 3,5}{2,1 \times (6 + 3,5)} = 1,05$ , donc : 1.

Facteur de réflexion : 311.

L'utilance est donc 91 %.

Le flux à émettre est donc :  $\Phi_t = \frac{14700}{0,6 \times 0,91} = 26923$  lm,

sans tenir compte du vieillissement des lampes.

Supposons maintenant que ce local soit rénové ; on pose des luminaires identiques aux précédents à 65 cm du plafond :  $h'$  devient 0,65 m et  $h = 1,45$  m, donc  $J = 0,3$  et  $K = 1,52$ . Les murs, le plafond sont repeints avec des peintures lumineuses, le plan de travail est rénové ; le facteur de réflexion devient 773 et l'utilance  $U = 110$  %.

Le flux à émettre devient  $\Phi_t = 22273$  lm, d'où une économie de 4000 lm.

## Commentaires et conseils

L'indice du local dépend de ses dimensions, cet indice est souvent invariable pour un local construit. Par contre, le rapport de suspension et le facteur de réflexion sont liés à l'aménagement, donc un choix possible des solutions.

## Objectif

On se propose de montrer que la pose des luminaires en encastré ou en apparent a une incidence sur le flux à émettre pour obtenir un même éclairage souhaité sur le plan de travail

## Loi fondamentale

On appelle  $\eta_d$  le rendement du luminaire en éclairage direct (vers le bas) et  $\eta_t$  le rendement du luminaire pour l'émission indirecte (vers le haut).

Le flux à émettre est donc : 
$$\Phi_t = \frac{\Phi_u}{(\eta_d U_d + \eta_t U_t) \eta_e}$$

$\eta_e$  étant un coefficient tenant compte du dépôt de poussière sur les parois des appareils.

### Données constructeurs pour des appareils encastrés $\eta_t = 0$

Lampes	Flux émis en lm	Longueur en mm	Largeur en mm	Rendement*
1 de 36 W	2200	1200	300	0,43
2 de 36 W	4400	1200	300	0,43
1 de 58 W	3550	1500	300	0,43
2 de 58 W	7100	1500	300	0,43
4 de 18 W	4000	600	600	0,43

\* 0,68 avec miroir satiné.

### Données constructeurs pour luminaires à émission directe et indirecte

Lampes	Flux émis en lm	Longueur en mm	Largeur en mm	Rendement direct	Rendement indirect
1 de 18 W	1000	660	170	0,62	0,09
1 de 36 W	2200	1200	170	0,62	0,09
1 de 58 W	3550	1500	170	0,62	0,09
2 de 36 W	4400	1200	170	0,54	0,1
2 de 58 W	7100	1500	170	0,54	0,1
2 de 18 W	2000	745	190	0,59	0,05

Le rendement d'un luminaire à double émission (directe et indirecte) se calcule à partir de la somme des 2 rendements.

## Calculs et résultats

Un atelier a pour dimensions 25 m sur 20 m, l'activité concerne le travail aux machines, le plan de travail des servantes d'atelier est à 0,90 m du sol, les luminaires seront soit encastrés ou suspendus. La distance du plan au plafond est 5 m. Les appareils peuvent être distants du faux plafond de 1,1 m s'ils sont suspendus ( $h = 4,1$  m ou 3 m).

On estimera que le vieillissement correspond à 20 %, l'éclairage recommandé est 500 lx, le facteur de réflexion est estimé à 531.

Déterminer le flux à produire dans les deux cas (encastré ou suspendu).

Flux utile :  $\Phi_u = 500 \times (25 \times 20) = 250\,000 \text{ lm.}$

Indice du local :  $K = \frac{25 \times 20}{4,1 \times (25 + 20)} = 2,7$  ou  $K = 3,7.$

Rapport de suspension :

$$J = 0 \text{ (encastré) et } J = 0,24 \text{ (suspendu).}$$

(Nous prendrons  $K = 3$  dans les deux cas pour simplifier.)

Les valeurs d'utilance sont :

$$U = 100\% \text{ (encastré) et } U = 100\% \text{ (suspendu).}$$

**Remarque** : il n'y a pas de différence sur ce point, seulement les luminaires seront plus difficiles à fixer et à alimenter en suspendu.

### Déterminons maintenant le flux à émettre.

- Si les luminaires sont encastrés :  $\eta_d = 0,43.$

Le flux à émettre est :  $\Phi_t = \frac{250000}{0,43 \times 0,8} = 726\,744 \text{ lm.}$

Il faudrait 102 luminaires équipés de 2 lampes de 58 W chacun.

- Si les luminaires sont suspendus :

$$\eta_d = 0,54 \text{ et } \eta_v = 0,10.$$

Le flux à émettre est :  $\Phi_t = \frac{250000}{(0,54 + 0,10) \times 0,8} = 488\,281 \text{ lm.}$

Il convient d'installer environ 70 luminaires avec deux lampes de 58 W chacun.

Cette solution est plus chère et plus difficile à mettre en œuvre, mais **la puissance installée est de 8120 W au lieu de 11832 W** : l'économie d'énergie est appréciable.

## Commentaires et conseils

Le choix d'une solution est toujours un compromis technico-économique.

Pour guider ce choix, on exprime souvent l'économie d'énergie en « temps de retour » par le rapport économie/supplément d'investissement.

## Exercices pour s'entraîner sur les fiches 43 à 45

 Pour résoudre ces exercices, il est conseillé de consulter la fiche 43.

### Exercice 431

Une bibliothèque possède des salles de lecture de 4,5 m sur 3,2 m et l'on estime que les lampes actuelles (deux de 60 W) sont insuffisantes pour offrir des conditions correctes à ses lecteurs.

*Préciser l'éclairage actuel et le nombre de lampes qu'il convient d'installer pour obtenir l'éclairage recommandé.*

Flux actuel émis (flux unitaire 730 lm) :

$$\Phi = 730 \times 2 = 1460 \text{ lm.}$$

Éclairage actuel :

$$E = \frac{1460}{4,5 \times 3,2} = 101 \text{ lx.}$$

### Amélioration du dispositif

Éclairage recommandé : 300 lx.

Flux nécessaire :  $\Phi = 300 \times 4,5 \times 3,2 = 4320 \text{ lm,}$

ce qui pourrait correspondre à 2 lampes de 150 W.

Pour moderniser nous allons choisir des lampes de substitution, donc **4 lampes de 18 W.**

**Remarque :** la puissance proposée est de 72 W à la place des 120 W installés.

On améliore donc l'éclairage tout en abaissant la puissance, donc l'énergie consommée.

### Maintenance

Les tubes fluorescents noircissent à leurs extrémités, les luminaires se recouvrent de poussière, une partie de la lumière émise est arrêtée par cette pellicule de poussière qui est souvent opaque.

On admet généralement qu'une baisse de 20 % du flux émis est réaliste entre deux opérations de changement des lampes ou de dépoussiérage.

## Exercice 432

Un atelier de machines outils a les dimensions suivantes : 24 m sur 12 m ; l'éclairage est assuré par des luminaires équipés chacun de 2 tubes de 36 W (1,20 m).

*Déterminer la puissance installée en éclairage.*

Flux lumineux nécessaire :

$$\Phi = 500 \times (24 \times 12) = 144\ 000 \text{ lm.}$$

Flux à émettre en état neuf :

$$\Phi = 144000 \times 1,2 = 172\ 800 \text{ lm.}$$

Nombre de luminaires : 
$$N = \frac{172800}{3250} = 53,2.$$

Arrondi à 54, donc : 27 luminaires.

Puissance : 
$$P = 27 \times 2 \times 36 = 1944 \text{ W.}$$

## Exercice 433

Un atelier de couture fait 9,6 m sur 6,2 m. Il est équipé de globes munis d'une seule lampe de substitution. Le travail soigné demandé requiert un éclairage maximal.

*Déterminer le nombre de lampes et la puissance installée.*

**Réponses possibles :**

Éclairage : 750 lx.

Flux minimal : 44640 lm.

Flux état neuf : 53568 lm.

$N = 16$  lampes de 40 W, donc :  $P = 640 \text{ W.}$

*Pour résoudre ces exercices, il est conseillé de consulter la fiche 44.*

## Exercice 441

Un couloir a pour dimensions 15 m de longueur et 2,5 m de largeur. Les luminaires sont fixés à 0,95 m du plafond, la hauteur sous plafond est 3,5 m ( $h = 2,55 \text{ m}$ ). L'ensemble des parois est très clair et lumineux, l'éclairage souhaité au sol est 100 lx ; le rendement des appareils est estimé à 0,5.

*Choisir les lampes de substitution qui conviennent.*

Flux utile :  $\Phi_u = 3750 \text{ lm}$  ; indice :  $K = 0,84$  ; rapport de suspension :  $J = 0,29$ .

Facteur de réflexion : 773 ; utilance :  $U = 105 \%$ .

Flux à émettre :  $\Phi_t = 7143 \text{ lm.}$

Choix des lampes : 12 lampes de 10 W ou 6 lampes de 18 W.

**Remarque** : il vaut mieux choisir 6 lampes car la distance entre chaque point lumineux est 2,5 m, ce qui reste acceptable dans un couloir.

### Exercice 442

Un couloir identique possède des revêtements sombres et les luminaires sont fixés au ras du plafond, les autres paramètres restant inchangés.

*Rechercher le flux à émettre pour obtenir le même résultat.*

#### Réponses possibles :

$J = 0$  ;  $K = 0,6$  ; facteur de réflexion : 311 ;  $U = 0,91$ .

Flux à émettre :  $\Phi_t = 8242 \text{ lm}$ .

La différence est donc de 1000 lm environ, soit presque 2 points lumineux.

*Pour résoudre ces exercices, il est conseillé de consulter la fiche 45.*

### Exercice 451

Un magasin de lingerie est équipé actuellement de lampes de 100 W à incandescence (flux unitaire 1360 lm).

Pour des raisons de sécurité incendie, on installe en remplacement des luminaires de  $745 \times 190$  avec deux lampes de 18 W.

Ce magasin fait 14 m de longueur et 4,5 m de large, les présentoirs sont situés à 1,1 m du sol, les luminaires sont à 20 cm du plafond, la hauteur sous plafond étant 2,80 m. Le facteur de réflexion est 753. Dans ce genre d'activité l'éclairage souhaité est de 250 lx.

*Déterminer le nombre de luminaires à installer si la déperdition due aux dépôts de poussière est estimé à 15 %.*

#### Réponses possibles :

Flux utile :  $\Phi_u = (14 \times 4,5) \times 250 = 15750 \text{ lm}$ .

Indice :  $K = 2,27$  ; rapport :  $J = 0,12$  ; utilance :  $U = 116 \%$ .

Flux à émettre :  $\Phi_t = \frac{\Phi_u}{U \times \eta_e} = 15974 \text{ lm}$ .

Lampes de 100 W, nombre = 12, donc : puissance 1200 W.

Nombre de luminaires à installer :  $N = 8$ , donc : 16 lampes.

Puissance :  $16 \times 18 = 288 \text{ W}$ ,

ce qui représente 24 % de la puissance précédente.

**Exercice 452**

Une salle de lecture dans une bibliothèque municipale fait 6 m par 6 m, elle est équipée de 9 tables de lecture. Les éléments estimés sont  $K = 2$  et  $J = 1/3$ , avec un facteur de réflexion de 531.

L'éclairage actuel est assuré par 10 lampes de 60 W (flux unitaire 710 lm), mais on désire poser des luminaires équipés d'une lampe de 36 W de rendement  $\eta_d = 0,62$  et  $\eta_t = 0,09$ .

*Calculer le flux émis par les lampes actuelles ainsi que l'éclairement sur le livre à lire. On tient compte de la vétusté avec  $\eta_e = 0,8$ .*

*Dans l'hypothèse où l'on installe 10 luminaires, que deviendront l'éclairement et la puissance installée ?*

**Réponses possibles :**

$U = 98 \%$  lampes à incandescence :

$$E = 155 \text{ lx et } P = 600 \text{ W.}$$

Avec des luminaires fluorescents :

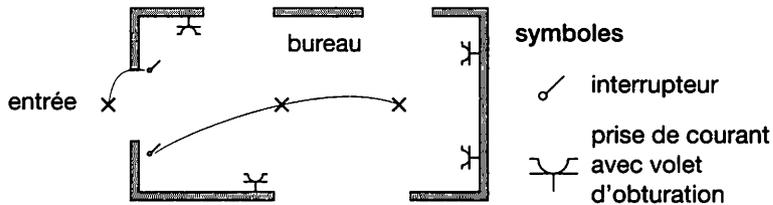
$$E = 340 \text{ lx et } P = 360 \text{ W.}$$

L'opération permet de se rapprocher de l'éclairement recommandé en diminuant la puissance installée.

## Objectif

On se propose de présenter les différents schémas, leur utilisation, ainsi que les documents qui doivent accompagner la réalisation d'une installation.

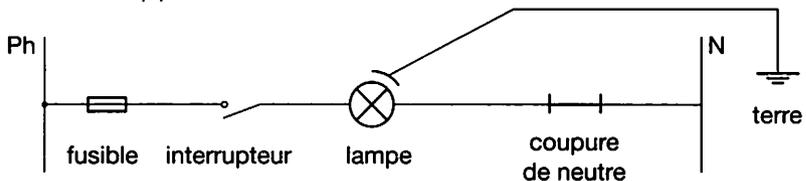
## Le schéma architectural



Ce schéma permet au concepteur d'indiquer :

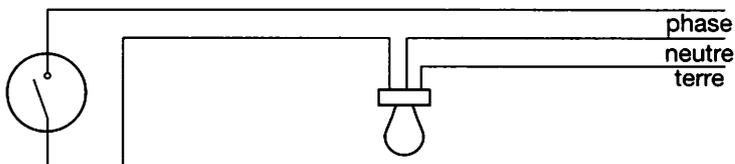
- le positionnement des points lumineux et des prises de courant ;
- le positionnement des appareils de commande ;
- la position de l'appareil de commande par rapport au point commandé.

## Le schéma développé



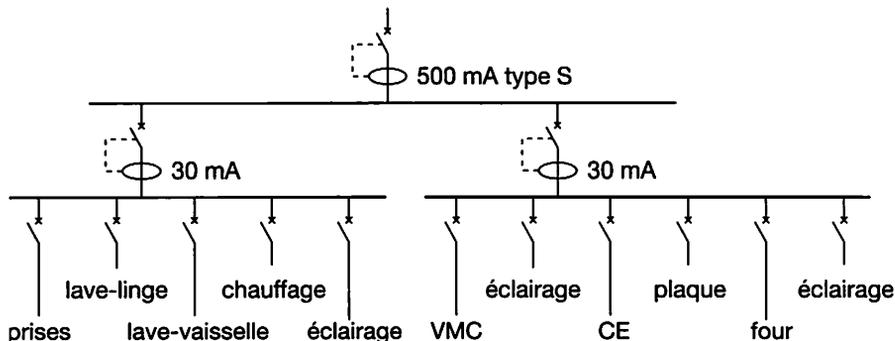
Ce schéma précise le circuit d'un appareil et de sa commande, ce schéma ne tient pas compte de la position réelle des appareils.

## Le schéma multifilaire



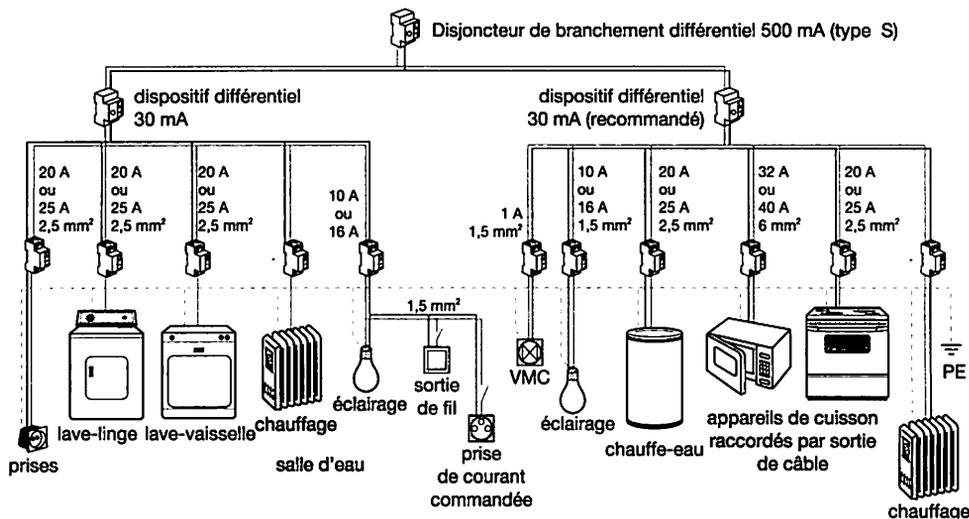
Ce schéma détaille les liaisons entre appareils ; ainsi les conducteurs sont représentés en nombre et selon leurs connexions.

## Le schéma unifilaire



Ce schéma donne l'architecture globale de l'installation, un seul trait représente la liaison entre deux appareils, toutefois on peut indiquer le nombre de fils.

## Le schéma d'une installation en volumique



section des conducteurs et intensité assignée  
des disjoncteurs fonction de la puissance des convecteurs

Sur ce schéma, on constate des valeurs spécifiques pour le type et le calibre des disjoncteurs de protection, ainsi que pour les sections des conducteurs.

La présence de deux circuits permet, en cas de coupure par un disjoncteur différentiel, de conserver une partie de l'éclairage.

Ce schéma est destiné à être présenté au grand public dans le but de mieux montrer la structure de l'installation, ce schéma est surtout réservé au tableau d'abonné.

Les caractéristiques principales des appareils utilisés sont inscrites sur ce schéma, il est souvent pratique de connaître le calibre d'un fusible lors d'une opération de maintenance.

## Objectif

Présenter les différents textes et dispositions devant être appliqués lors de la construction d'une installation électrique, surtout dans le domaine pavillonnaire en basse tension.

## Choix des sections et protection des circuits

Nature du circuit	Section en mm <sup>2</sup> (cuivre)	Calibre disjoncteur	Conditions
Éclairage	1,5	10	8 points maxi
Prise de courant	2,5	25	8 socles maxi
Chauffe eau	2,5	25	Circuit spécialisé
Machine à laver	2,5	25	Circuit spécialisé
Appareil de cuisson	6	38	Circuit spécialisé
Chauffage < 4000 W	2,5	25	Circuit spécialisé
Chauffage < 6000 W	4	32	Circuit spécialisé

## Couleurs des conducteurs

Phase	rouge (noir ou brun)
Neutre	bleu
Liaison interrupteur / lampes	orange
Navettes (va-et-vient)	violet
PE (terre ou masse)	vert / jaune

## Conduits tubulaires standards

Conduit		Ancienne désignation	Nouvelle désignation
	conduit isolant flexible cintrable et déformable (orange)	ICD-6	ICTL-3421
	conduit isolant flexible cintrable et déformable (existe aussi en orange)	ICT-6	ICTA-3422
	tube isolant rigide ordinaire (gris)	IRO-5	IRL-3321
	tube isolant flexible cintrable ordinaire (gris)	ICO-5	ICA-34321

Les diamètres standards normalisés sont : 16 ; 20 ; 25 ; 32 ; 40 ; 50 ; 63.

Ces conduits doivent laisser passer facilement les conducteurs ; en pratique on n'utilise qu'une faible partie de la section (environ 1/3).

**Sections intérieures des conduits ICA ; ICTA ; ICTL**

<b>Diamètre en mm</b>	16	20	25	32	40	50	63
<b>Section en mm<sup>2</sup></b>	30	52	88	155	255	410	724

**Désignation**

20 ICTL veut dire : diamètre 20 mm, conduit isolant cintrable sans outil, transversalement élastique, lisse.

Le raccordement de ces conduits entre eux se fait à l'aide de manchons.

**Moulures et goulottes**

En montage apparent, ces conduits sont inesthétiques ; par ailleurs, ils nécessiteraient de nombreux points de fixation (colliers...).

En apparent, on utilise des goulottes ou moulures fixées par pointes ou vis sur les cloisons (souvent complété par un collage).

Les appareillages peuvent se fixer directement sur cette moulure. Des tés, équerres, embouts permettent d'obtenir une finition propre.

Ces goulottes ou moulures possèdent un couvercle « clipsé » sur le socle, ce qui en permet l'ouverture et la fermeture sans détériorer l'ouvrage.

Cette particularité est très appréciée par les professionnels chargés de la maintenance.

En principe, une ou deux cloisons séparent les emplacements réservés aux câbles, les « courants faibles » devant être séparés des « courants forts ».

**Dimensions et capacités des goulottes en PVC (norme NF C 08 104)**

<b>L x H en mm</b>	<b>20 x 12,5</b>		<b>32 x 12,5</b>		<b>40 x 12,5</b>		<b>32 x 16</b>		<b>32 x 20</b>	
<b>Section</b>										
<b>1,5 mm<sup>2</sup></b>	10	4	4	19	8	8	9	9	25	34
<b>2,5 mm<sup>2</sup></b>	6	2	2	12	5	5	6	6	16	22
<b>4 mm<sup>2</sup></b>	4	2	2	10	3	3	5	5	15	9
<b>6 mm<sup>2</sup></b>	3	1	1	4	2	2	2	2	7	11
<b>D maxi</b>	9	6,5	6,5	2 x 10	9	9,5	9,5	9,5	13	18
<b>S en mm<sup>2</sup></b>	160	70	70	285	120	120	135	135	275	500

## Objectif

Présenter les principales caractéristiques des câbles et des conducteurs utilisés dans les installations domestiques, en livraison d'énergie, en courants faibles, téléphonie...

## Le câble faisceau de branchement aérien

Document de normalisation : UTE NF C 33 209.

Tension nominale : 0,6 / 1kV.

Les câbles faisceaux de branchement aérien sont constitués de 2 ou 4 conducteurs en aluminium revêtus d'une gaine isolante en polyéthylène réticulé torsadés entre eux avec un pas à droite.

Charge de rupture du faisceau : > 500 daN.

Température admissible sur l'âme : 90 °C.

Température maximale en court circuit : 250 °C.

Diamètre extérieur	Masse au km de câble	Nb et section des conducteurs	Intensité admissible	Chute de tension par A et par km
mm	kg	mm <sup>2</sup>	A	V (cos = 0,8)
14,5	135	2 × 16	72	4
17,5	265	4 × 16	63	3,5
18	210	2 × 25	95	2,6
22	405	4 × 25	83	2,2

## Le câble utilisé en téléphonie

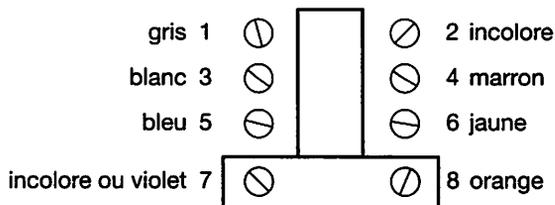
Le câble de téléphonie possède une âme massive en cuivre pour chaque conducteur de 0,4 à 0,6 mm de diamètre, en général. Les enveloppes isolantes des conducteurs et la gaine extérieure sont en polyéthylène.

Ces conducteurs sont répartis en « quartes » et repérés ainsi :

Quartes N°	Paire N°	N° des fils	Couleur
1	1	1	Gris
1	1	2	Blanc
1	2	3	Incolore
1	2	4	Bleu
2	3	1	Gris
2	3	2	Jaune
2	4	3	Incolore (violet)
2	4	4	Marron

## Repérage d'une prise de téléphone

Pour des raisons de sécurité, les courants faibles (téléphone) doivent être séparés des courants forts (EDF).



Les câbles utilisés dans la distribution d'énergie (installations domestiques) Les conducteurs H07V-K et H07 V-U sont isolés au PVC avec âme souple (K) ou âme rigide (U).

Tension nominale : 450 / 750 Volts.

Température de l'âme en permanence : 70 °C.

Température en court circuit : 160 °C.

Documents de normalisation : NF C 32 201- 2 ou 3.

### Câbles cuivre H07 V-U

Diamètre	Section	Intensité		Chute de tension	
		2 conducteurs	4 conducteurs	monophasé	triphasé
mm	mm <sup>2</sup>	A	A	V/A et /km	V/A et /km
3	1,5	17,5	14	23	20
3,6	2,5	24	19	14	12
4,2	4	32	25	8,9	7,7
4,7	6	41	32	6	5,2
6	10	57	44	3,6	3,1
6,7	16	76	59	2,3	2
8,5	25	96	77	1,5	1,3
9,5	35	119	95	1,1	0,95
11,5	50	144	115	0,84	0,72
13	70	184	147	0,6	0,52

La chute de tension se calcule par :  $\Delta U = k \times I \times L$  ;  
avec  $L$  longueur de la ligne.

### Repérage des conducteurs

Par coloration dans la masse : bleu clair ; brun ; noir ; orange ; rouge ; vert et jaune (conducteur de protection).

### Câble U 1000 R2V

Ce câble possède une âme rigide en cuivre ou en aluminium, et une enveloppe isolante en polyéthylène réticulé, la gaine extérieure étant en PVC.

Tension nominale : 0,6 / 1 kV.

Température de l'âme en permanence : 90 °C ; en court circuit : 250 °C.

## Objectif

Montrer que les tarifs vert et jaune nécessitent un facteur de puissance élevé, car l'énergie réactive est facturée soit directement en l'évaluant, soit indirectement au travers de la puissance apparente.

## Loi fondamentale

Puissance apparente :

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

Avec des condensateurs :

$$Q_c = U^2 C \omega.$$

Avec :  $Q_c$  en var ;  $C$  en farad ;  $\omega$  pulsation en rd/s.

Analyse d'un document constructeur de transformateur sec enrobé

Puissance kVA	Courant nominal A	Courant à vide %	Puissance réactive (kvar)	
			à vide	en charge
160	225	2,5	4	13,1
250	352	2,1	5,2	19,7
400	563	1,7	6,7	30,1
630	887	1,4	8,7	45,7
800	1126	1,3	10,2	57,5
1000	1408	1,3	12,8	71,9
1250	1760	1,3	16	89,7
1600	2253	1,3	20,6	115,3

## Calculs et résultats

Supposons une installation possédant un transformateur de 160 kVA fonctionnant à pleine charge, le facteur de puissance des récepteurs étant globalement de 0,866. Le contrat souscrit est au tarif jaune.

*Déterminer la puissance à souscrire en détaillant les différentes puissances mises en jeu.*

Puissance active aux récepteurs :  $P_r = 138 \text{ kW}$ .

Puissance réactive aux récepteurs :  $Q_r = 80 \text{ kvar}$ .

Puissance réactive au transformateur :  $Q_t = 13,1 \text{ kvar}$ .

La puissance apparente est donc :  $S = 166 \text{ kVA}$ .

Cette puissance diffère peu de la puissance nominale du transformateur.

Essayons de compenser la puissance réactive due aux deux éléments, installation et transformateur, en relevant le facteur de puissance.

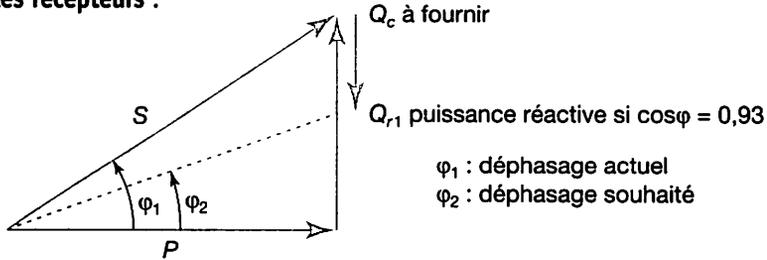
Pour 138 kW utiles aux récepteurs, nous devons obtenir :

$$S = \frac{P}{\cos\varphi}, \text{ donc : } S = 148 \text{ kVA}$$

Compensation

Il convient de compenser totalement le transformateur, car il est branché en permanence et donc son facteur de puissance doit être ramené à 1.

Pour les récepteurs :



Il convient de compenser partiellement les récepteurs de manière à obtenir un facteur de puissance de 0,93.

Puissance réactive à 0,93 :  $Q_{r1} = 54,5 \text{ kvar.}$

La puissance réactive totale à générer à l'aide de condensateurs est donc :

$$Q_{ct} = (80 - 54,5) + 13,1 = 38,6 \text{ kvar.}$$

Les constructeurs proposent des batteries de compensation.

En 400 V

Puissance $Q_c$ en kvar	Disjoncteur calibre en A
10	20
20	40
30	80
40	100
50	100
60	125

En 230 V

Puissance $Q_c$ en var	Disjoncteur calibre en A
5	20
10	32
15	80
20	100
25	100
30	100

Dans cet exemple nous choisisons :

- une batterie de 15 kvar pour le transformateur (en 230 V, donc couplage étoile si l'on suppose que le réseau est  $3 \times 400 \text{ V}$ ) ;
- une batterie de 25 kvar en 400 V pour la compensation des récepteurs ( $80 - 54,5 = 25,5 \text{ kvar}$  à compenser).

**Remarque** : le contrat en tarif jaune peut être abaissé de 10 kVA (150 au lieu de 160) pour une même puissance active absorbée par les récepteurs.

## Objectif

Déterminer s'il convient de compenser chaque récepteur ou d'installer les condensateurs en un point particulier de l'installation, à l'origine par exemple.

## Loi Fondamentale

Énergie réactive :  $W_r = Q \times t$ , avec :  $W_r$  en kvarh et  $Q$  en kvar.

## Calculs et résultats

Supposons une installation ainsi conçue, dans un atelier de fabrication de sous-ensembles mécaniques.

Transformateur : 20 kV / 400 V, puissance 1000 kVA.

Contrat EDF souscrit au tarif vert.

### Puissances installées

– Éclairage : 50 kVA parfaitement compensé à 0,93.

– 20 presses équipées de moteurs 6 pôles :

$$P_u = 18,5 \text{ kW} ; \eta = 0,895 ; \cos\varphi = 0,80.$$

– 26 machines outils équipées de moteurs 4 pôles :

$$P_u = 11 \text{ kW} ; \eta = 0,878 ; \cos\varphi = 0,85.$$

Le temps de fonctionnement des matériels est de 16 h par jour pendant 5 jours, car l'atelier travaille en deux équipes de 8 h. Les presses et les machines-outils sont organisées en îlots de 8 machines (4 presses et 4 machines outils) et un îlot de 6 machines outils.

*Déterminer les puissances réactives à compenser et la puissance active de chaque machine. Comment doit-on compenser cette installation ?*

	Puissance utile kW	Puissance absorbée kVA	Puissance réactive kvar	Nombre	S totale kVA	Q totale kvar
Éclairage	46,5	50,0	18,4	1,0	50,0	18,4
Presse	18,5	25,8	15,5	20,0	516,8	310,1
Machine outils	11,0	14,7	7,8	26,0	383,2	202,0
<b>Total</b>	<b>785,6</b>				<b>950,0</b>	<b>530,4</b>

En analysant ce tableau nous constatons que :

- l'éclairage n'est pas à compenser ;
- la compensation des machines est différente pour les presses ou les machines outils.

Par ailleurs le transformateur consomme une puissance réactive à pleine charge de 71,9 kvar, ce transformateur est branché en permanence.

Choix des condensateurs

Puissance à compenser par presse :  $Q_p = (15,5 - 10,3) = 5,2$  kvar.

Puissance à compenser par machine outils :  $Q_m = (7,8 - 5,9) = 1,9$  kvar.

Puissance à compenser par îlot :  $Q_i = (5,2 + 1,9) \times 4 = 28,4$  kvar.

Le choix portera sur une batterie de 30 kvar par îlot.

Compensation du transformateur

On choisira une batterie de 40 kvar et une de 30 kvar en parallèle.

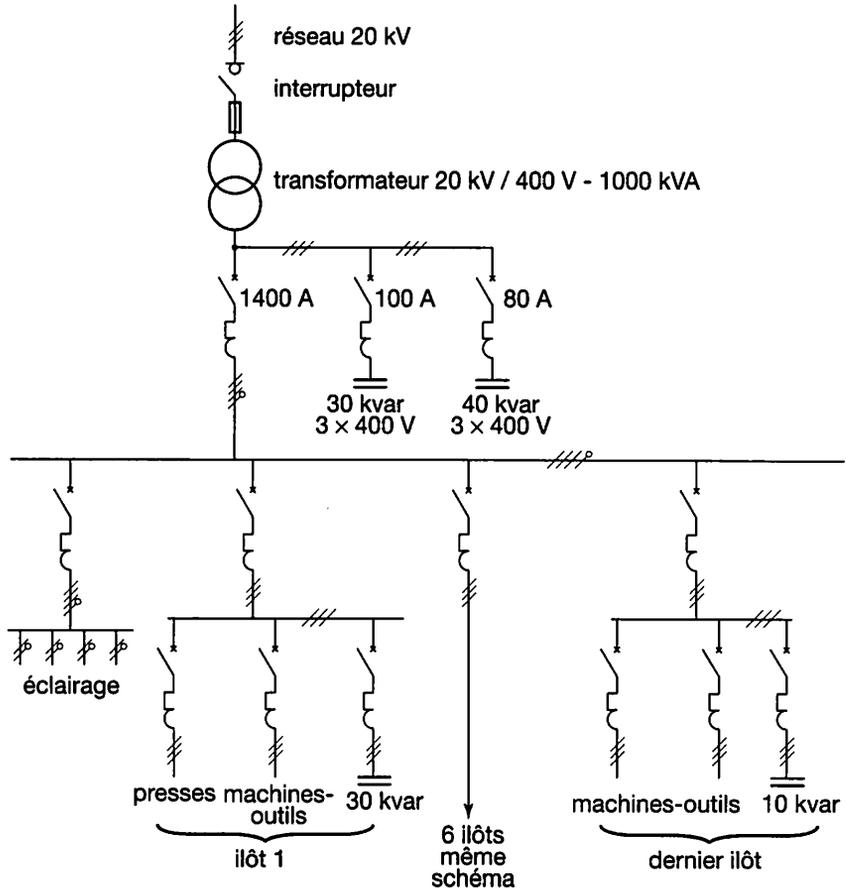
Dernier îlot

Puissance réactive à compenser :  $Q_d = 1,9 \times 6 = 11,4$  kvar.

Donc une batterie de 10 kvar.

**Remarque** : la puissance apparente est ramenée à 844 kVA, nous disposons donc d'une réserve de 150 kVA (au lieu de 50 kVA) pour une extension future de l'atelier.

Schéma de l'installation



## Objectif

Déterminer les caractéristiques des câbles et des appareils constitutifs d'une installation de distribution d'énergie.

## Cahier des charges

Une usine de fabrication d'aliments pour bétail est constituée de plusieurs bâtiments.

### Bâtiment A

Les bureaux consomment 10 kVA en éclairage compensé de facteur de puissance 0,93 et une puissance de 3 kW pour les ordinateurs et imprimantes que l'on peut considérer à facteur de puissance égal à 1.

### Bâtiment B

Un atelier de fabrication consommant 130 kW avec un facteur de puissance mesuré de 0,82.

### Bâtiment C

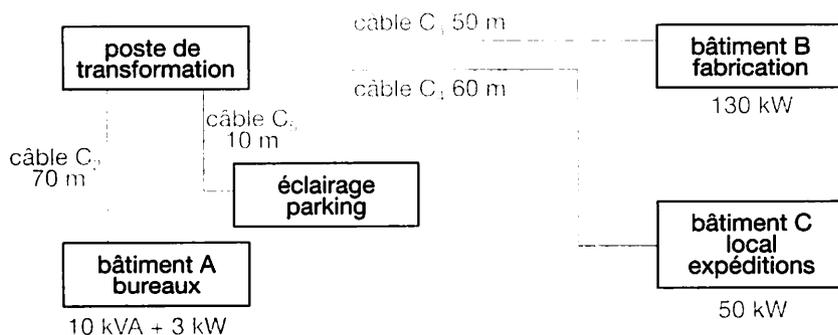
Un local d'expédition composé de tapis roulants et de moyens de manutention évalué à 50 kW avec un facteur de puissance de 0,85.

### Parking

Un parking permettant l'accueil des camions, notamment la nuit, avec 10 lampadaires équipés de lampes de 1000 W à incandescence.

Les bâtiments sont répartis ainsi, les distances sont indiquées sur le plan.

### Plan du site



### Calculs et résultats

Bâtiment	Puissance active kW	cosφ	Puissance réactive kvar	Puissance apparente kVA	Intensité A
A bureaux	9,3	0,93	3,7	10	14
A bureaux	3	1	0,0	3	4
B atelier	130	0,82	90,7	159	229
C expédition parking	50	0,85	31,0	59	85
	10	1	0,0	10	14
<b>Somme</b>	<b>202,3</b>		<b>125,4</b>	<b>238</b>	<b>344</b>

### Commentaires et conseils

Il convient de préciser le schéma de la distribution, mais aussi de choisir les appareils utilisés. Pour cela, nous consulterons les fiches traitant du modèle du transformateur et du choix des câbles.

Le calibre des appareils de protection sera pris à la valeur supérieure de l'intensité la plus proche.

La présence d'éclairage et d'appareils informatiques en 230 V impose une distribution du neutre monophasé.

Transformateur : 20 kV / 400V  $S = 250$  kVA  $R_t = 8,7$  mΩ  $X_t = 37,4$  mΩ

Disjoncteur  $D_1$  350 A courbe C 4 pôles Câble  $C_1$  185 mm<sup>2</sup> aluminium

Disjoncteur  $D_2$  20 A courbe C 4 pôles Câble  $C_2$  4 mm<sup>2</sup> cuivre

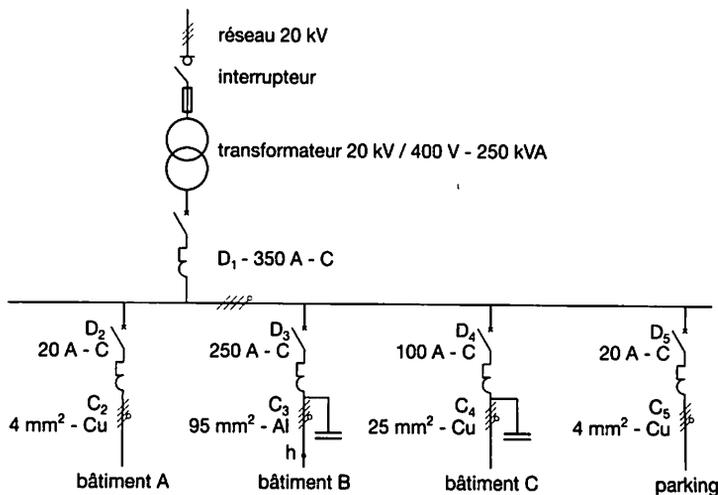
Disjoncteur  $D_3$  250 A courbe C 4 pôles Câble  $C_3$  95 mm<sup>2</sup> aluminium

Disjoncteur  $D_4$  100 A courbe C 4 pôles Câble  $C_4$  25 mm<sup>2</sup> cuivre

Disjoncteur  $D_5$  20 A courbe C 4 pôles Câble  $C_5$  4 mm<sup>2</sup> cuivre

Le pouvoir de coupure des disjoncteurs sera pris égal à 10 kA.

### Schéma de l'installation



## Objectif

Il s'agit de donner des éléments de technologie des aimants, leur constitution, leurs caractéristiques et leur emploi.

## Grandeurs caractéristiques

**L'induction rémanente  $B_r$** , s'exprime en tesla.

C'est la magnétisation résiduelle (ou la densité de flux) qui subsiste dans un aimant qui a été magnétisé en circuit fermé jusqu'à saturation.

**Le champ coercitif  $H_c$** , s'exprime en A/m (ampère par mètre).

C'est le champ magnétique contraire que l'on doit utiliser pour démagnétiser l'aimant.

**Le produit d'énergie  $B \times H$  maximal** en kJ/m<sup>3</sup>.

Le produit  $B \times H$  représente la qualité de l'aimant ou encore la valeur de l'énergie que pourrait fournir l'aimant.

## Matériaux utilisés dans les aimants

**Baryum Ferrite** lié par matériau synthétique (anisotrope) : 180 kJ/m<sup>3</sup>.

**Baryum fritté** (anisotrope) : 25 kJ/m<sup>3</sup>.

Les ferrites de baryum ou de strontium sont constituées à partir d'oxydes métalliques (BaO<sub>2</sub> ou SrO<sub>2</sub> alliées aux Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) sont disponibles en grande quantité et peu coûteuses.

**AlNiCo** : 36 kJ/m<sup>3</sup>.

Les aimants AlNiCo à base d'alliages de métaux, aluminium, nickel, cobalt, ainsi que fer, cuivre, titane sont coulés au sable ou frittés.

**Samarium Cobalt** lié par matériau synthétique : 64 kJ/m<sup>3</sup>.

**Néodyme Fer Bore** lié par matériau synthétique : 80 kJ/m<sup>3</sup>.

**Samarium Cobalt** (aimant Delta SmCo) : 180-225 kJ/m<sup>3</sup>.

**Néodyme Fer Bore** (aimant Néo Delta NdFeB) : 385 kJ/m<sup>3</sup>.

Les aimants haute énergie Samarium-cobalt ou Néodyme-fer-bore sont dits en terres rares, encore appelées lanthanides (éléments de nombre atomique 57 à 71 sur la classification de Mendeleiev).

Ces aimants en terres rares sont d'un coût élevé, mais de performances très grandes, ils sont utilisés pour des aimants de petits volumes.

## Caractéristiques

Matériau	Énergie $B \times H$ KJ/m <sup>3</sup>	Rémanence coercitif T	Champ kA/m	Température maximum d'utilisation °C	Commentaires
Betaflex BaFe Baryum	12	0,245	175	100	Plaques usinable
Ferrite dure Sr Fe	25,5	0,365	175	200	Produit courant
AlNiCo	36	1,15	48	450	T° et Br élevées
Samarium Cobalt Synthétique	56 - 64	0,55-0,59	360-416	80	Usinable
Néodyme Fer Bore Synthétique	80	0,68	460	150	Usinable
Samarium Cobalt SmCo5	180	0,95	720	250	Br élevée
Samarium Cobalt Sm2 Co17	195-225	1-1,1	690-820	300	Br très élevée
Néodyme Fer Bore NdFeB	220-255	1,08-1,16	795-880	100-180	Aimant le plus puissant

D'après BINDER, fabricant d'aimants.

## Point de Curie

Le point de Curie définit la température à laquelle le matériau magnétique perd toutes ses qualités magnétiques, notamment sa capacité de conserver une aimantation rémanente.

Ce point de Curie est situé entre 310 °C (Néodyme Fer Bore) et 725 °C (Samarium Cobalt) ou encore 860 °C (Al Ni Co).

La température d'utilisation de l'aimant doit se situer bien en dessous de cette valeur limite du point de Curie.

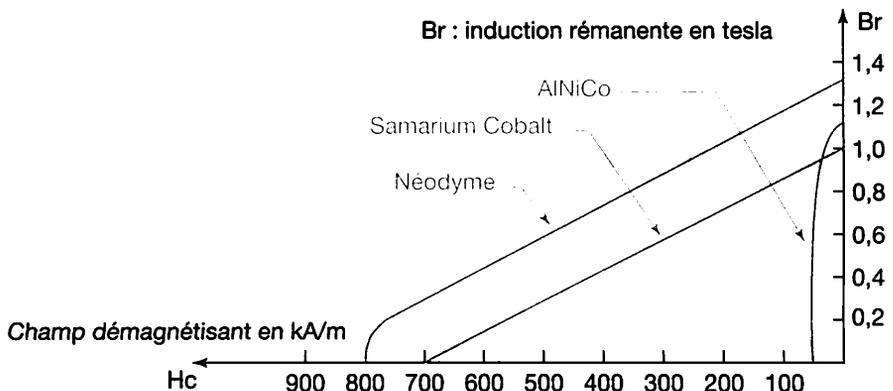
## Perméabilité

La perméabilité de l'air est de l'ordre de  $4\pi \times 10^{-7}$  cette grandeur  $\mu_0$  est le rapport  $B/H$  en l'absence de matériau magnétique.

La perméabilité du fer est mille fois supérieure.

Matériau	Ba Fe	Al Ni Co	Samarium	Néodyme	Air
Perméabilité	$14 \times 10^{-7}$	$50 \times 10^{-7}$	$10,5 \times 10^{-7}$	$10,7 \times 10^{-7}$	$12,5 \times 10^{-7}$

## Courbes caractéristiques



### Objectif

Les électroaimants sont utilisés en particulier dans les immeubles recevant du public pour gérer la fermeture des portes coupe feu.  
On étudiera, l'action de l'aimant pour le maintien et l'électroaimant pour l'annulation de la force de maintien.

### Loi fondamentale

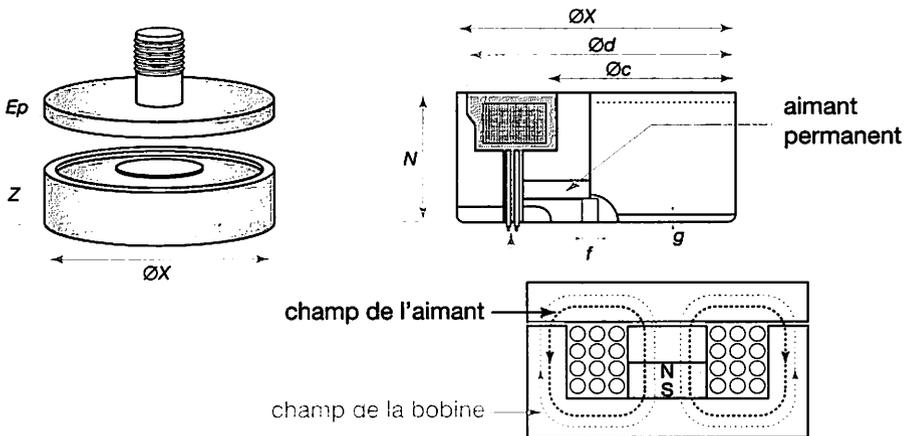
Tension générée par un bobinage :  $V = L \frac{di}{dt}$

avec :  $V$  en volts ;  $L$  en henrys ;  $\frac{di}{dt}$  en A/s.

Couple :  $T = F \times D$ .

avec :  $T$  couple en N.m ;  $F$  force appliquée en newton ;  $D$  distance au point d'application en mètre.

### Constitution d'une ventouse à coupure électrique



La bobine crée un champ qui annule celui de l'aimant.

### Caractéristiques des électroaimants (ventouses)

N°	ØX mm	Z mm	Force N	Puissance W	Épaisseur Ep mm
1	20	15	112	2,2	2,5

N°	ØX mm	Z mm	Force N	Puissance W	Épaisseur Ep mm
2	25	20	140	3,2	3
3	25	20	240	3,2	3,5
4	32	22	230	3,6	3,6
5	30	25	355	4,1	4
6	40	25,5	475	5,2	4,5

Ces ventouses existent en 12 V, 24 V ou 48 V.

Analysons ces caractéristiques

La résistance d'une ventouse N° 3 (en 24 V) est :

$$R = \frac{U^2}{P} = 165 \, \Omega, \text{ donc : } I = 0,145 \, \text{A.}$$

Par ailleurs le constructeur précise que son inductance est  $L = 30 \, \text{mH}$ .

## Calculs et résultats

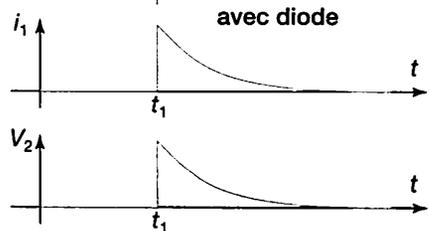
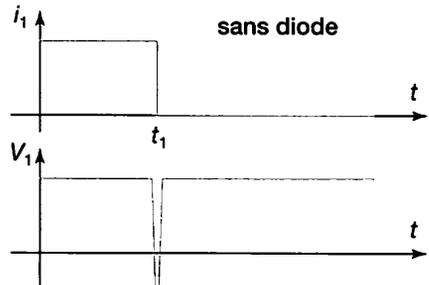
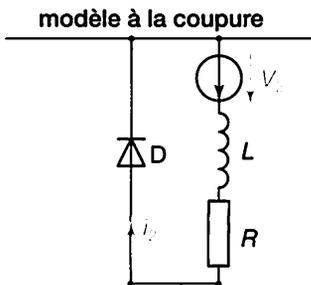
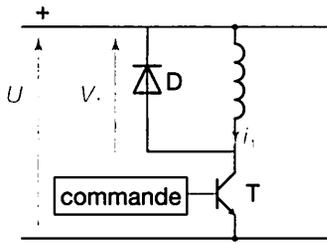
Supposons maintenant que la ventouse soit commandée par un système électronique, selon le schéma ci-dessous, le temps de coupure étant voisin de  $10 \, \mu\text{s}$ .

Évaluons la vitesse de décroissance du courant  $\frac{di}{dt}$  :  $14500 \, \text{A/s}$ .

La surtension devient :  $V = 30 \cdot 10^{-3} \times 14,5 \cdot 10^3 = 435 \, \text{V}$ .

**Cette surtension devient perturbatrice** pour le circuit et les autres appareils branchés. Nous devons mettre en œuvre un circuit d'aide à la commutation.

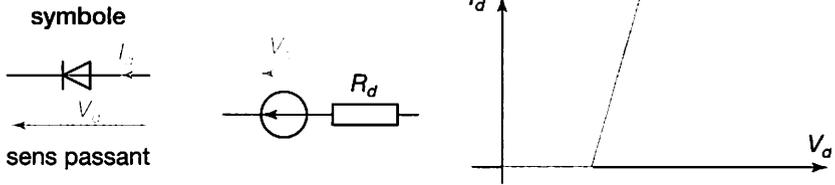
### Schéma



### Objectif

Étudier la conversion alternatif continu à l'aide de redresseur équipés de diodes.

### Modélisation du composant



Sigles utilisés pour les grandeurs :

$I_{fov}$  : courant moyen permanent ;

$I_{frms}$  : courant efficace ;

$V_{rrm}$  : tension inverse de pointe répétitive ;  $V_s$  : tension de la fem équivalente.

Caractéristiques de quelques diodes

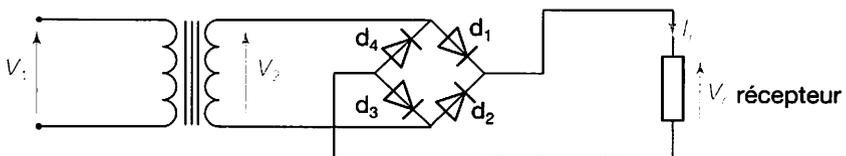
Type	$V_{rrm}$ V	$I_{fov}$ A	$I_{frms}$ (10 ms) A	$V_s$ à $I_f$ (V) (A)	$T_j$ °C	$I^2t$ A <sup>2</sup> ·s
BA158	600	1	35	1,3 1	150	3,12
BY398	400	3	100	1,3 3	150	28
BY239-600	600	10	120	1,4 10	150	
BYX62-600	600	20	225	1,4 20	150	250
1N188	400	40	700	1,5 40	150	
1N913	400	30	300	1,4 30	150	450

### Calculs et résultats

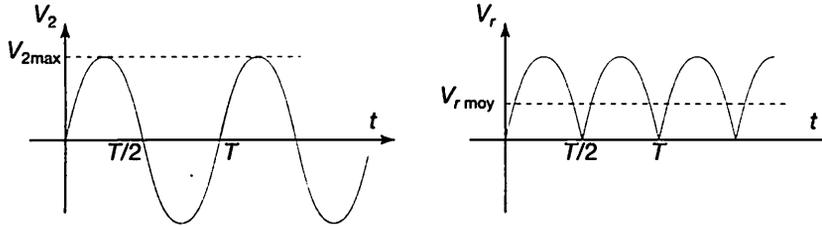
Un redresseur double alternance alimente sous 120 V continu un récepteur absorbant 2,8 A.

Définir les caractéristiques du transformateur, alimenté à partir du réseau monophasé 230 V.

Montage



## Courbes caractéristiques



En négligeant la chute de tension dans les diodes et en considérant le récepteur assimilé à une résistance pure.

La valeur moyenne de  $V_r$  est : 
$$V_r = \frac{2}{\pi \times V_{\max}}$$

La valeur efficace de  $V_r$  est identique à celle de  $V_2$ , donc :

$$V_{r \text{ eff}} = \frac{V_{2 \text{ max}}}{2}$$

La valeur moyenne souhaitée est 120 V donc :

$$V_{\max} = 188 \text{ V.}$$

La valeur efficace au secondaire est donc :

$$V_{2 \text{ eff}} = 133 \text{ V.}$$

Un calcul identique donne :  $I_{r \text{ max}} = 4,4 \text{ A}$  ;  $I_{r \text{ eff}} = 3,1 \text{ A}$ .

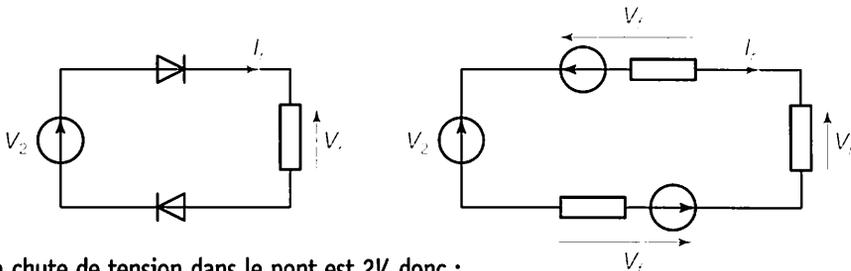
La diode choisie pourrait être By398 ( $V_f = 1,3 \text{ A}$ ).

**Le transformateur doit avoir comme caractéristiques :**

primaire : 230 V ; secondaire : 133 V ; courant : 3,1 A.

Prise en compte de la chute de tension dans les diodes

Schéma équivalent à une branche du pont.



La chute de tension dans le pont est  $2V_f$ , donc :

$$2 \times 1,3 = 2,6 \text{ V.}$$

Le calcul donne :  $V_{2 \text{ max}} = \frac{(120 + 2,6) \times \pi}{2} = 192,5$  ;  $V_{2 \text{ eff}} = 136 \text{ V}$ .

La puissance au secondaire serait donc :

$$V_{2 \text{ eff}} \times I_{\text{eff}} = 422 \text{ VA.}$$

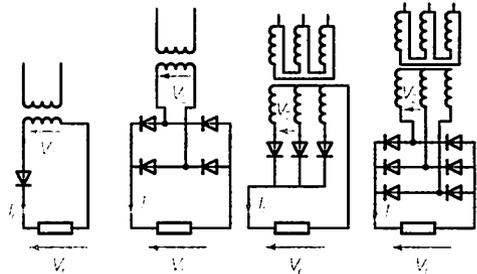
Objectif

On se propose de déterminer les principaux éléments d'un convertisseur alternatif - continu et de son transformateur associé.

Les montages sont codifiés au plan européen, selon leur organisation.

Grandeurs caractéristiques

Schéma du convertisseur



Symbole CEI		E1	B2	M3	B6
Courant moyen par diode	$I_{d\text{ moy}}/I_r$	1	0,5	0,333	0,333
Courant efficace par diode	$I_{\text{eff}}/I_r$	1,57	0,786	0,577	0,577
Courant eff dans un enroulement	$I_{\text{eff}}/I_r$	1,57	1,11	0,577	0,816
Courant de crête répétitif/diode	$I_{\text{fm}}/I_r$	3,14	1,57	1,21	1,05
Tension inverse d'une diode	$V_{\text{mm}}/V_c$	3,14	1,57	2,1	1,05
Tension de sortie à vide	$V_r/V_2$	0,45	0,9	0,67	1,35
P apparente au secondaire	$S_2/V^2 I_r$	3,5	1,23	1,48	1,05
P apparente au primaire	$S_1/V^2 I_r$	2,68	1,23	1,23	1,05

Ces valeurs concernent un débit sur résistance et une pleine conduction des diodes, les pertes du transformateur étant négligées.

Calculs et résultats

Supposons une installation de traitement de surfaces de pièces d'automobile (nickelage), la cuve de traitement nécessite 850 A sous 10 V, le montage utilisé est M3.

Déterminer :

Les diodes à utiliser et leur fusible de protection.

Les grandeurs du transformateur alimenté par le réseau 3 × 400 V.

Au récepteur, les grandeurs sont :

$$V_r = 10V ; I_r = 850 A.$$

Dans une diode

$$I_{d \text{ moy}} = 280 A ; I_{d \text{ eff}} = 490 A ; U_{\text{inverse}} = 21 V.$$

Choix de la diode :  $I_{\text{moy}} = 320 A ; V_f = 1,4 V ; R_d = 1,8 \text{ m}\Omega.$

**Transformateur**

Chute de tension dans une diode :

$$V_d = V_f + R_d \times I_{\text{eff}} = 2,3 V.$$

Tension nécessaire au secondaire : 12,3 V.

**Remarque :** le redresseur représente environ 23 % de la chute de tension de l'installation.

Puissance au secondaire (avec  $V_2 = 12,3 V$ ) :

$$S_2 = 1,48 V_2 I_r = 15 473 \text{ VA.}$$

Puissance au primaire :

$$S_1 = 1,23 V_2 I_r = 12 860 \text{ VA.}$$

**Fusible de protection**

La contrainte thermique de la diode est  $15 000 \text{ A}^2 \cdot \text{s}$ , il conviendra de rechercher un fusible de calibre 300 A dont la contrainte thermique est inférieure à  $15 000 \text{ A}^2 \cdot \text{s}$ .

## Commentaires et conseils

Les valeurs du côté du récepteur sont souvent énoncées en valeurs moyennes.

Les composants, fusibles, transformateur sont choisis à partir des valeurs efficaces.

## Exercice pour s'entraîner

Un redresseur doit fournir 40 A sous 48 V pour alimenter une installation de lumière de secours en permanence.

La batterie qui se trouve en « flotting », en parallèle sur les lampes, ne sera pas prise en compte car son courant de charge est négligeable par rapport à celui des lampes.

Le montage utilisé est un montage B2.

*Calculer les grandeurs dans les diodes et dans le transformateur.*

*Déterminer la puissance si, pour une diode,  $V_s = 1,3 V$  et sa résistance  $R_d$  est de  $5 \text{ m}\Omega$ .*

*(On prendra  $R_{\text{th jc}} + R_{\text{th ch}} = 0,5 \text{ }^\circ\text{C/W}$  et  $\theta_{\text{jc}} = 120 \text{ }^\circ\text{C}$  et  $\theta_a = 30 \text{ }^\circ\text{C}$ .)*

Au récepteur :  $V_r = 48 V ; I_r = 40 A.$

Dans une diode :  $I_{\text{moy}} = 20 A ; I_{\text{eff}} = 31 A ; V_{\text{rm}} = 75 V.$

Pertes dans une diode :

$$P = 31 \text{ W} ; R_{\text{th}} = 2,9 \text{ }^\circ\text{C/W} ; \text{ donc } R_{\text{th ha}} = 2,4 \text{ }^\circ\text{C/W.}$$

**Transformateur**

Puissance au secondaire :  $S_2 = 1,23 V_2 I_r = 2 362 \text{ VA.}$

## Objectif

On se propose de donner les principales informations sur le comptage, la mesure d'énergie et de puissance

### Présentation

L'énergie est mesurée par EDF à des fins de facturation selon les termes du contrat, mais certaines entreprises mesurent également l'énergie consommée par certaines activités afin de définir le coût réel d'un produit ou d'un service, ainsi que pour faire des économies d'énergie.

La livraison d'énergie en tarif vert et jaune s'effectue souvent sous HTA 20 kV ; il est impensable que le compteur (dont l'information doit rester accessible par le client) soit raccordé sous 20 kV.

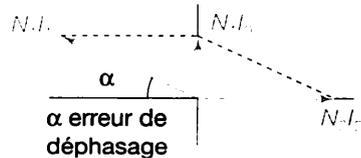
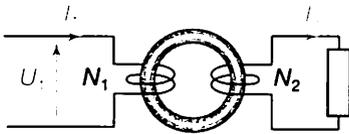
Le comptage s'effectue souvent sous 100 V ou 100/3 V à l'aide d'un transformateur 20 kV/100 V.

De même, les intensités sont trop importantes, on abaisse la valeur de comptage à 5 ou 1 A, ainsi les circuits secondaires sont isolés (et reliés à la terre) afin de protéger l'utilisateur.

## Loi fondamentale

La relation qui s'applique au transformateur est :

$$\vec{N}_1 \vec{I}_1 + \vec{N}_2 \vec{I}_2 = \vec{N}_1 \vec{I}_0$$



Le terme  $N_1 I_0$  doit être le plus faible possible pour obtenir une bonne précision ( $I_2$ , image de  $I_1$ , doit être fidèle en module et en phase).

### Précaution

Le transformateur de courant doit être utilisé dans sa gamme de puissance pour garantir sa précision.

Le transformateur de courant doit toujours avoir son secondaire fermé sur une résistance de faible valeur.

## Caractéristiques des transformateurs de courant

<b>Tension d'isolement en kV</b>	7,2	12	17,5	24	36
<b>Courant primaire en A</b>	10	15	20	30	50
<b>Courant secondaire en A</b>	1	5			
<b>Puissance de précision en VA</b>	5	10	15	30	

## Classe de précision

La classe de précision définit les limites d'erreurs garanties en :

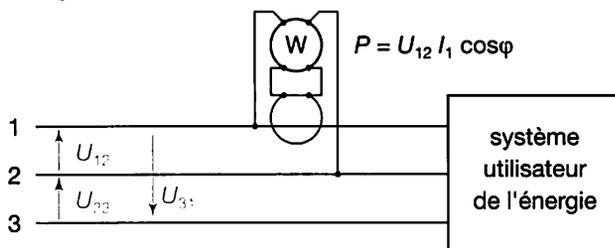
- erreur de courant en % ;
- déphasage ou erreur de phase en minutes d'angle.

Classe de précision	Erreur de courant %	Erreur de déphasage minute d'angle
0,2	0,2	10
0,5	0,5	30
1	1	60
3	3	Pas de limite

## Utilisation des transformateurs de courant

Pour mesurer la puissance absorbée par un système, il est souvent intéressant d'utiliser un équipement de mesure isolé. Par exemple, on utilise souvent des classes de précision de 0,2 ou de 0,5.

## Schéma de montage



## Calculs et résultats

La puissance réelle qui sera absorbée par le système est, dans l'hypothèse d'un système parfaitement équilibré :

$$P = U_{12} I_1 \sqrt{3} \cos\varphi.$$

Supposons que nous utilisons un transformateur de courant, primaire 50 A, secondaire 5 A et un wattmètre de calibre 5 A et 400 V.

La lecture à pleine échelle est :  $400 \times 5 = 2\,000$  W ou encore 2 kW.

L'interposition du transformateur de courant multiplie par 10 l'échelle de puissance qui peut mesurer le wattmètre.

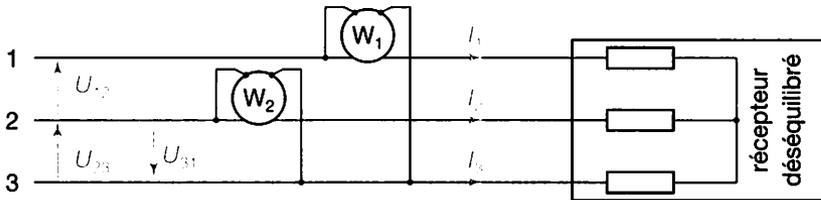
Ce montage permet de mesurer jusqu'à 20 kW (50 A sous 400 V = 20 kW).

L'indication du wattmètre est donc à multiplier par  $k_c = 10$  pour obtenir la puissance réelle.

**Objectif**

La mesure d'énergie se fait très souvent sur des systèmes déséquilibrés car l'utilisateur ne peut pas parfaitement équilibrer ses charges (éclairage, informatique en monophasé...). Nous allons montrer qu'un système simple peut rendre compte de la puissance en triphasé (méthode des deux wattmètres).

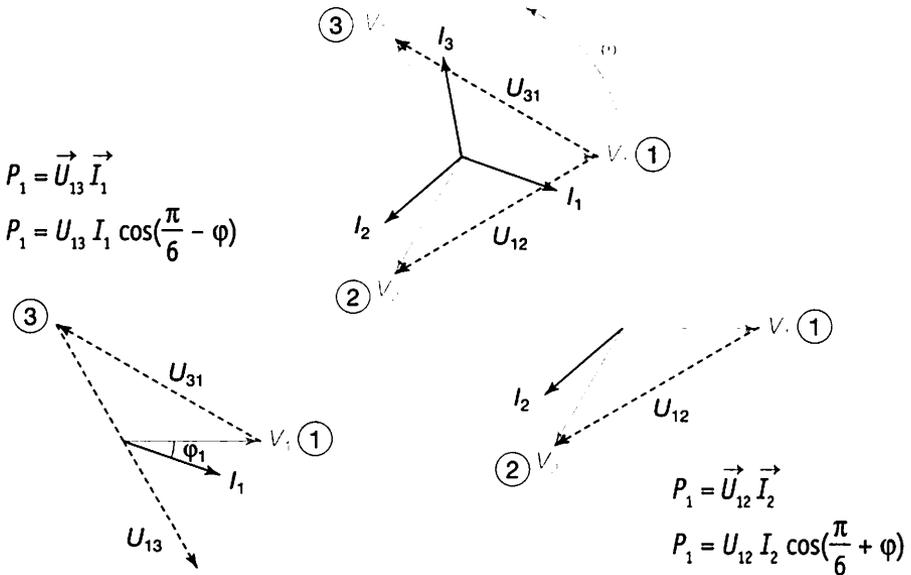
**Schéma** ( $T_c$  et  $T_r$  non représentés)



Le premier wattmètre  $W_1$  mesure :  $P_1 = U_{31} I_1$ .

Le deuxième wattmètre mesure :  $P_2 = U_{23} I_2$ .

**Représentation vectorielle**



En utilisant les relations :

$$\cos(a + b) = \cos a \cos b - \sin a \sin b ;$$

$$\cos(a - b) = \cos a \cos b + \sin a \sin b.$$

Nous obtenons en faisant la somme de  $P_1 + P_2$  :

$$P_1 + P_2 = U \times I \times 2 \left( \cos \frac{\pi}{6} \cos \varphi \right).$$

$$\text{Avec } \cos \frac{\pi}{6} = \frac{\sqrt{3}}{2}.$$

Donc :

$$P_1 + P_2 = UI\sqrt{3}\cos\varphi.$$

Conclusion

La puissance active totale est mesurée par l'addition des deux indications  $P_1$  et  $P_2$  :

$$P = P_1 + P_2 \quad \text{ou} \quad P = P_1 - P_2.$$

$P_2$  change de signe lorsque  $\varphi$  devient égal à  $\frac{\pi}{6}$  ; la valeur de  $P_2$  est à prendre avec son signe.

**$P$  est exprimée en watt à partir des indications des deux wattmètres**

En faisant la différence des indications  $P_1$  et  $P_2$  nous obtenons :

$$P_1 - P_2 = U \times I \times 2 \sin \frac{\pi}{6} \sin \varphi \quad \text{avec } \sin \frac{\pi}{6} = \frac{1}{2}.$$

Donc :

$P_1 - P_2 = U \times I \times 2 \sin \varphi$ , donc une puissance réactive monophasée.

Pour obtenir la puissance réactive totale il suffit d'appliquer :

$$Q = \sqrt{3}(P_1 - P_2).$$

**$Q$  est exprimée en var à partir des indications des deux wattmètres.**

Utilisation de cette méthode pour le comptage d'énergie.

**Schéma**

