

TERMINALE S

C. Bryselbout, C. Laurent, M. Lauzier, G. Prost,  
J.-P. Rebouillat, N. Sciabbarrasi

# Sciences de l'ingénieur



 FOUCHER



# Avant-propos

L'enseignement des « sciences de l'ingénieur » s'intéresse à l'étude des produits et des systèmes conçus et réalisés en réponse à un besoin exprimé par l'homme ou suscité par la société. Il prend appui sur les objets actuels, de notre environnement quotidien, dont la complexité exige une démarche d'étude structurée et progressive fondée sur la théorie des systèmes.

« **L'approche systémique** » est à la base de l'enseignement des sciences de l'ingénieur. Le programme est construit selon cette démarche qui prend en compte successivement l'approche fonctionnelle (comment fonctionne le produit), l'approche structurelle (étude des solutions qui réalisent les fonctions) et l'approche comportementale (étude des principes qui régissent les fonctions et les solutions).

L'ouvrage respecte ces trois parties caractéristiques de l'approche système.

**Partie 1 – Analyse fonctionnelle.** L'approche fonctionnelle développe les qualités d'analyse, indispensables à la compréhension globale des systèmes et de leur organisation générale.

**Partie 2 – Fonctions du produit.** L'étude structurelle permet l'acquisition d'une culture des solutions techniques relatives à la transmission de l'énergie et à la circulation de l'information au sein des systèmes.

**Partie 3 – Principes et comportements des produits.** L'approche comportementale introduit les connaissances de base des sciences de l'ingénieur mises en œuvre dans le fonctionnement des systèmes et dans la réalisation des solutions.

L'ouvrage propose en outre trois parties complémentaires :

**Partie 4 – Représentation des produits pluritechniques.** Cette partie aborde les modèles de représentation utilisés pour définir les produits et les systèmes.

**Partie 5 – Conception des produits pluritechniques.** Une partie des activités est réservée à la réalisation d'une étude de conception qui exerce la créativité, met en œuvre et complète les savoirs et les savoir faire et développe les capacités de réflexion autonome et de travail en groupe organisé.

**Partie 6 – Fiches techniques.** Ces fiches résument les principaux modèles de représentation utilisés dans l'ouvrage.

Cet ouvrage fait suite au tome 1 destiné aux classes de première S. Strictement conforme au programme du BO HS n° 3 du 30/08/2001, il rassemble les connaissances de base, les définitions et le vocabulaire technique nécessaires à l'étude des systèmes et des produits intégrant les technologies des sciences de l'ingénieur. Il a pour objet de structurer les connaissances abordées en TP et de compléter celles présentées dans les cours.

Conçu et rédigé par une équipe d'enseignants expérimentés, cet ouvrage de référence est indispensable pour préparer les épreuves écrite et pratique du baccalauréat dans les meilleures conditions.

Laurent JOURDAN  
inspecteur général honoraire de l'Éducation nationale



# Sommaire

<b>Partie 1</b>	<b>Analyse fonctionnelle</b> .....	5
1.	Architecture des chaînes d'énergie et d'information .....	6
2.	Cahier des charges Analyse fonctionnelle interne .....	18
<b>Partie 2</b>	<b>Fonctions du produit</b> .....	30
3.	Convertir et distribuer de l'énergie.....	31
4.	Transmettre l'énergie.....	53
5.	Acquérir l'information .....	84
6.	Traiter l'information .....	102
7.	Communiquer les informations .....	113
<b>Partie 3</b>	<b>Principes et comportement</b> .....	132
8.	La chaîne énergétique .....	133
9.	La chaîne d'information .....	165
<b>Partie 4</b>	<b>Représentation des produits pluritechniques</b> .....	191
10.	Schématisation .....	192
11.	Représentation géométrique du réel .....	208
<b>Partie 5</b>	<b>Projet pluritechnique</b> .....	224
12.	Projet pluritechnique .....	225
<b>Partie 6</b>	<b>Les outils de la communication</b> .....	245
Fiche 1.	Analyse fonctionnelle technique : diagramme de type Fast ....	246
Fiche 2.	Schématisation mécanique.....	248
Fiche 3.	Schématisation électrique et électronique .....	251
Fiche 4.	Algorithmique .....	254
<b>Index</b>	.....	255



# Analyse fonctionnelle



# 1

# Architecture des chaînes d'énergie et d'information



Figure 1.1 Bateau de plaisance équipé d'une centrale d'aide à la navigation

Comme tout système pluritechnique, la centrale d'aide à la navigation équipant les bateaux de pêche, de plaisance ou de compétition peut se décomposer en deux sous-ensembles, l'un agissant sur les flux de matière et d'énergie (exemple : énergie électrique, eau) appelé *chaîne d'énergie*, l'autre agissant sur les flux de données (exemple : vitesse et direction du vent, profondeur marine, direction du nord magnétique...) que l'on nomme *chaîne d'information*.

## Compétences

À partir d'un système défini par des documents techniques et le cahier des charges de l'application :

- Identifier les différents constituants matériels des chaînes d'information et d'énergie et les fonctions techniques réalisées.
- Analyser l'organisation fonctionnelle des chaînes d'information et d'énergie et en établir des schémas-blocs (fonctions assurées, flux d'énergie, de données).



# 1 Organisation fonctionnelle générale d'un système pluritechnique

L'organisation par fonctions d'un système en vue de son analyse, conduit à distinguer deux ensembles (fig. 1.2) :

- la *chaîne d'information* qui transfère, stocke et transforme l'information ;
- la *chaîne d'énergie* qui transforme l'énergie et permet d'agir sur la matière d'œuvre.

Le modèle général adopté figure 1.2 met en évidence les fonctions génériques associées à ces deux chaînes. Ces fonctions sont représentatives du traitement effectué sur les flux de données et d'énergie.

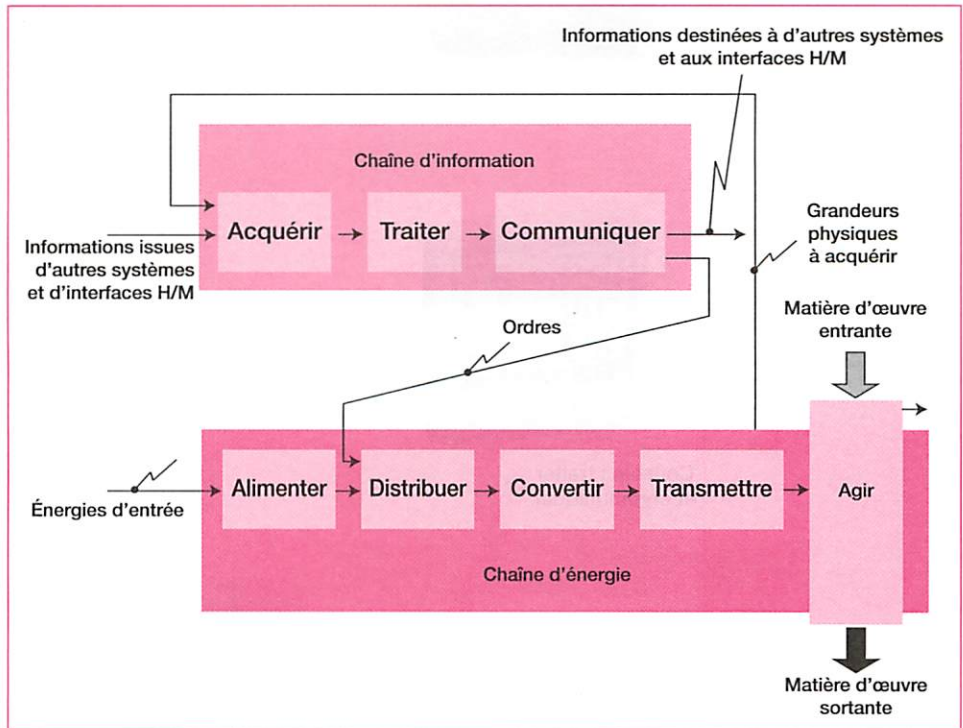


Figure 1.2 Fonctions génériques représentatives des chaînes d'information et d'énergie dans un système pluritechnique

## exemple

### Analyse générale de la centrale d'aide à la navigation maritime

La centrale d'aide à la navigation maritime de la figure 1.3 est un dispositif intégré au bateau et destiné à aider le « skipper » (marin ou pilote) dans la gestion de son parcours maritime.

Les informations sont acquises (*fonction « acquérir »*) grâce à différents capteurs, et accessibles visuellement (*fonction « communiquer »*) sur un ou plusieurs cadrans afin de délivrer en temps réel (*fonction « traiter »*) des messages au skipper et des ordres à la chaîne d'énergie.

Les ordres à destination de la chaîne d'énergie auront pour effet de modifier la trajectoire du bateau.

L'énergie électrique d'entrée (batterie) est distribuée puis convertie (*fonctions « distribuer et convertir »*) en énergie mécanique qui, transmise (*fonction « transmettre »*) à l'actionneur du bateau, engendrera un changement de trajectoire.



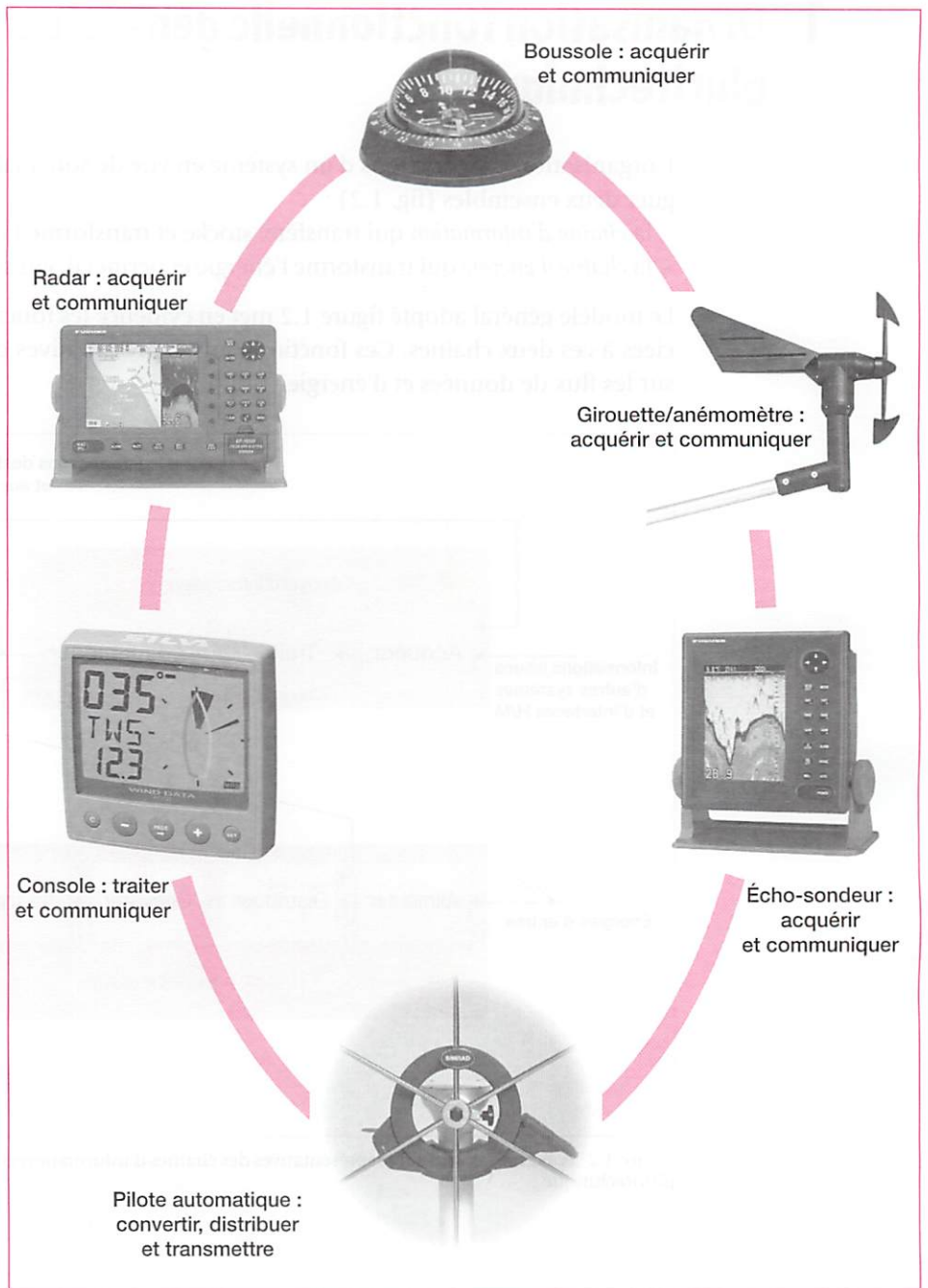


Figure 1.3 Exemple de configuration d'une centrale d'aide à la navigation maritime

La configuration présentée figure 1.3 est constituée d'une **boussole** permettant de connaître la direction du nord magnétique, d'un **écho-sondeur** permettant de connaître la profondeur du fond marin, d'un **radar**, d'une **girouette-anémomètre** indiquant la vitesse et la direction du vent, d'un actionneur « **pilote automatique** » et d'une **console de visualisation** destinée à renseigner le skipper et à envoyer des ordres au pilote automatique.

Cette centrale d'aide à la navigation maritime se distingue par une grande flexibilité ; les cadrans, capteurs et actionneurs sont reliés par un câble électrique unique (appelé **monocâble**).

Les différents constituants de la centrale traitent et numérisent les informations sur place avant de les transmettre sur le monocâble, ce qui simplifie et diminue le temps d'installation tout en gardant une complète évolution.

.....

## 2 La chaîne d'information

La représentation adoptée figure 1.2, met en évidence le parcours de l'information au travers des différentes fonctions de la chaîne, mais ne présume pas des constituants employés ou des solutions retenues.



**Plus généralement, dans un système, la chaîne d'information permet :**

- **d'acquérir des informations sur l'état d'un paramètre, d'un produit ou de l'un des éléments du système (en particulier de la chaîne d'énergie) ; elle permet aussi d'acquérir des informations issues d'interfaces homme/machine ou élaborées par d'autres chaînes d'informations ;**
- **de traiter ces informations ;**
- **de communiquer les informations générées par la fonction « traiter » pour réaliser par exemple l'assignation des ordres destinés à la chaîne d'énergie, ou bien encore des messages.**

La figure 1.4 recense, pour chaque fonction de la chaîne d'information, les constituants principaux (liste non exhaustive) associés aux solutions constructives réalisant ces fonctions.

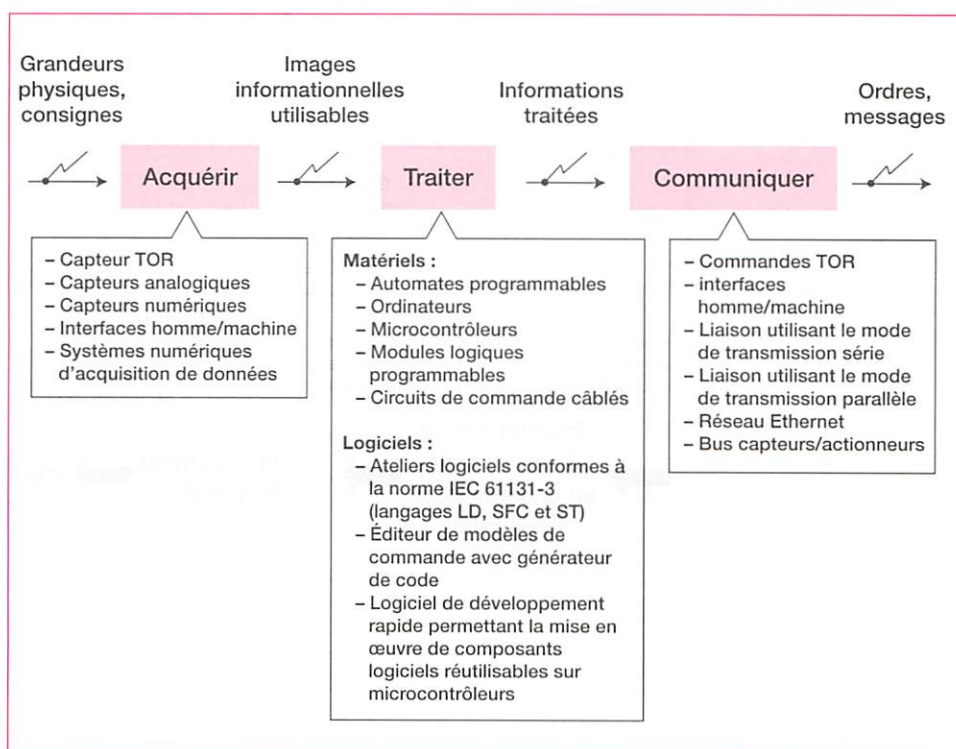


Figure 1.4 Fonctions génériques de la chaîne d'information et solutions constructives

Les évolutions les plus notables, ces dernières années, portent sur l'intégration de la chaîne d'information dans les réseaux.

De plus en plus de traitements sont inclus au niveau des capteurs et actionneurs. Par ailleurs, la standardisation des *bus de terrain* a permis le développement et la décentralisation des périphériques de dialogues (entre homme et machine ou entre machines).



## exemple

### La chaîne d'information de la centrale d'aide à la navigation maritime

Dans l'exemple de la figure 1.3, depuis l'écho-sondeur jusqu'au radar, en passant par la télécommunication par satellite, les informations géométriques, physiques ou temporelles sont acquises et traitées « sur place » puis communiquées au système de traitement (console du poste de pilotage) via un *bus de terrain* appelé monocâble.

Dans ce cas, chacun des capteurs peut être considéré comme autant de chaîne d'information appartenant au même système pluritechnique.

.....

La communication des informations acquises est grandement facilitée par le bus de terrain CAN qui est un *bus numérique série à haut débit*.

## 2.1 La fonction « acquisition » de la chaîne d'information



**Effectuer une mesure, c'est déterminer quantitativement par un moyen adéquat la valeur d'une grandeur de nature quelconque (mesurande) et l'exprimer dans une unité le plus souvent numérique pour être ensuite transmise à une unité de traitement.**

La figure 1.5 présente la fonction acquisition de la chaîne d'information.

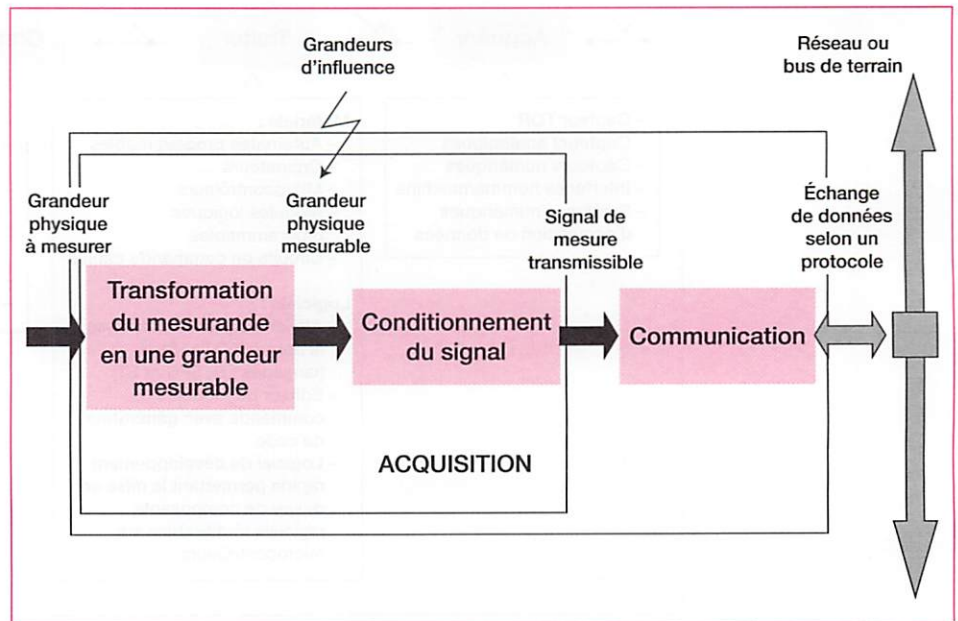


Figure 1.5 Fonction acquisition de la chaîne d'information

## exemple

### Girouette de la centrale d'aide à la navigation maritime

Ce capteur (girouette) permet de connaître à tout instant l'angle du vent « apparent » du bateau. En intégrant l'information « vitesse du bateau » fournie par un « lock-speedomètre », la fonction de traitement (intégrée à la console de visualisation) calculera et visualisera l'angle de « vent réel ».

Dans l'exemple de la figure 1.6, la communication des informations par bus ou réseaux de terrain est rendue nécessaire à cause de la distance séparant la girouette de la console de visualisation de la centrale (la girouette est disposée en haut d'un mat, alors que la console de visualisation se trouve dans le poste de pilotage).



Figure 1.6 Capteur de vitesse et direction du vent et console de visualisation des informations captées

.....

## 2.2 La fonction « traiter » de la chaîne d'information

Les systèmes de traitement de l'information diffèrent selon que l'on considère les dispositifs de commande de *procédés industriels*, ou des objets représentatifs de notre environnement quotidien.

### 2.2.1 Le domaine industriel

Dans le domaine industriel, la commande de procédés est gérée presque exclusivement par des API (*automate programmable industriel*).

Un exemple d'architecture est donné sur la figure 1.7.

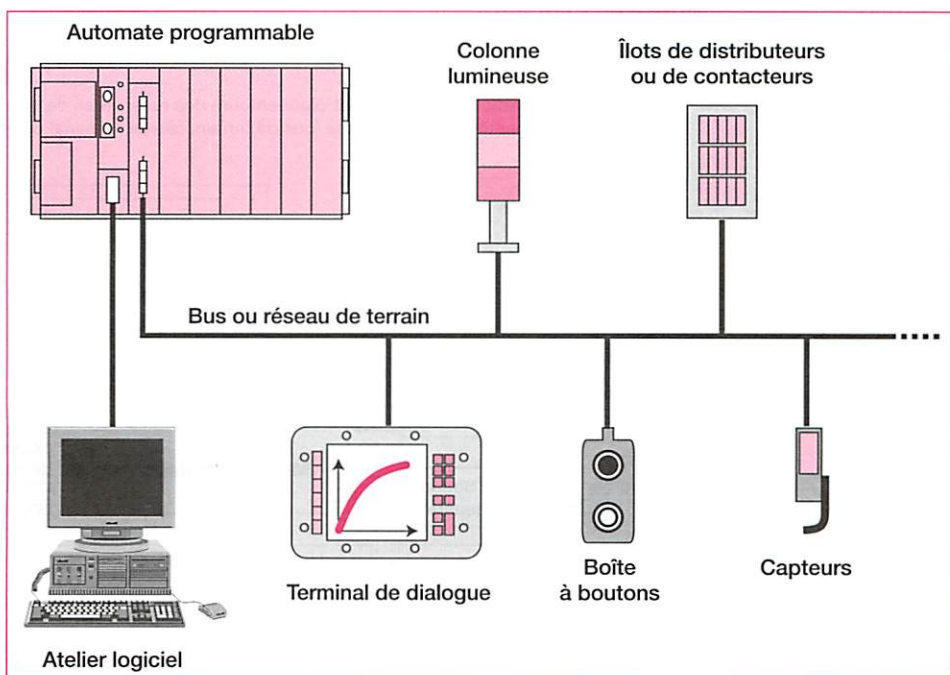


Figure 1.7 Architecture des composants de la chaîne d'information dans un procédé industriel

La gestion des différentes entrées/sorties du système est dédiée à l'API qui traite les informations issues des organes de commande ou des capteurs. Ces informations électriques d'entrée peuvent être de nature logique, analogique ou numérique.



**L'API délivre en sortie des ordres à destination de la chaîne d'énergie et des messages à destination de l'opérateur. La nature des ordres fournis par l'API (logique, analogique ou numérique) dépendra des constituants de la chaîne d'énergie du système.**



### 2.2.2 Le domaine « grand public »

Dans le domaine « grand public » (du four à micro-ondes en passant par les différentes machines à laver), la gestion des entrées/sorties de nature logique, analogique ou numérique est dédiée à des *composants programmables* (microcontrôleurs, DSP...) implantés sur des cartes électroniques totalement intégrées au système à gérer.

Ces composants programmables constituent le cœur du système, ce sont de véritables « séquenceurs » disposant en interne des mêmes ressources que les API mais intégrés sur la même « puce » de silicium (fig. 1.8a, 1.8b et 1.9).

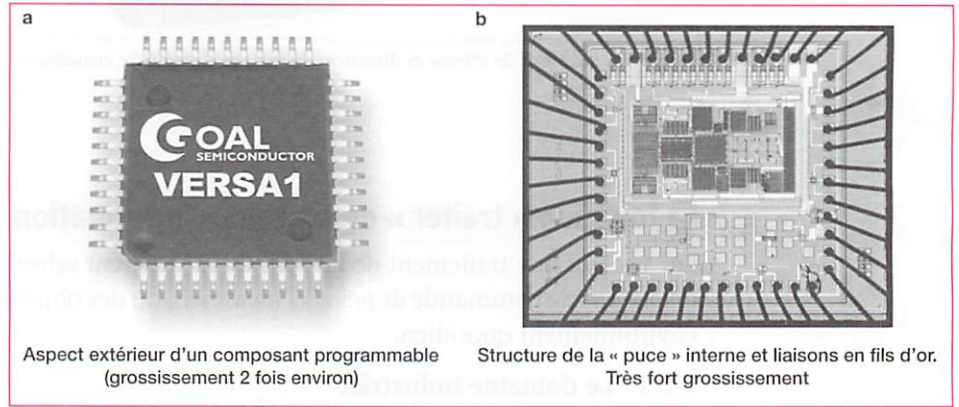


Figure 1.8 Circuit intégré de type ASIC et structure micro-électronique interne

Composant programmable à très haute intégration, l'ASIC possède une structure d'unité centrale (unité de traitement, mémoire de stockage et de données, périphériques de dialogues...).

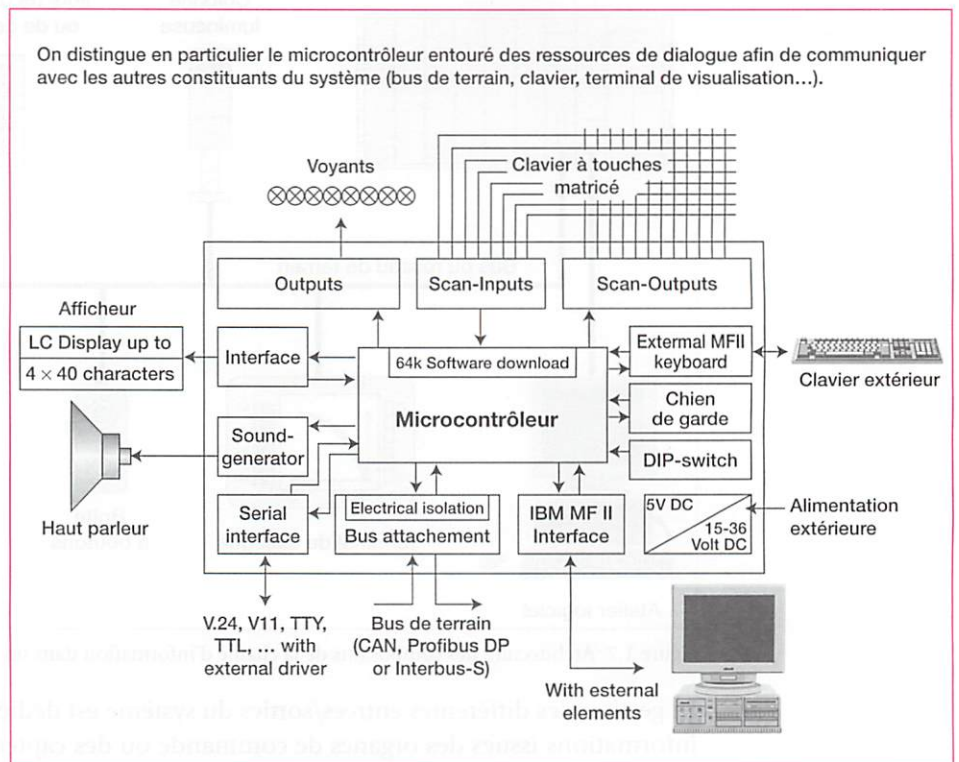


Figure 1.9 Constitution d'une carte électronique de chez RAFI destinée au pilotage d'un système pluritechnique du domaine « grand public »

## 2.3 La fonction « communiquer » de la chaîne d'information

**Le rôle de la fonction communiquer de la chaîne d'information est d'établir le dialogue entre l'homme et la machine ou entre machines, mais aussi de transmettre les informations de commande à la chaîne d'énergie au sein du même système.**

La communication des informations peut donc être proche ou distante (cas de la figure 1.10), elle est de plus en plus organisée en bus ou réseaux.

Les systèmes actuels sont communicants, c'est-à-dire qu'ils disposent d'une fonction de communication standardisée capable d'échanger des informations suivant des protocoles de communication normalisés (série et parallèle, par bus de terrain, par réseaux...).

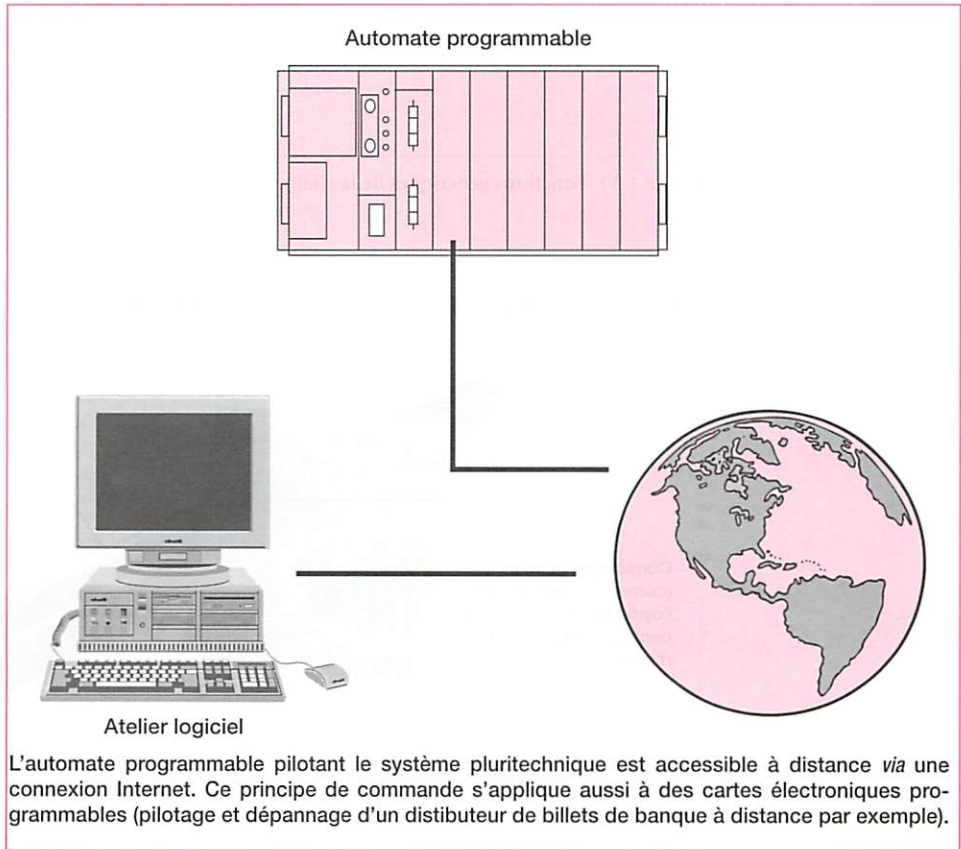


Figure 1.10 Pilotage à distance d'un système géré par automate, via un réseau local ou planétaire

## 3 La chaîne d'énergie

**La chaîne d'énergie associée à la chaîne d'information de laquelle elle reçoit les ordres, assure la réalisation d'une fonction de service dont les caractéristiques sont spécifiées dans le cahier des charges fonctionnel du système.**

L'action à réaliser sur la matière d'œuvre (fig. 1.2) impose un flux d'énergie (nature, sens, niveau...) contrôlé par la chaîne d'information et transmis à l'actionneur du système au travers d'un ensemble de fonctions techniques.

La figure 1.11 recense pour chaque fonction technique : *alimenter, distribuer, convertir et transmettre*, les constituants principaux (liste non exhaustive) associés aux solutions constructives les réalisant.



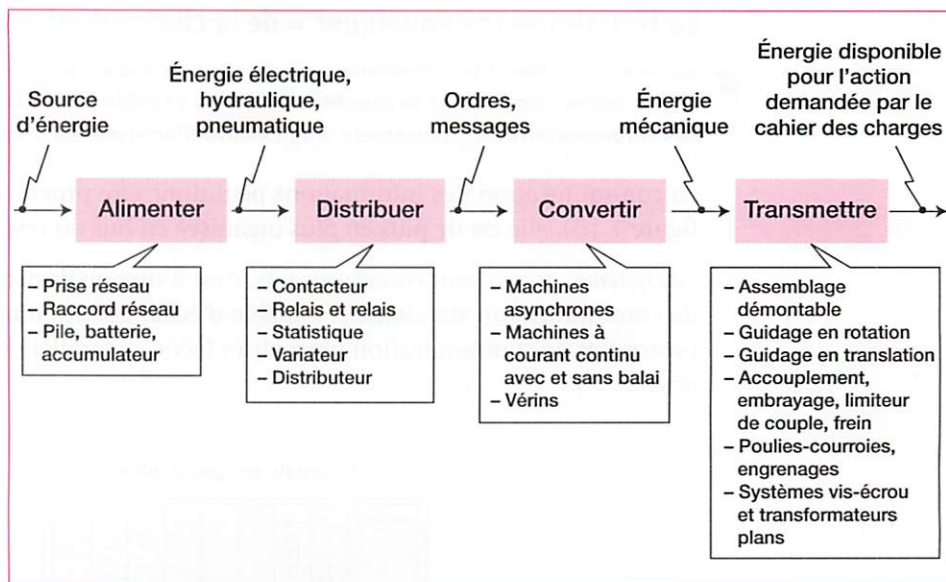


Figure 1.11 Fonctions génériques de la chaîne d'énergie, et solutions constructives

## exemple

### Pilote automatique de bateau pour barre franche



Figure 1.12 Pilote automatique de bateau à vérin électrique pour barre franche, accompagné de sa console de gestion

Ce pilote (fig. 1.12) est équipé d'un vérin électrique agissant directement sur la barre du bateau.

Un *compas électronique* solidaire du bateau fourni à tout instant à la chaîne d'information la direction du nord magnétique. Le cap à suivre est fixé par le skipper du bateau. La différence entre le nord magnétique indiqué par la boussole et le cap à suivre fixé par le skipper constitue la consigne de cap.

La chaîne d'information générera des ordres à destination de la chaîne d'énergie afin de maintenir constante la consigne de cap.

.....

La figure 1.13 propose une décomposition en fonctions techniques de la chaîne d'énergie et les constituants associés du pilote automatique de bateau pour barre franche.

Sur la figure 1.13, l'énergie mécanique fournie à la barre franche est prélevée sous forme électrique à une batterie d'accumulateurs. Il y a donc distribution et conversion de l'énergie électrique en énergie mécanique, puis transmission de cette énergie mécanique à l'effecteur (barre franche).

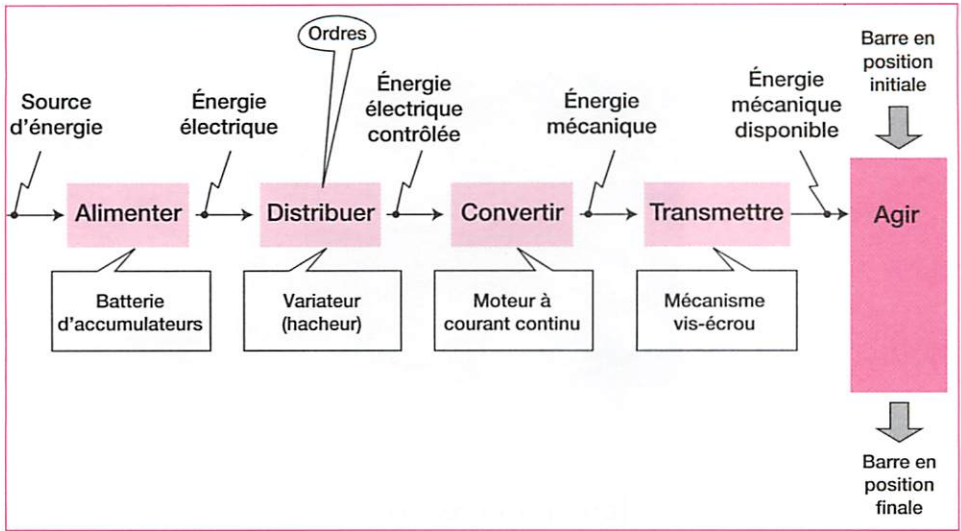


Figure 1.13 La chaîne d'énergie et les constituants associés sur le pilote automatique de bateau pour barre franche

### 3.1 La fonction « alimenter » de la chaîne d'énergie

L'énergie est une grandeur physique fondamentale.

Les applications pratiques liées à l'énergie posent trois problèmes : celui de la *source d'énergie* (alimentation), celui de son *transport* et enfin celui de sa *distribution*, d'où l'importance de la conversion des énergies.

**La conversion d'énergies en énergie électrique occupe une place de choix car celle-ci est facile à transporter et à distribuer. En revanche, elle est difficilement stockable (capacité des batteries d'accumulateurs limitée).**

## exemple

### Production d'énergie électrique à partir d'énergie solaire par utilisation d'une photopile

Une photopile est une association de cellules photovoltaïques.

Une cellule photovoltaïque est un composant électronique à semi-conducteur (jonction PN) capable de débiter un courant électrique à un circuit extérieur lorsqu'il est éclairé par un rayonnement solaire (fig. 1.14).

La figure 1.14 présente la courbe courant-tension d'une cellule photovoltaïque dans l'obscurité (courbe a) et sous éclairement (courbe b).

La surface grisée représente la puissance électrique utilisable.

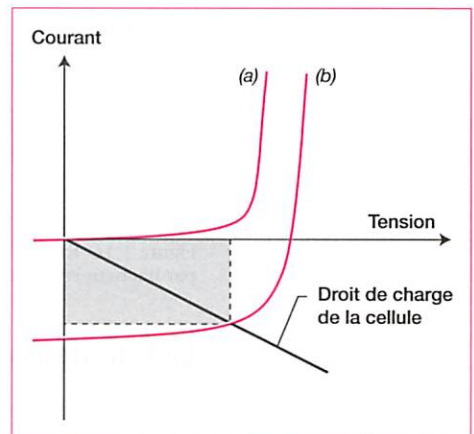


Figure 1.14 Caractéristique courant-tension d'une cellule photovoltaïque

Les photopiles sont très utilisées dans les satellites ou dans les stations spatiales comme MIR ou l'ISS.

Le véhicule solaire « Sojourner » (fig. 1.15, examen des roches en vue de déterminer leur composition) a visité la planète Mars le 4 juillet 1997. Ses moteurs et ses instruments étaient alimentés à l'énergie solaire.





Figure 1.15 Véhicule solaire « Sojourner » équipé de photopiles lors d'une phase d'exploration de la planète Mars

### 3.2 Les fonctions « distribuer et convertir » de la chaîne d'énergie

Le passage du *flux d'énergie* de la source vers l'effecteur (schématisation sur la figure 1.16) est contrôlé par les préactionneurs présents dans la chaîne d'énergie.

Ces préactionneurs sont pilotés *via* les ordres émanants de la chaîne d'information.



**Les constituants associés aux fonctions distribuer et convertir peuvent être considérés comme des transformateurs d'énergie, leur rendement doit être le plus proche de l'unité afin d'optimiser les performances globales du système.**

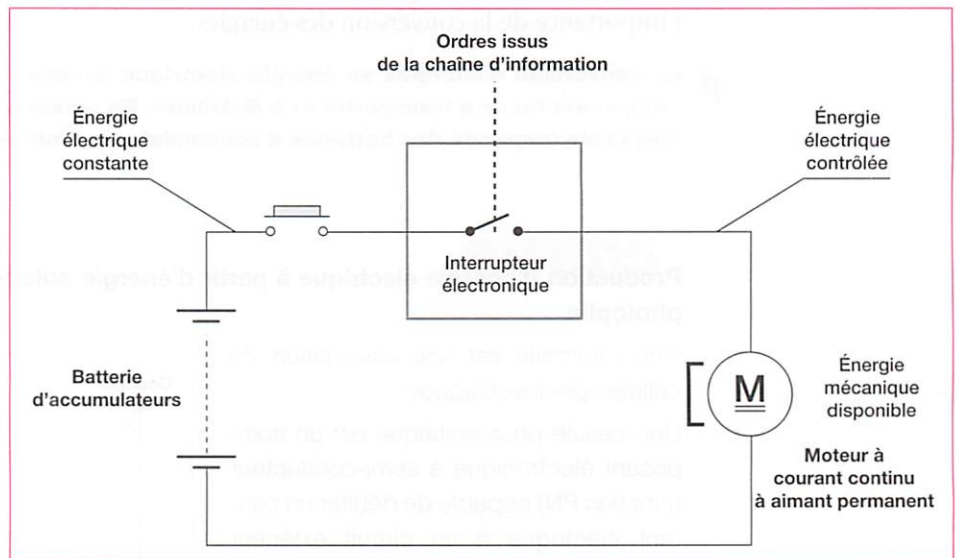


Figure 1.16 Exemple de distribution et conversion d'énergie électrique en énergie mécanique par hacheur série (interrupteur électronique) et moteur à courant continu

### 3.3 La fonction « transmettre » de la chaîne d'énergie



**Le rôle de cette fonction est d'adapter à l'effecteur l'énergie mécanique disponible en sortie de la fonction convertir, initiant ainsi l'action souhaitée.**

Il s'agit essentiellement des constituants mécaniques de transformation de mouvement.

On peut distinguer en particulier les constituants de transformation d'un mouvement de rotation en un mouvement de translation :

- ensemble bielle-manivelle (cas des moteurs thermiques) ;
- dispositif vis-écrou.

Tout système pluritechnique peut être représenté selon deux ensembles, l'un appelé chaîne d'information, l'autre appelé chaîne d'énergie.

La chaîne d'information d'un système pluritechnique permet d'acquérir et de traiter des informations, de communiquer des ordres à destination de la chaîne d'énergie et des messages à destination de l'opérateur. Elle peut également, dans certains cas, échanger des informations à destination d'autres chaînes d'informations.

La chaîne d'énergie assure la réalisation d'une fonction de service, cette chaîne est constituée des fonctions alimenter, distribuer, convertir et transmettre l'énergie.

Les systèmes pluritechniques actuels sont communicants, c'est-à-dire qu'ils sont capa-

bles d'échanger des informations *via* des bus de terrain ou des réseaux de communication.

Les fonctions de traitement de l'information sont architecturées autour de deux constituants principaux, l'API pour la commande de procédés industriels, les cartes électroniques à composants programmables pour les systèmes dits « grand public ».

**Mots clés :** *chaîne d'information, chaîne d'énergie, flux d'information, flux d'énergie, énergie électrique, énergie mécanique, fonction acquérir, fonction traiter, fonction communiquer, fonction alimenter, fonction distribuer, fonction convertir, fonction transmettre, bus de terrain, réseaux de communication, API, composants programmables.*



# 2

## Cahier des charges Analyse fonctionnelle interne



Figure 2.1 Xantia Activa V6 de Citroën

Dans un contexte économique de forte concurrence mondiale, les produits mis sur le marché sont en évolution permanente. Ils répondent à un besoin d'atteindre des performances toujours meilleures au moindre coût.

Cette recherche, en réponse au cahier des charges définissant notamment les niveaux des critères associés aux fonctions techniques à réaliser, aboutit à l'élaboration de produits dont la complexité est grandissante.

Un exemple illustre parfaitement cette évolution : la suspension Hydractive à contrôle de roulis de la Citroën Xantia Activa V6.

### Compétences

Un produit étant fourni et/ou défini par un dossier, son domaine et son environnement d'utilisation étant précisés avec le cahier des charges fonctionnel :

- Identifier et définir le besoin auquel il répond et ses fonctions de service.
- Identifier et ordonner les fonctions techniques qui contribuent à la satisfaction des fonctions d'usage (diagramme Fast).
- Décrire l'architecture fonctionnelle sous forme de schémas-blocs.

# 1 Le cahier des charges fonctionnel

## 1.1 Présentation

Dans un véhicule automobile, la suspension contribue principalement à assurer :

- la tenue de route et la stabilité du véhicule, notamment en maintenant le contact entre les pneumatiques et la route ;
- le confort vibratoire et postural des passagers quelles que soient les conditions de circulation (état de la route, comportement du conducteur, charge du véhicule, etc.).

Réaliser une suspension satisfaisante revient donc à isoler la caisse du véhicule en filtrant les sollicitations vibratoires de la route.

### 1.1.1 Le besoin à satisfaire

Définir le besoin, c'est répondre aux questions :

- À qui le produit rend-il service ?
- Sur qui (sur quoi) agit-il ?
- Dans quel but ?

L'outil « bête à cornes » formalise l'énoncé du besoin à satisfaire (fig. 2.2).

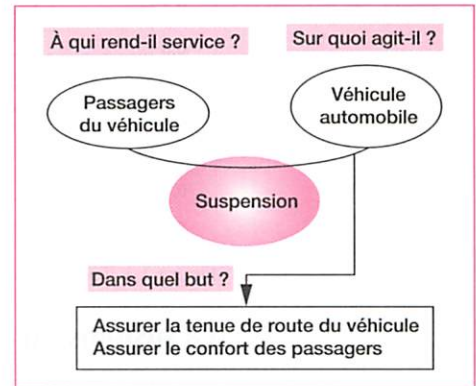


Figure 2.2 Définition du besoin

### 1.1.2 Les caractéristiques d'une suspension

Les paramètres caractéristiques d'une suspension automobile sont la *raideur* et l'*amortissement*.

Pour une masse de caisse donnée, une *raideur* faible de la suspension permet d'absorber efficacement les irrégularités de la route. Dans le cas d'une raideur plus importante, les irrégularités de la route sont communiquées à la caisse et la fait vibrer.

Cependant, pour certaines fréquences, des phénomènes de résonance nuisent à la tenue et à la stabilité du véhicule.

L'*amortissement* permet de contrôler ces phénomènes dès leur apparition. L'amortisseur doit freiner simultanément les oscillations de la caisse et celles des roues afin de maintenir ces dernières au contact avec le sol sans trop durcir la suspension.

### 1.1.3 La tolérance physiologique du corps humain aux vibrations verticales

Le corps humain est organisé pour tolérer des sollicitations verticales à la fréquence de la marche. La norme AFNOR E 90-400 (fig. 2.3) propose un modèle de tolérance physiologique aux vibrations verticales. Sur ce graphe, on identifie « la zone de mal des transports » (zone A) et « la zone d'inconfort vibratoire » (zone B).

Deux critères peuvent être mis en évidence :

- le corps humain est le moins indisposé lorsqu'il est sollicité à une fréquence de 1 Hz. Cette fréquence correspond à une marche normale, soit un pas à la seconde ;
- le corps humain, sollicité à une fréquence comprise entre 4 Hz et 8 Hz, peut supporter une accélération verticale maximale de 0,4 m/s<sup>2</sup> pendant 30 minutes.



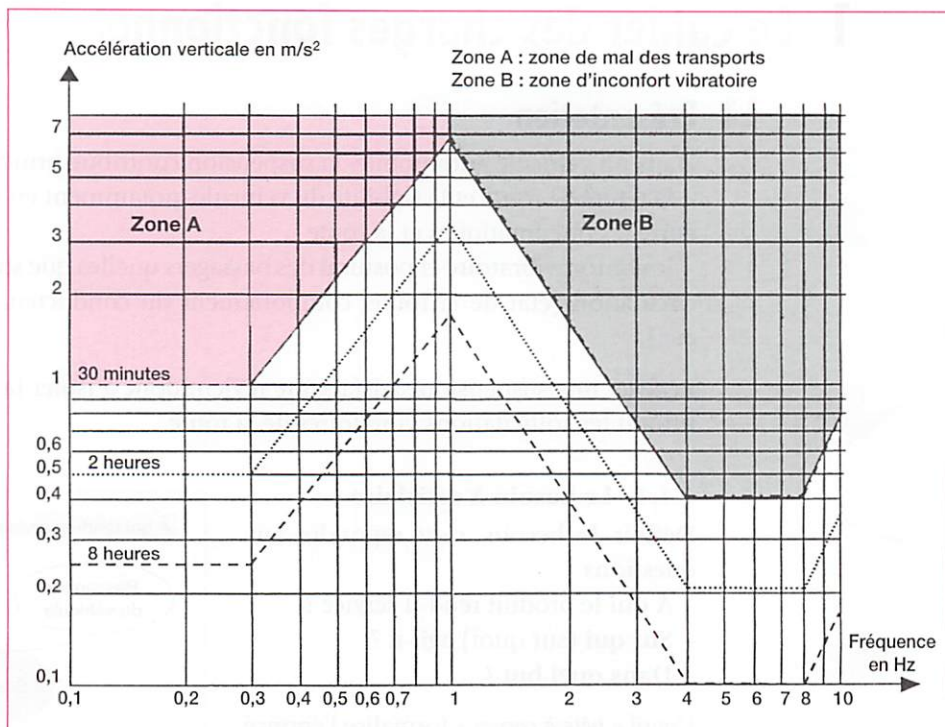


Figure 2.3 Tolérance aux vibrations verticales, norme AFNOR E90-400

## 1.2 La suspension automobile

Le confort vibratoire vertical des passagers nécessite donc une fréquence propre de caisse  $f_C \approx 1$  Hz. Pour une charge donnée, la valeur de la raideur de la suspension est ainsi déterminée.

De plus, on recherche une valeur de l'amortissement qui permette d'assurer le confort vibratoire entre 4 Hz et 8 Hz.

### 1.2.1 Suspension hydractive

Dans certaines situations, lorsque, par exemple, la suspension est sollicitée à faible vitesse sur route à revêtement dégradé ou à grande vitesse sur route à fortes ondulations, le véhicule reste inconfortable. Pour gérer cet inconvénient, le constructeur propose une suspension Hydractive à mode souple et à mode ferme. Le passage d'un mode à l'autre s'effectue suivant les conditions de route et du comportement du conducteur. Le mode ferme permet de contrôler les mouvements de la caisse afin de rester dans des limites acceptables.

### 1.2.2 Contrôle actif du roulis

L'inconvénient du mode souple est que l'assiette du véhicule, c'est-à-dire son maintien horizontal, est modifiée par les variations de charge sur chacune des roues. Le véhicule aura tendance à s'incliner en virage provoquant le mouvement de roulis de la caisse par rapport à la route (fig. 2.4).

La prise de roulis produit des effets néfastes :

- sensation d'insécurité des passagers et du conducteur ;
- mauvaises conditions de travail des pneumatiques ;
- diminution du pouvoir directeur du train ;
- soulèvement des roues et modification des conditions d'adhérence.

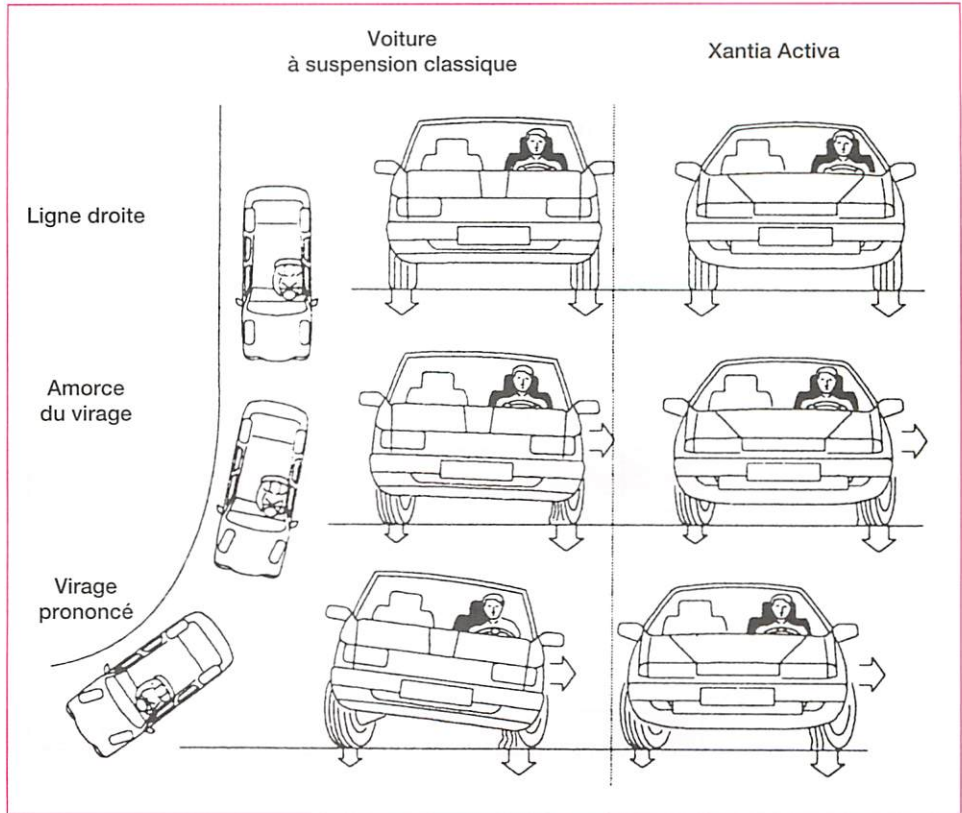


Figure 2.4 Virage à plat

### 1.3 Expression fonctionnelle du besoin : les fonctions de service

Les fonctions de service permettent d'exprimer le besoin.

Une fonction de service est une fonction attendue d'un produit (ou réalisée par lui) pour répondre au besoin d'un utilisateur donné (NF X50-150).

Le diagramme « pieuvre » (fig. 2.5), moyen de visualiser les relations entre le produit et son environnement, est bien adapté pour expliciter les fonctions de service de cette suspension.

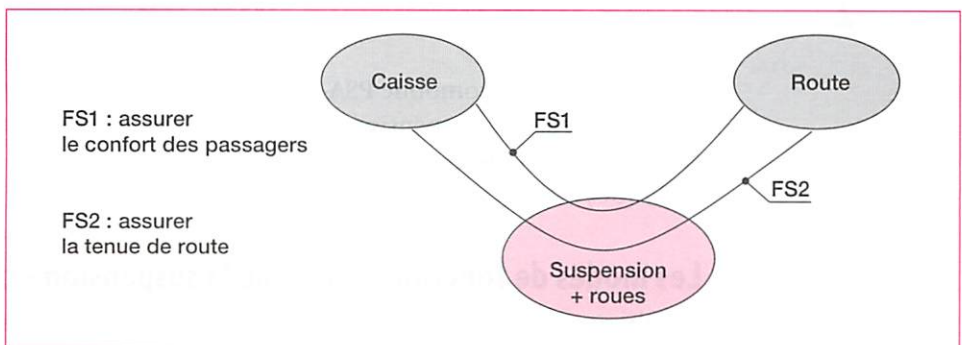


Figure 2.5 Diagramme « pieuvre »

Les performances de chacune des fonctions de service, attendues par les utilisateurs, doivent être précisées : ce sont les *critères d'appréciation*.

Un critère d'appréciation d'une fonction de service est un caractère retenu pour apprécier la manière dont une fonction de service est remplie (NF X50-151).

Pour une même fonction, il y a souvent plusieurs critères d'appréciation, de natures différentes. Dans la mesure du possible, ceux-ci sont accompagnés d'une échelle



permettant de situer leur *niveau*, éventuellement modulable (*flexibilité d'un niveau*) dans le but d'optimiser le produit.

Un niveau est une grandeur repérée dans l'échelle adoptée pour un critère d'appréciation d'une fonction de service. Cette grandeur peut être celle recherchée en tant qu'objectif ou celle atteinte pour solution (NF X50-151).

La flexibilité d'un niveau est l'ensemble des indications exprimées par le demandeur sur les possibilités de moduler le niveau recherché pour un critère d'appréciation (NF X50-151).

Les critères et niveaux associés aux fonctions de service FS1 et FS2 sont définis suivant le cas de fonctionnement du véhicule :

– en ligne droite :

	Fonctions de service	Critères	Niveaux
FS1	Assurer le confort des passagers	Accélération verticale	Maxi
		Garde au sol	Constante
FS2	Assurer la tenue de route	Actions mécaniques	Constantes et mini

– en virage :

	Fonctions de service	Critères	Niveaux
FS1	Assurer le confort des passagers	Accélération verticale	Maxi
		Garde au sol	Constante
		Angle de roulis	< 0,5°
FS2	Assurer la tenue de route	Actions mécaniques	Constantes et mini

Il faut gérer des compromis car une même fonction de service peut avoir des critères et des valeurs différents suivant les phases du cycle de vie : mode souple ou ferme pour la fonction FS1, par exemple.

## 2 L'analyse fonctionnelle interne

Le constructeur automobile PSA-Peugeot-Citroën a développé sur le véhicule Xantia Activa V6 une suspension hydro-pneumatique à *maintien d'assiette constante* (MAC), à flexibilité et amortissement variables (Hydractive II) et à *contrôle actif de roulis* (SC/CAR).

### 2.1 Les modes de fonctionnement de la suspension Activa V6

- À l'arrêt ou en mouvement : la garde au sol reste constante grâce au système de maintien en assiette constante (MAC).
- En ligne droite : le roulis est nul, la raideur de la suspension est fonction de la vitesse du véhicule (Mode souple ou Mode ferme).
- Amorçe d'un virage : la tenue de route est privilégiée, le roulis apparaît, la suspension se durcit (Mode ferme). Le passage du Mode souple au Mode ferme s'effectue en moins de 0,04 seconde.
- Virage prononcé : la tenue de route est privilégiée, le Mode ferme est maintenu, le roulis augmente. La caisse est ramenée horizontalement par l'action conjuguée des vérins SC/CAR et des barres anti-roulis avant et arrière.

Une *analyse fonctionnelle interne*, appelée aussi *analyse fonctionnelle technique*, a permis d'élaborer le Fast partiel de description de la suspension ACTIVA V6 (fig. 2.6) : il met en évidence les *fonctions techniques* permettant d'assurer chacune des fonctions de service satisfaites par le produit et d'associer à chacune d'elles les solutions technologiques adoptées.

Le Fast de description est un mode de visualisation permettant de relier et d'ordonner toutes les fonctions techniques assurées par les éléments d'un produit (fiche 1).

Cet outil, de source américaine, signifie : « Functional Analysis System Technique » qui peut se traduire par « technique d'analyse fonctionnelle systématique ».

Une fonction technique est une fonction interne à un produit (entre ses constituants) définie par le concepteur-réalisateur, dans le cadre d'une solution, pour assurer ses fonctions de service (NF X50-150).

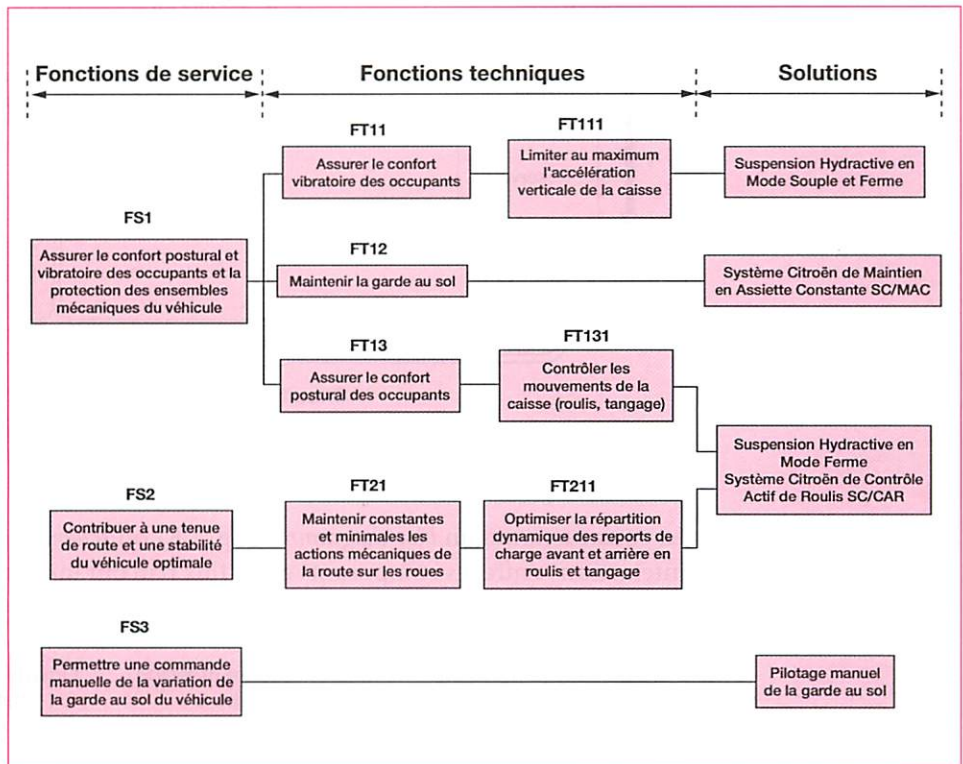


Figure 2.6 Fast partiel de la suspension Activa V6

## 2.2 Le circuit hydraulique

Un certain nombre de fonctions, dans une voiture moderne, sont assurées par une « centrale hydraulique » : freinage, direction,... et notamment la suspension.

La fonction de cette « centrale hydraulique » est :

- d'accumuler une certaine énergie potentielle de pression sous forme d'une réserve de liquide maintenue à haute pression ;
- de maintenir cette réserve à pression sensiblement constante et indépendante du débit d'utilisation.

La figure 2.7 schématise la solution adoptée. Elle fait apparaître les constituants de cette chaîne fonctionnelle.



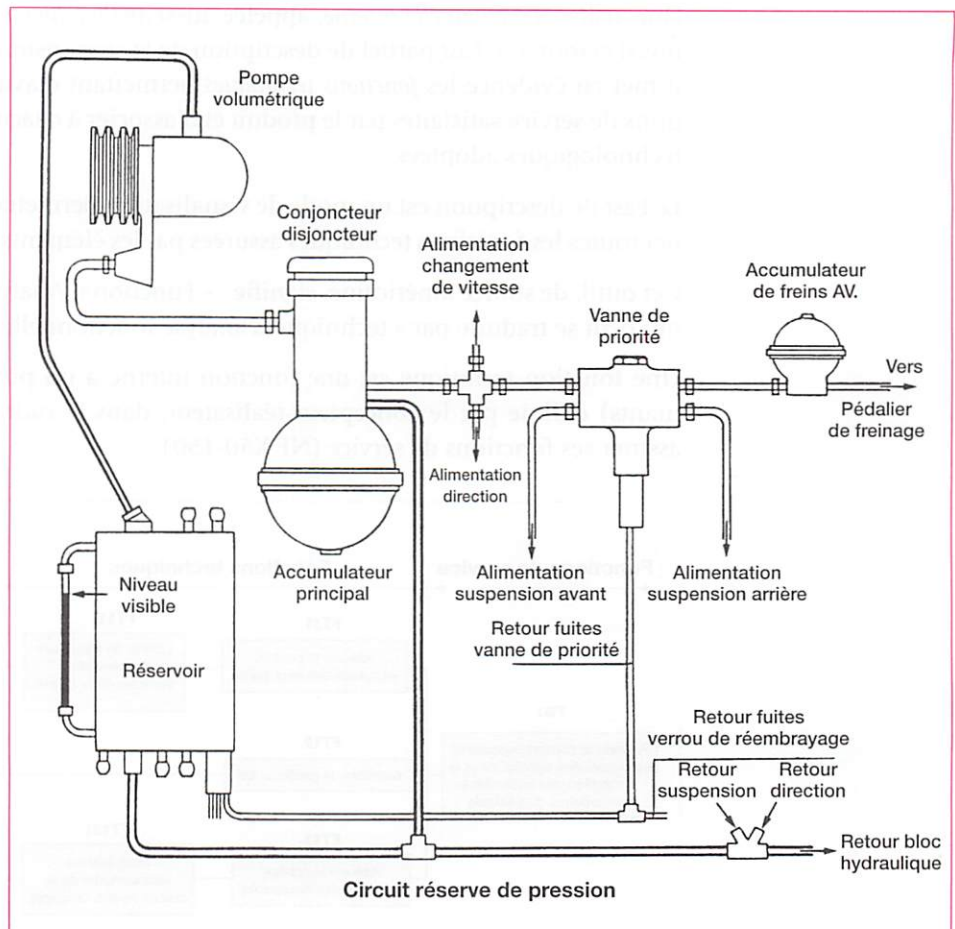


Figure 2.7 Régulateur de pression pour circuit hydraulique

La construction d'un *bloc-diagramme* (fig. 2.8) ou *schéma-blocs* met en évidence les interactions entre les composants et les flux parcourant le produit.

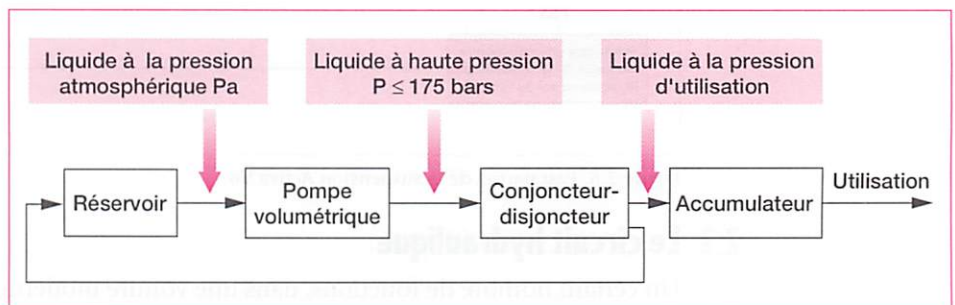


Figure 2.8 Régulation de pression, schéma-blocs

Le *conjoncteur-disjoncteur* est un appareil de régulation ; il permet de délivrer, sous pression sensiblement constante, du liquide vers les organes d'utilisation.

Le *conjoncteur* permet le refoulement du liquide sous pression vers l'accumulateur, tant que la pression maximale de réglage n'est pas atteinte dans ce dernier.

Dès que cette pression maximale est atteinte, le *disjoncteur* permet le refoulement du liquide de la pompe vers le réservoir.

Pendant l'utilisation de liquide par le circuit hydraulique et lorsque la pression dans l'accumulateur arrive à sa valeur minimale de réglage, il permet à la pompe de refouler à nouveau dans l'accumulateur.

L'accumulateur (fig. 2.9) joue le rôle de générateur d'énergie.

L'azote, porté à la pression de tarage est insufflé dans la chambre supérieure.

L'azote est à sa pression de tarage, lorsque le liquide est à la pression atmosphérique et que l'azote occupe tout le volume intérieur de l'accumulateur et qu'il applique la membrane sur la paroi et la coupelle métallique sur son siège.

Lorsque la chambre inférieure reçoit le liquide, le volume de gaz diminue d'autant et sa pression augmente.

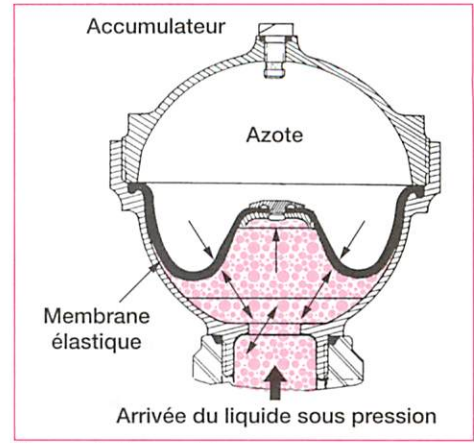


Figure 2.9 Accumulateur

La membrane est un élément servant à séparer le liquide du gaz.

Cet accumulateur a une réponse très rapide. De plus, il est en mesure de travailler dans toutes les positions avec un rendement identique.

Ce type de composant est aussi utilisé au niveau de la suspension. Il est désigné par « sphère de roue » dans la figure 2.10. Il permet d'amortir les chocs, d'absorber les pulsations.

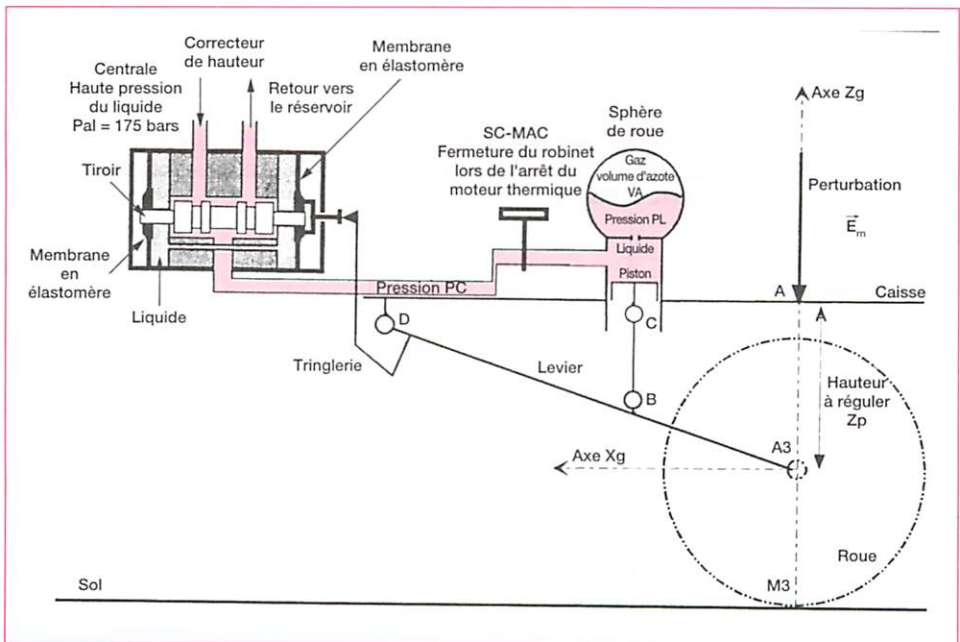


Figure 2.10 Suspension hydropneumatique avec correction de hauteur de caisse (roue arrière)

### 2.3 Analyse de la fonction FT12 : maintenir la garde au sol

La garde au sol est la distance entre le bas de la caisse du véhicule et le plan de référence du sol.

Si on néglige la déformation du pneumatique, maintenir la garde au sol revient à maintenir la hauteur  $Z_p$  constante (fig. 2.10). Cette garde au sol est choisie par pilotage manuel compte tenu des conditions de route.

La voiture subit des perturbations dues aux irrégularités de la route qui modifie cette hauteur de caisse. Ceci se traduit par une rotation du levier autour du point D. La tringlerie agit alors sur le correcteur de hauteur, en déplaçant le tiroir, de façon



à ramener le levier à sa position initiale par l'intermédiaire de la sphère de roue et du vérin.

Le schéma-blocs de cette chaîne fonctionnelle est présenté à la figure 2.11.

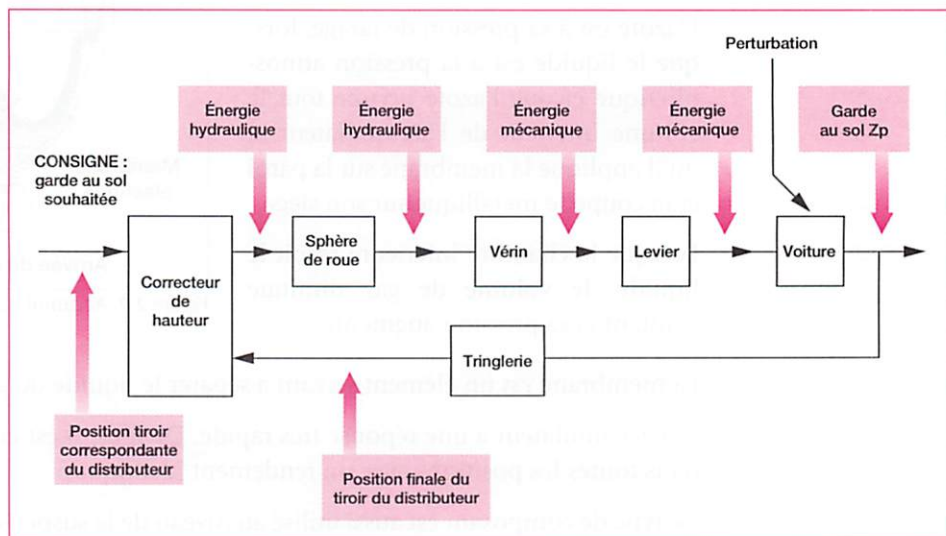


Figure 2.11 Schéma-blocs de la suspension hydropneumatique avec correcteur de hauteur de caisse

Ce système doit être capable de maintenir la garde au sol à sa valeur de consigne.

Les critères relatifs à cette fonction technique sont des caractéristiques comportementales d'un système asservi.

	Fonction technique	Critères	Niveaux
FT12	Maintenir la garde au sol	Stabilité Rapidité Amortissement Précision	Marge de gain MG > 20 dB Temps de réponse à 5 % < 18 s Coefficient d'amortissement > 0,3 Écart statique nul Insensibilité aux perturbations

Les niveaux associés définissent les performances attendues, concernant notamment la rapidité avec laquelle le système doit réagir (temps de réponse), la précision de la position finale (écart statique nul) et la façon d'y parvenir avec un minimum d'oscillations (coefficient d'amortissement).

L'étude d'un système asservi peut se mener industriellement dans deux situations différentes :

- en phase de conception. Le système n'existe pas, le concepteur essaie de respecter le cahier des charges qui définit les performances attendues du système au moyen de toutes les variables à sa disposition. À ce stade, le concepteur peut remettre en cause la nature et les caractéristiques de l'actionneur, du mécanisme,...
- en phase de vérification. Le système existe, l'étude porte alors sur la vérification de ses performances par rapport à celles définies dans le cahier des charges et donc sur la détermination optimale des réglages en vue d'assurer les performances attendues.

La création ou l'amélioration d'un produit nécessite l'élaboration d'un cahier des charges fonctionnel. C'est un document définissant le besoin à satisfaire en terme de fonctions de service.

Le besoin peut être formulé graphiquement sous forme d'une « bête à cornes ».

Le diagramme « pieuvre » définit, indépendamment des solutions possibles, les fonctions de service devant être réalisées par le produit. Il visualise les relations entre le produit et son environnement.

Les fonctions de service subissent des contraintes imposées par certains éléments de l'environnement. Elles sont définies par des critères d'appréciation, auxquels sont associés des niveaux (qualité, performances, etc.). Une flexibilité (limites d'acceptation) peut être précisée dans le but d'optimiser le produit.

L'analyse fonctionnelle interne a pour objectif d'observer la manière selon laquelle le produit rend les services.

Différents outils peuvent être utilisés :

- le Fast dont l'objectif est de décomposer une fonction de service en fonctions techniques et d'associer à chacune d'elles les solutions technologiques adoptées ;
- le bloc-diagramme qui constitue un modèle de représentation du produit lors de son utilisation. Il met en évidence les interactions entre les composants eux-même et les éléments extérieurs ainsi que la circulation des flux à l'intérieur du produit.

**Mots clés :** *cahier des charges fonctionnel, analyse fonctionnelle externe, besoin à satisfaire, outil « bête à cornes », diagramme « pieuvre » ou graphe d'interactions, fonctions de service, critères d'appréciation, niveaux, flexibilité, analyse fonctionnelle interne, Fast de description, fonctions techniques, chaîne fonctionnelle, bloc-diagramme ou schéma-blocs.*

## exercices

### EXERCICE 1

#### La serrure électronique

Autonome et sans câblage, cette garniture de porte électronique (fig. 2.13) permet d'équiper toutes les portes qui nécessitent un contrôle d'accès par simple filtrage. Les garnitures s'installent rapidement et directement sur la plupart des serrures de portes (cas d'une porte standard de bureau par exemple), en lieu et place de la poignée existante.

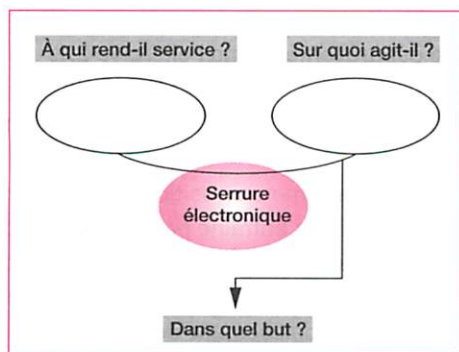


Figure 2.12 « Bête à cornes » de la serrure électronique

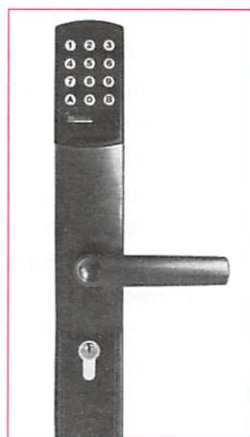


Figure 2.13 Serrure électronique



- Compléter, après avoir reproduit le schéma de la figure 2.12, la « bête à cornes » permettant d'énoncer le besoin satisfait par ce produit.

## EXERCICE 2

La serrure électronique est présentée dans l'exercice 2.1.

Le graphe des interactions ou « pieuvre » permet de visualiser les relations entre le produit et son environnement et de distinguer les fonctions principales FPi, pour lesquelles le produit a été créé des fonctions contraintes FCi, qui limitent l'utilisation du produit du fait de sa présence dans un milieu environnant.

Le graphe simplifié des interactions relatif à la serrure électronique (fig. 2.14) met en évidence les principaux éléments participant à son environnement.

Une liste (non exhaustive) de fonctions vous est proposée ci-après.

- Permettre l'ouverture d'une porte à accès contrôlé : FP1.
- S'adapter à la porte (position et fixation).
- Recevoir un code ou lire un badge programmé.
- Monter la garniture sur le côté droit ou gauche de la porte.
- Autoriser la programmation des codes d'accès.
- S'adapter à l'énergie électrique.
- Contenir les piles.
- Remplacer les piles facilement.
- Être autonome 2 ans minimum.

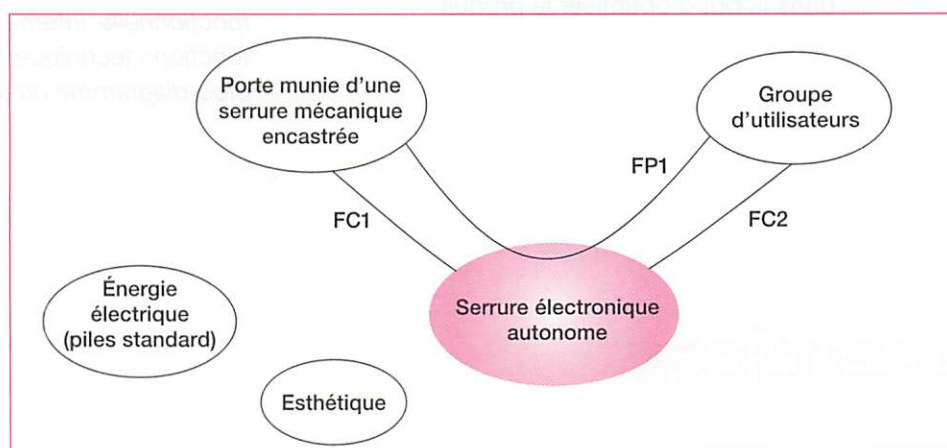


Figure 2.14 Graphe simplifié des interactions relatif à la serrure électronique

1. Classer ces fonctions en fonctions principales en les désignant par FP1, FP2,... et fonctions contraintes en les désignant par FC1, FC2,... (exemple pour la première fonction).

2. Représenter ensuite ces relations sur la « pieuvre ».

## EXERCICE 3

La serrure électronique est présentée dans l'exercice 2.1.

Les figures 2.15 et 2.16 ci-dessous présentent le mécanisme de la garniture de porte électronique réalisant la liaison de la béquille extérieure avec le carré d'entraînement de la serrure mécanique.

La figure 2.15 présente le mécanisme en position initiale : la béquille est libre en rotation. L'abaissement de la béquille n'entraîne pas l'ouverture de la porte.

La figure 2.16 présente le mécanisme en position finale : après l'introduction du code correct, la mise sous-tension du moteur entraîne la liaison de la béquille avec le carré d'entraînement de la serrure. L'abaissement de la béquille entraîne l'ouverture de la porte.

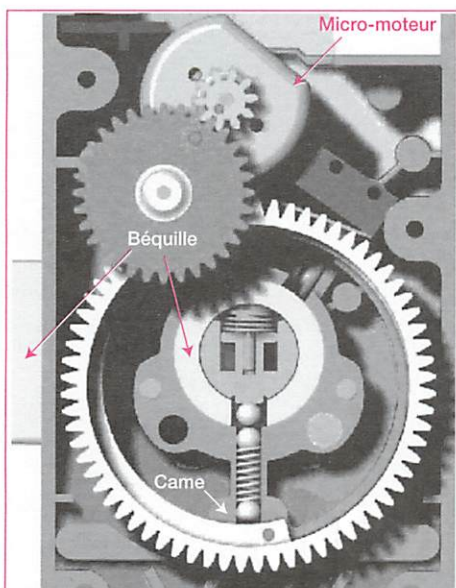


Figure 2.15 Mécanisme de la serrure en position initiale

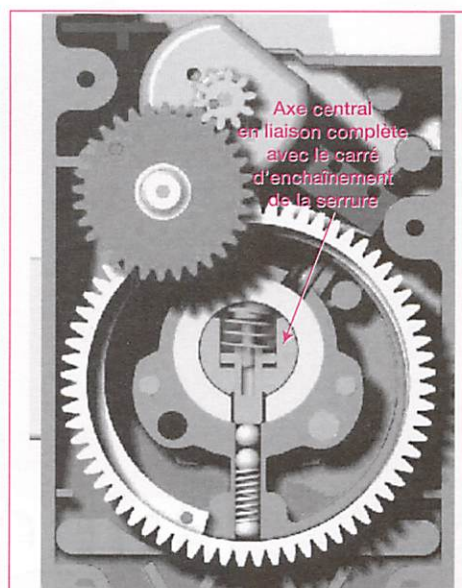


Figure 2.16 Mécanisme de la serrure en position finale

1. Compléter, après l'avoir reproduit, le schéma-blocs, figure 2.17, correspondant à la chaîne d'énergie aboutissant à la liaison de la béquille au carré d'entraînement de la serrure encastrée.

2. Indiquer les types d'énergie à l'entrée et à la sortie de chaque constituant.

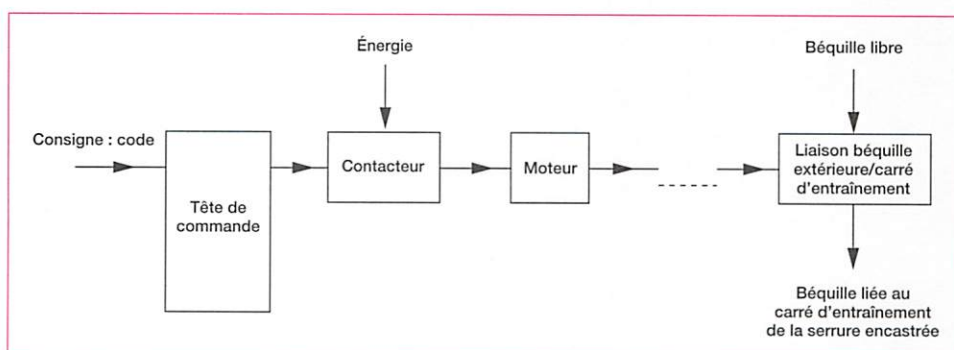


Figure 2.17 Schéma-blocs énergétiques de la serrure électronique : liaison béquille extérieure – carré d'entraînement





# Fonctions du produit

# 3

## Convertir et distribuer de l'énergie



Figure 3.1 Scooter électrique « scoot'elec » de marque Peugeot

Le fonctionnement de tout système est conditionné par un apport d'énergie. Le choix des actionneurs du système dépend de la forme d'énergie à fournir aux effecteurs et de la source d'énergie disponible à proximité, sous forme de réseau d'alimentation ou sous forme d'accumulateurs embarqués.

L'énergie mécanique, développée par de nombreux systèmes, est obtenue principalement par conversion d'une source d'énergie électrique, pneumatique ou hydraulique. Les performances de cette conversion influencent directement celles du système, comme pour le scooter électrique où masse et rendement affectent fortement son autonomie.

Dans la chaîne d'énergie, les fonctions « alimenter », « distribuer », « convertir » et « transmettre » sont au service des actions du système ; l'étude des préactionneurs est étroitement liée à celle des actionneurs.

### Compétences

Un système étant défini par son dossier, le cahier des charges et les documentations techniques afférentes étant fournis :

- Identifier les constituants et justifier les solutions constructives mises en œuvre.
- Vérifier les performances des constituants au regard des spécifications du cahier des charges.

Les actionneurs électriques étant définis, les caractéristiques de fonctionnement étant précisées pour une application donnée :

- Identifier et régler les paramètres de commande liés à la variation de vitesse.
- Identifier les constituants de l'alimentation et donner leurs caractéristiques.

En présence de tout ou partie d'un système et/ou de son dossier technique :

- Associer à sa représentation schématique chaque constituant des chaînes de puissance et de commande.



# 1 La chaîne d'énergie

## 1.1 Présentation générale

La figure 3.2 représente la structure fonctionnelle générale d'un système pluritechnologique. La chaîne d'énergie, sur ordre de la chaîne d'information, permet d'acheminer l'énergie nécessaire au développement d'une action, de la source à l'effecteur.

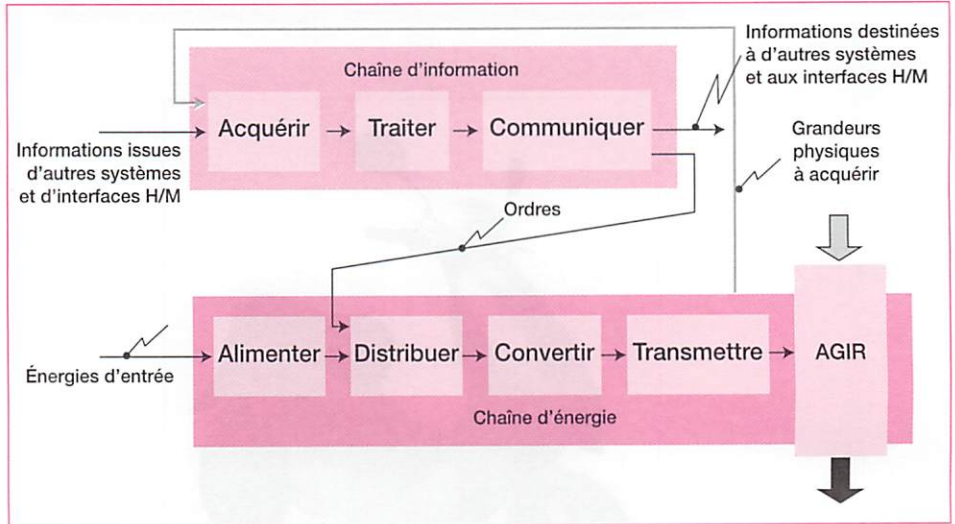


Figure 3.2 Structure fonctionnelle générale d'un système pluritechnologique

Le choix des composants de cette chaîne d'énergie dépend de nombreux facteurs : la source d'énergie disponible (électrique, pneumatique, hydraulique, solaire...), la nature de l'énergie à fournir à l'effecteur, la position relative source-effecteur (distance, fixe ou variable), les caractéristiques du milieu environnant (température, hygrométrie, milieu hostile...), etc.

La conversion d'énergie est assurée par des actionneurs ou « convertisseurs » dont quelques exemples sont fournis tableau 3.1.

Énergie disponible → Convertir l'énergie disponible en énergie utilisable par l'effecteur → Énergie convertie		
Énergie disponible	Convertisseur	Énergie nécessaire à l'effecteur
Énergie chimique	Moteur thermique	Énergie mécanique
Énergie électrique	Moteur électrique	Énergie mécanique
Énergie pneumatique ou hydraulique	Turbine	Énergie mécanique
Énergie mécanique	Pompe	Énergie hydraulique
Énergie mécanique	Compresseur	Énergie pneumatique
Énergie mécanique	Génératrice	Énergie électrique
Énergie éolienne	Génératrice	Énergie électrique
Énergie solaire	Centrale solaire	Énergie électrique et/ou thermique

Tableau 3.1 Conversions d'énergie

## exemple

Un scooter électrique (fig. 3.3) dispose d'une source d'énergie autonome sous forme de batterie d'accumulateurs embarquée. Le moteur électrique convertit la source d'énergie électrique en énergie mécanique. Les réducteurs transmettent et adaptent cette énergie à la roue.

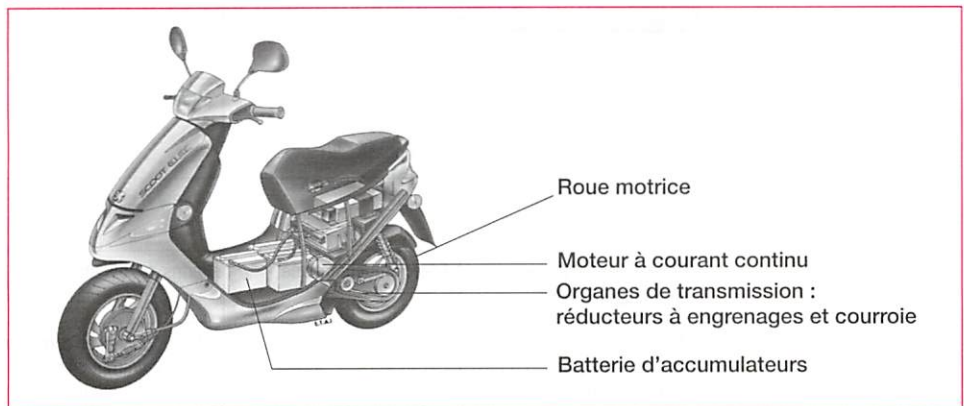


Figure 3.3 Scooter « scoot'elec »



La figure 3.4 détaille le cheminement de l'énergie, de la source vers l'effecteur.

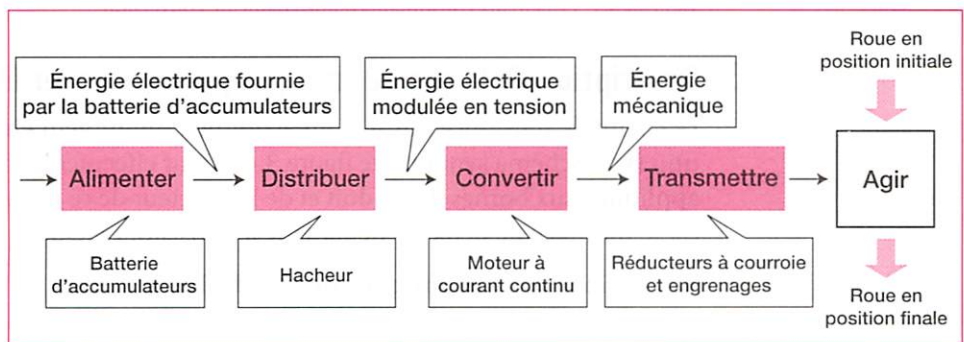


Figure 3.4 Chaîne d'énergie du scooter

## exemple

Un engin de chantier (« scrapper », fig. 3.5) dispose également d'une source d'énergie autonome, sous forme de carburant contenu dans un réservoir. Le moteur thermique convertit la source d'énergie chimique en énergie mécanique, alors transformée en énergie hydraulique par une pompe. Des conduits souples transmettent cette énergie aux vérins et moteurs hydrauliques (éloignés des convertisseurs) provoquant le déplacement des effecteurs (roues, bras, godets...).

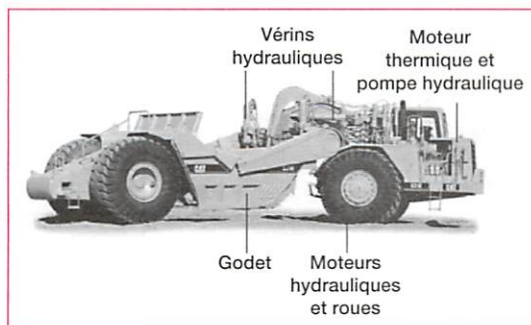


Figure 3.5 Scrapper





## 1.2 Les principaux constituants d'une chaîne d'énergie

Sources d'énergie, préactionneurs et actionneurs assurent les fonctions alimenter, distribuer et convertir d'une chaîne d'énergie ; le tableau 3.2 liste les principaux constituants de la chaîne d'énergie.

Système	Source d'énergie	Actionneur	Préactionneur
Scooter électrique	Batteries	Moteur à courant continu	Hacheurs série à transistors
Vanne motorisée (voir chapitre 8)	Énergie continue redressée à partir du réseau monophasé 230 V	Moteur à courant continu	Transistors en amplification
Voiture radio-commandée (voir chapitre 8)	Batteries	Moteur à courant continu	Hacheur en pont en H
Presse de marquage (voir chapitre 10)	Énergie pneumatique	Vérins double effet	Distributeurs électropneumatiques
Appareils électroménagers, outillages portatifs	Réseau monophasé 230 V	Moteur universel (constitué comme un moteur à courant continu)	Interrupteurs ou gradateurs
Machine à laver le linge ou la vaisselle	Réseau monophasé 230 V	Moteur asynchrone monophasé	Contacteurs ou variateurs de vitesse
Pompes, machines-outils, ponts roulants	Réseau triphasé 400 V	Moteur asynchrone triphasé	Contacteurs ou variateurs de vitesse

Tableau 3.2 Principaux constituants d'une chaîne de conversion

## 1.3 Description de la chaîne énergétique du scooter électrique

Le circuit de puissance utilise pour actionneur un moteur électrique à courant continu (voir schéma synoptique figure 3.6). Pour effectuer la modulation de l'énergie appliquée aux bornes de l'induit et de l'inducteur de ce moteur, la solution retenue est le montage de deux hacheurs série à transistors MOS.

### 1.3.1 Schémas synoptiques de la solution retenue

Le circuit de commande est construit autour de la carte UC à microcontrôleur. Les principaux capteurs implantés sur ce système sont :

- un capteur de vitesse ;
- un capteur de mesure du courant débité par la batterie ;
- deux capteurs de mesure du courant débité par les hacheurs ;
- des capteurs « fin de course » relatifs au repli de la béquille et au verrouillage de la selle ;
- des capteurs de température.

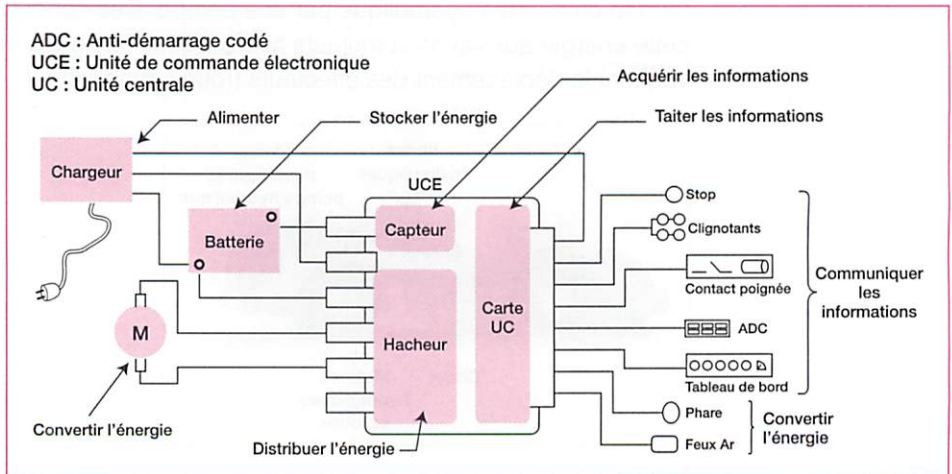


Figure 3.6 Schéma synoptique du scooter électrique

Alimenté par une batterie et équipé d'un moteur à courant continu, ce scooter tire profit de la chaîne de conversion directe de l'énergie décrite par la figure 3.7.

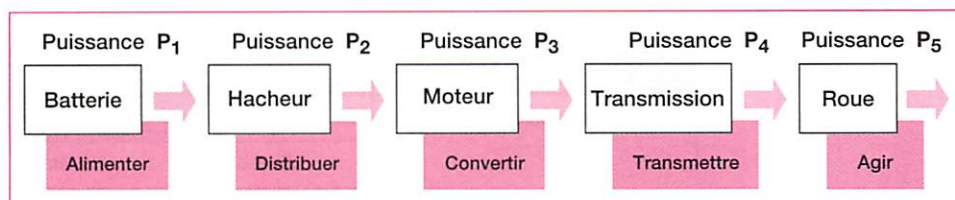


Figure 3.7 Synoptique de la chaîne de conversion d'énergie du scooter

Les différentes étapes de la conversion de l'énergie sont caractérisées par l'expression des différentes puissances mises en jeu.

Le tableau 3.3 récapitule les caractéristiques de ces différentes puissances.

Puissance	Description
$P_1 = U_1 \cdot I$	Puissance fournie par la batterie sous une tension constante de 18 V ( $P_1$ en watts ; $U_1$ en volts ; $I$ en ampères)
$P_2 = U_2 \cdot I_M$	Puissance absorbée par le moteur avec une tension hachée $U_2$ , telle que la vitesse du moteur sera proportionnelle à la valeur moyenne de $U_2$ ( $P_2$ en watts ; $U_2$ en volts ; $I_M$ en ampères)
$P_3 = T_M \cdot \Omega_M$	Puissance utile du moteur caractérisée par un couple et une fréquence de rotation ( $P_3$ en watts ; $T_M$ en newton-mètres ; $\Omega_M$ en $\text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$ )
$P_4 = T_2 \cdot \Omega_2$	Puissance transmise à la roue ( $P_4$ en watts ; $T_2$ en newton-mètres ; $\Omega_2$ en $\text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$ )
$P_5 = T_3 \cdot \Omega_R$	Puissance disponible sur la roue ( $P_5$ en watts ; $T_3$ en newton-mètres ; $\Omega_R$ en $\text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$ )

Tableau 3.3 Caractéristiques des puissances mises en jeu

### 1.3.2 Cahier des charges fonctionnel

Le tableau 3.4 résume quelques données du cahier des charges.

Fonctions	Critères	Niveaux	
Déplacement	Vitesse maximale	45 km/h	
	Vitesse de manutention	5 km/h	
	Accélération	10 m départ arrêté en 3,05 s	
		100 m départ arrêté en 12 s	
	Démarrage en côte	En pleine charge sur pente de 17 %	
Autonomie	Distance parcourue à vitesse maximale	45 km	
	Distance parcourue en mode économique	60 km	
	Distance parcourue en cycle urbain	40 km	
Recharge des batteries	Temps de charge	6 h maximum	

Tableau 3.4 Extraits du cahier des charges fonctionnel



### 1.3.3 Caractéristiques techniques

Pour le scooter électrique, les données nécessaires aux vérifications des performances du moteur et de son préactionneur sont classées dans le tableau 3.5.

Équipements	Caractéristiques		
	Avant	Arrière	
Pneumatiques : tubeless	Diamètre :	411 mm	427 mm
	Pression :	$5 \cdot 10^5$ Pa	$5 \cdot 10^5$ Pa
	Développement :	1,256 m	1,294 m
	Moteur à courant continu à excitation séparée		Puissance maximale : 3 kW pendant 5 min Puissance nominale : 1,5 kW à 4 300 tr/min Rendement : supérieur à 68 %
Transmission par courroie crantée		Poulie motrice	Poulie réceptrice
	Diamètre primitif :	54,11	101,86
	Nombre de dents :	34	64
	Rendement :	91 %	
Transmission par engrenage		Pignon d'entrée	Roue réceptrice
	Diamètre primitif :	20,236	73,63
	Nombre de dents :	13	47
	Rendement :	97 %	
Chargeur électrique 1 400 W sur prise domestique 230 V – 16 A	95 % de la capacité totale en 2 h Charge complète en 5 h 5,5 km d'autonomie en 10 min		
Batteries cadmium-nickel	3 blocs de 100 Ah sous 6 V		

Tableau 3.5 Principales caractéristiques des équipements du scooter

### 1.3.4 Description et vérification des performances de la fonction « alimenter »

L'alimentation est assurée par une source embarquée dont la performance influence fortement l'autonomie du véhicule.

Essais du scooter : lorsque le scooter roule à 45 km/h, le courant débité est de 80 A, et de 44 A à 30 km/h. En mode économique, les accélérations sont réduites et la vitesse limitée à 30 km/h. Dans ce mode économique, la décharge de la batterie peut atteindre 90 % de la charge totale au lieu de 80 % en mode « normal ».

#### – Calcul de l'autonomie du scooter à la vitesse de 45 km/h

Capacité utile de la batterie en mode normal :  $Q_n = 80 \% \times 100 \text{ A.h} = 80 \text{ Ah}$ .

Temps de fonctionnement à la vitesse de 45 km/h : 1 h.

L'Autonomie du scooter : 45 km.

#### – Calcul de l'autonomie du scooter en mode économique

Capacité utile en mode économique à 30 km/h :  $Q_e = 90 \% \times 100 \text{ A.h} = 90 \text{ Ah}$ .

Temps de fonctionnement à la vitesse de 30 km/h :  $t = \frac{90}{44} = 2,05 \text{ h}$ .

Autonomie en mode économique :  $L = t \times v = \frac{30 \times 90}{44} \text{ km} = 61,5 \text{ km}$ .

### 1.3.5 Vérifications des performances de la fonction « transmettre »

Les constituants de cette fonction (réducteur à courroie et réducteur à engrenages) sont représentés dans le chapitre 4.

La méthode de résolution du problème technique est présentée dans les tableaux 3.6 et 3.7.

À partir de	Calculer
La vitesse linéaire de la roue et de son diamètre	La fréquence de rotation de la roue
Des caractéristiques de la transmission	Le rapport de réduction
La fréquence de rotation de la roue et du rapport de réduction	La fréquence de rotation du moteur

Tableau 3.6 Méthode de résolution du problème

Grandeurs à déterminer	Formules	Calculs
Fréquence de rotation de la roue à la vitesse de 45 km/h : $\Omega_R$	$\Omega_R = v/r$	$\Omega_R = (45 \cdot 10^3 \times 2\pi) / (1,294 \times 3\,600) = 60,66 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$
Rayon de la source : r	$r = \text{développement} / 2\pi$	
Rapport de réduction par courroie : $R_C$	$R_C = \frac{Z_9}{Z_7}$	$R_C = \frac{34}{64}$
Rapport de réduction par engrenages : $R_E$	$R_E = \frac{Z_9}{Z_7}$	$R_E = \frac{13}{47}$
Rapport de réduction entre les fréquences de rotation de la roue motrice et de l'arbre du moteur : $R_T$	$R_T = \frac{\Omega_R}{\Omega_M}$	$R_T = \Omega_R / \Omega_M = \frac{13 \times 34}{47 \times 64} = 0,147$
Fréquence de rotation du moteur pour atteindre 45 km/h : $\Omega_M, N_M$	$\Omega_M = \frac{\Omega_R}{R_T}$ $N_M = \frac{\Omega_M \times 60}{2\pi}$	$\Omega_M = \frac{60,66}{0,147} = 412,68 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$ $N_M = 3\,943 \text{ tr/min}$

Tableau 3.7 Résolution du problème

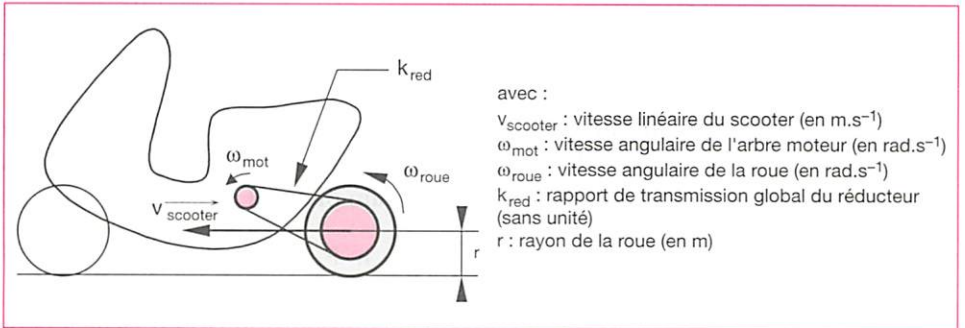


Figure 3.8 Paramétrage cinématique de l'ensemble scooter

La description de la transmission (paramétrage cinématique de la figure 3.8 et schéma cinématique de la figure 3.9) permet de calculer la fréquence de rotation du moteur permettant au scooter d'atteindre sa vitesse maximale de 45 km/h.

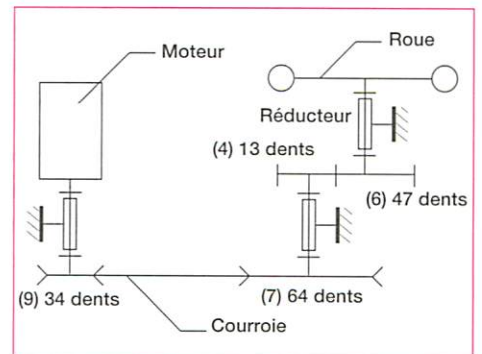


Figure 3.9 Schéma cinématique du scooter



### 1.3.6 Description et performances de la fonction « convertir »

La conversion d'énergie est assurée par un moteur à courant continu (paragraphe 3.3.2). Ce convertisseur caractérisé par sa puissance utile, doit permettre au scooter d'atteindre les performances attendues.

Calcul de la puissance mécanique à fournir par le moteur pour déplacer le scooter sur terrain incliné, avec vent nul, à raison d'une vitesse linéaire de 20 km/h :

– Isoler le système considéré comme plan (fig. 3.10)

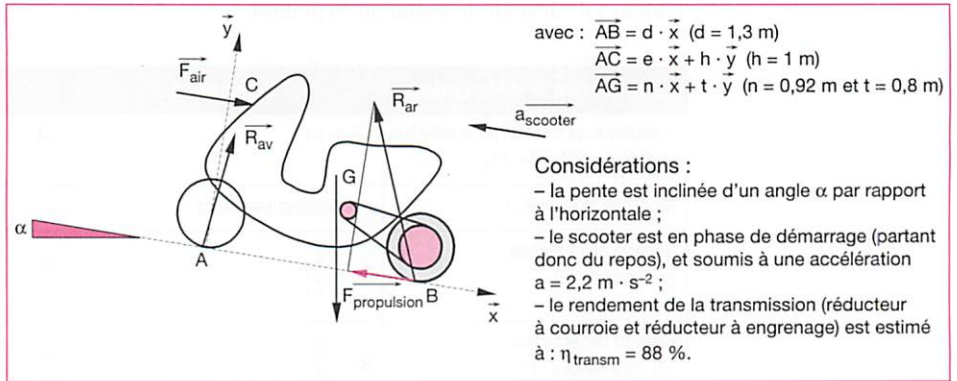


Figure 3.10 Scooter isolé

– Faire le bilan des forces extérieures appliquées au système tableau 3.8

Point d'application	Désignation	Données
A	$\vec{R}_{av}$ : action du sol	Tenant compte du frottement dans le palier ( $f = 0,1$ )
B	$\vec{R}_{ar}$ : action du sol sur la roue arrière	la composante tangentielle de cette force correspond à la propulsion que doit développer le scooter au contact roue/sol : $\vec{F}_{\text{propulsion}}$
C	$\vec{R}_{air}$ : résistance à la pénétration dans l'air	estimée à 7 N
G	$\vec{P}$ : poids de l'ensemble scooter + conducteur	$m = 195 \text{ kg}$

Tableau 3.8 Bilan des forces

– Appliquer le principe fondamental de la dynamique (voir chapitre 8)

Il s'agit de déterminer la puissance mécanique :  $P = F \cdot v = F_{\text{propulsion}} \cdot v_{\text{scooter}}$ .  
 $F_{\text{propulsion}} = 491 \text{ N}$  sur terrain plat, et  $F_{\text{propulsion}} = 790 \text{ N}$  pour remonter une pente de 17 %.

$$\left( F_{\text{propulsion}} = -F_{\text{air}} - f \cdot \left( P_y - \frac{h \cdot F_{\text{air}} + n \cdot P_y + t \cdot P_x}{d} \right) - P_x - m \cdot a \right) \text{ pour information.}$$

La puissance nécessaire à la propulsion ( $P$ ) est égale à la puissance disponible sur la roue motrice Proue. La puissance à fournir pour le moteur ( $P_{\text{mot}}$ ) tient compte du rendement de la transmission  $\eta_{\text{transm}}$ .

$$P_{\text{mot}} = \frac{F_{\text{propulsion}} \cdot v_{\text{scooter}}}{\eta_{\text{transm}}} = \frac{491 \cdot 20 \cdot 10^3}{3600 \cdot 0,88} = 3099 \text{ w sur terrain plat (et } 4987 \text{ w}$$

$$\text{pour remonter une pente de } 17 \%) ; \text{ avec } \eta_{\text{transm}} = \frac{\text{Proue}}{P_{\text{mot}}}.$$

Les valeurs précédentes correspondent à la phase « démarrage ». Le tableau 3.9 récapitule l'ensemble des résultats correspondant aux configurations.

Configuration	$F_{\text{propulsion}}$	$P_{\text{mot}}$
Démarrage sur terrain plat	491 N	3099 w
Démarrage en côte	790 N	4987 w
Vitesse constante sur terrain plat	62 N	391 w
Vitesse constante en côte	362 N	2285 w

Tableau 3.9 Ensembles des résultats

### 1.3.7 Description et performances de la fonction « distribuer »

La distribution de l'énergie est effectuée proportionnellement à la vitesse désirée, l'étude du hacheur figure au chapitre 8. Seules les performances de l'ensemble actionneur-préactionneur ont un sens, comme le rendement.

#### – Essais du moteur associé à ses hacheurs

Compte tenu de l'importance du rendement du moteur sur l'autonomie du scooter, le constructeur vérifie les performances du moteur en mesurant les grandeurs figurant dans le tableau 3.10.

L'induit et l'inducteur du moteur sont alimentés par leur hacheur respectif. À propos du bilan des puissances et des équations élémentaires, voir le chapitre 2 du livre *Sciences de l'ingénieur* classe de première.

Cas	Induit		Inducteur		Fréquence de rotation	Couple utile
	<i>	<u>	<i>	<u>		
(1)	50 A	17,85 V	7,71 A	4,93 V	4 680 tr/min	1,4 N · m
(2)	300 A	14,6 V	19,16 A	12,26 V	2 140 tr/min	14 N · m

Tableau 3.10 Mesures effectuées sur le moteur

#### – Calcul de la puissance utile et du rendement du moteur pour ces deux cas extrêmes (tableau 3.11)

	Formule	Cas (1)	Cas (2)
Puissance absorbée induit : $P_a$	$P_a = \langle u \rangle \cdot \langle i \rangle$	892,5 W	4 380 W
Puissance absorbée inducteur : $P_e$	$P_e = \langle u \rangle \cdot \langle i \rangle$	38 W	235 W
Puissance utile : $P_u$	$P_u = T_u \cdot \Omega$	686 W	3 136 W
Rendement : $\eta$	$\eta = \frac{P_u}{P_a}$	73,8 %	68 %

Tableau 3.11 Résultats des calculs

Sur toute la plage de fonctionnement, le rendement est supérieur à 68 %.

## 2 Les actionneurs

### 2.1 Moteur asynchrone triphasé

L'énergie électrique est présente sous deux formes : alternative et continue, ainsi la conversion de l'énergie électrique est confiée aux moteurs à courant continu et aux moteurs à courant alternatifs ; le plus fréquemment utilisé est le moteur asynchrone triphasé (fig. 3.11).

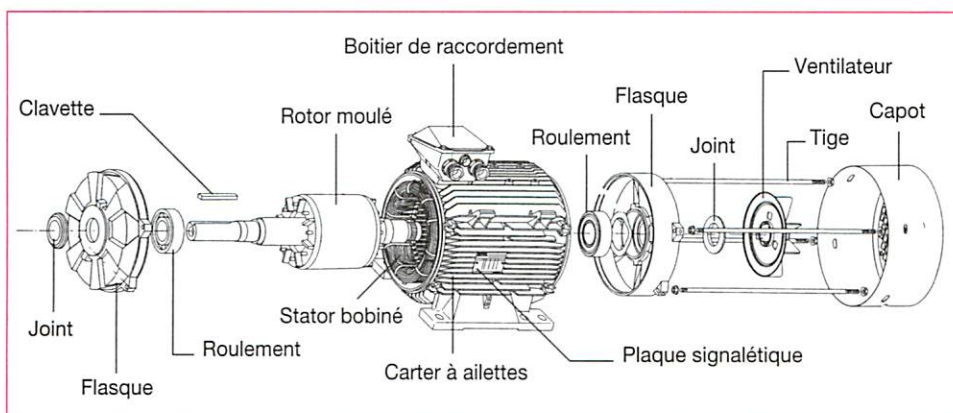


Figure 3.11 Vue éclatée d'un moteur asynchrone



Les caractéristiques de ces moteurs sont résumées dans le tableau 3.12.

Grandeurs	Formules	Commentaires
Vitesse de synchronisme	$n_s = \frac{f}{p}$ $\Omega_s = \frac{2\pi \cdot f}{p}$	$n_s$ : fréquence de rotation du champ statique (tr/s) $\Omega_s$ : vitesse du champ statorique (rd/s) $p$ : nombre de paires de pôles par phase $f$ : fréquence du réseau (Hz)
Glissement	$g = \frac{(n_s - n_r)}{n_s}$	Valeur relative de la « perte de vitesse » $n_r$ : fréquence de rotation du rotor
Puissance absorbée	$P_a = U \cdot I \cdot \sqrt{3} \cdot \cos \varphi$ $P_a = 3p = 3 \cdot V \cdot J \cdot \cos \varphi$	$U$ : tension entre deux phases $I$ : courant en ligne $V$ : tension aux bornes d'un enroulement $J$ : courant dans un enroulement $\varphi$ : déphasage entre $V$ et $J$ $\cos \varphi$ : facteur de puissance
Puissance utile	$P_u = T_u \cdot \Omega_r$	$T_u$ : couple sur l'arbre (N · m) $\Omega_r$ : vitesse angulaire du rotor (rd/s)
Couple utile	$T_u = \frac{P_u}{n_r \times \frac{2\pi}{60}}$	$n_r$ : vitesse réelle du moteur (tr/min)
Rendement	$\eta = \frac{P_u}{P_a}$	Le rendement est maximal pour un fonctionnement proche du point nominal

Tableau 3.12 Formulaire applicable à un moteur asynchrone triphasé

## 2.2 Moteur à courant continu

L'usage des moteurs à courant continu est réservé aux applications particulières comme celle du scooter électrique dont la plaque signalétique est donnée par la figure 3.12.


Série Nr : 1338221  
 Mar Nr : 500 31 672  
 Type : N130/1,5 RK  
 Kd.S : 11 73 54 49 400  
 Volts : 18      min<sup>-1</sup> : 4 300  
 kW : 1,5      S1      

Figure 3.12 Plaque signalétique du moteur

Les principales caractéristiques des moteurs à courant continu sont résumées dans le tableau 3.13.

Grandeur	Formules	Commentaires
Force électromotrice (fem)	$E = k \cdot n \cdot \Phi$	La fem est fonction de la vitesse et du flux
Vitesse	$n = \frac{U - r \cdot i}{k \cdot \Phi}$	La tension appliquée à l'induit et le flux sont les éléments de réglage de la vitesse
Puissance électromécanique	$P_{em} = T \cdot \Omega = E \cdot I$	Cette puissance ( $E \cdot I = U \cdot I - r \cdot I^2$ ) est la part de la puissance électrique transformée en puissance mécanique
Couple électromécanique	$T = \frac{E \cdot I}{\Omega} = k' \cdot \Phi \cdot I$	Si le flux est constant, $T = K \cdot I$ , le courant est proportionnel au couple
Puissance mécanique utile	$P_u = T_u \cdot \Omega$	C'est la puissance disponible sur l'arbre du moteur
Puissances absorbées	$P_a = U \cdot I + u \cdot i$	La puissance absorbée totale est la somme des puissances absorbées par l'induit et l'inducteur
Couple utile	$T_u = \frac{P_u}{\Omega}$	Le couple utile de la machine est inférieur au couple électromécanique
Rendement	$\eta = \frac{P_u}{P_a}$	Le rendement est voisin de 85 %, voire supérieur à 95 % pour les gros moteurs
Intensité au démarrage	$I_d = \frac{U}{r}$	À l'instant de la mise sous tension, le moteur a une vitesse nulle, sa fem est nulle
Couple au démarrage	$T_d = K \cdot \frac{U}{r}$	Le flux est constant et supposé maximal

Tableau 3.13 Caractéristiques du moteur à courant continu

Le moteur doit être capable d'atteindre une fréquence de rotation maximale de 3 950 tr/min et fournir une puissance de 2 400 W à la fréquence de 1 750 tr/min.

Pour une étude plus complète, il convient de comparer la caractéristique  $T = f(\Omega)$  du moteur et la caractéristique  $F = f(v)$  du scooter. Les contraintes d'accélération du scooter sont aussi à prendre en compte.

La figure 3.13 représente le moteur démonté du scooter.

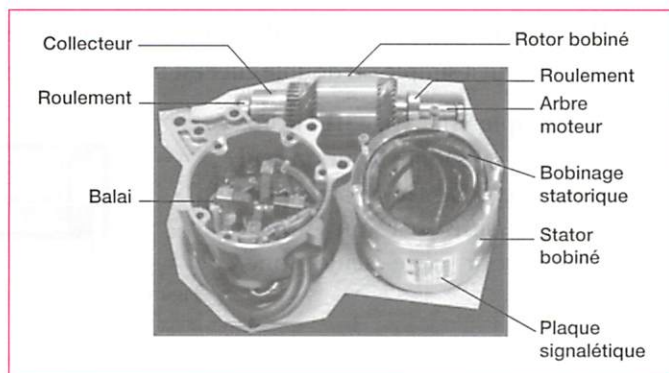


Figure 3.13 Constitution du moteur du scooter électrique

## 2.3 Vérins pneumatiques et vérins hydrauliques

### 2.3.1 Performances des technologies hydraulique et pneumatique


Critères d'appréciation	Solution pneumatique	Solution hydraulique
		
Fluide utilisé	Fluide naturel, propre, gratuit, comprimé (par un compresseur) pour être utilisable	Fluide élaboré, polluant, coûteux, comprimé (par une pompe hydraulique) pour être utilisable
Pression d'alimentation	Très limitée, l'air étant compressible et donc dangereux en cas de fuite (risque d'explosion en phase de détente). Les pressions de service sont inférieures à $10^6$ Pa	L'huile étant peu compressible, les risques inhérents à la solution pneumatique sont inexistantes en hydraulique, les pressions utilisées atteignent fréquemment $350 \cdot 10^5$ Pa
Échappement	Échappement direct, ou filtré et/ou insonorisé, l'air étant une source d'énergie naturelle	Filtrage et retour au réservoir de l'huile mise à l'échappement
Coût	Solutions économiques car peu contraignantes	Solutions onéreuses, les pressions élevées générant des problèmes d'étanchéité de résolution coûteuse d'une part, les pressions élevées générant des efforts importants d'autre part, le prix de revient des pièces fabriquées est directement lié à leur précision de fabrication et à leur résistance
Force développée	Limitée, car directement liée à la faible pression d'alimentation	Les forces développées peuvent être considérables (près de $10^7$ N)
Vitesse	Vitesse de déplacement de tige importante, mais peu précise, l'air étant compressible	Les vitesses de travail sont moins élevées, mais plus précises
Domaines d'utilisation	Les performances limitées liées à l'utilisation de l'air comprimé cantonnent cette technologie dans le domaine de la manutention (préhension de pièce, transfert de pièce, par vérin, manipulateur...)	L'hydraulique permet le développement d'efforts importants, liés à des déplacements de grande précision ; les domaines d'activité sont nombreux et variés (engins de travaux publics et presses hydrauliques par exemple)

Tableau 3.14 Comparaison des technologies pneumatique et hydraulique



Les performances de ces deux types d'actionneur sont à l'opposé les unes des autres (en matière de force développée et précision de déplacement), la différence de fluide utilisé (air ou huile) justifiant des domaines d'utilisation bien différents pour ces deux technologies.

Le tableau 3.14, par l'analyse des critères d'appréciation de quelques fonctions de service caractéristiques, permet d'apprécier la différence de performances de ces deux types d'actionneurs, et d'identifier les domaines d'utilisation qui en découlent.

### 2.3.2 Utilisation des vérins simple effet et double effet

Le choix d'un vérin à simple ou double effet est lié aux exigences de la partie opérative.

Un vérin à simple effet (fig. 3.14) produit un effort « utilisable » pour un seul sens de mouvement (le mouvement retour étant assuré par un ressort dimensionné pour cette seule fonction).

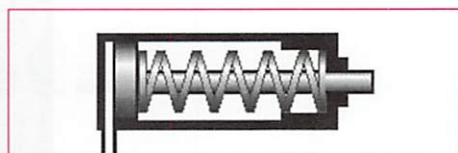


Figure 3.14 Vérin simple effet

Un vérin à double effet (fig. 3.15) produit un effort à la sortie de tige et un effort différent à la rentrée de tige (les vérins à double tige (fig. 3.16) présentent l'avantage de développer le même effort pour les deux sens de mouvement).

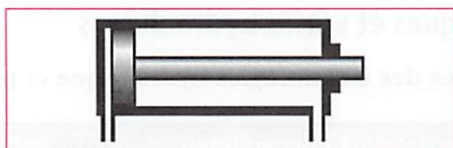


Figure 3.15 Vérin à double effet simple tige

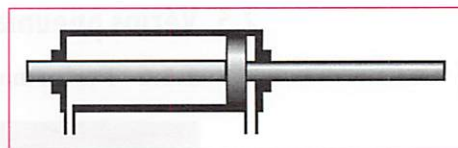


Figure 3.16 Vérin à double effet double tige

### 2.3.3 Modélisation d'un vérin

Le moulage par injection plastique (fig. 3.17) permet la fabrication de pièces en matière plastique, de formes plus ou moins complexes, de bonne homogénéité (l'injection permet un bon remplissage du moule), dans des conditions de productivité avancées (opérations automatisées).

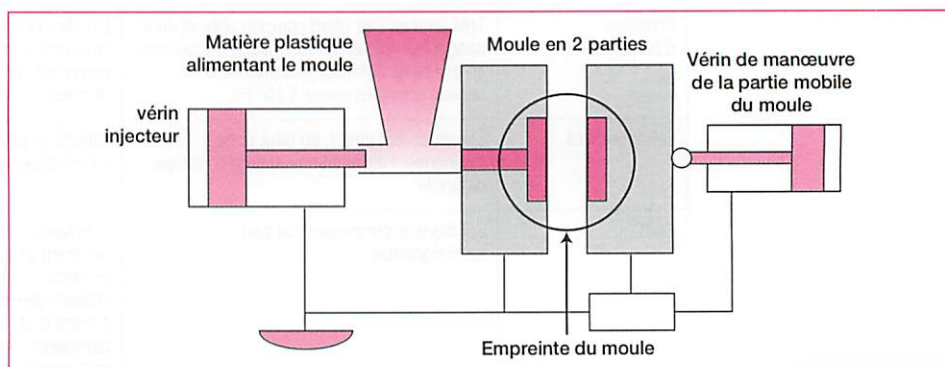


Figure 3.17 Presse à injecter

L'ouverture, la fermeture du moule, et l'injection, sont réalisées par des vérins hydrauliques dont on contrôle avec précision les déplacements.

La modélisation du vérin (fig. 3.18) met en évidence les caractéristiques d'entrée et de sortie qui justifient sa fonction globale : convertir l'énergie.

Le rendement du vérin traduit l'efficacité de la conversion d'énergie :

$$\eta = \frac{\text{puissance mécanique}}{\text{puissance hydraulique}} = \frac{F \cdot v}{p \cdot q}$$

F, force en N ; v, vitesse en  $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$  ; p, pression en  $\text{N} \cdot \text{m}^{-2}$  ; q, débit en  $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ .

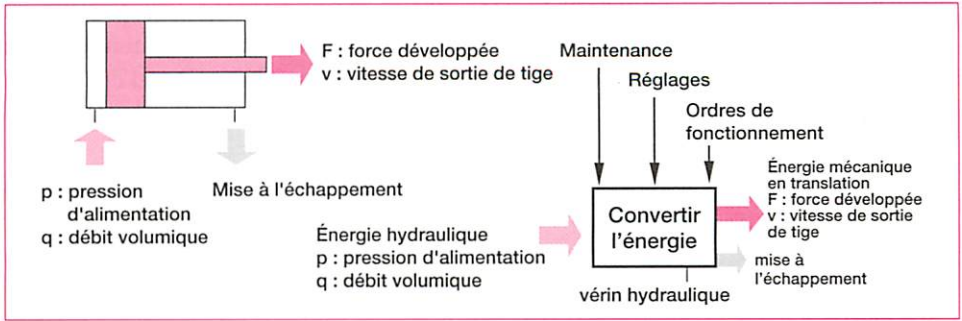


Figure 3.18 Modélisation d'un vérin hydraulique

### 2.3.4 Effort et vitesse en régime permanent

La vitesse de déplacement de la tige d'un vérin connaît 3 phases (sur une course totale, sortie de tige par exemple) : montée en vitesse, régime permanent (vitesse constante) et amortissement.

L'amortissement, caractéristique figée du vérin, permet d'obtenir des accostages aux fins de course sans choc (fig. 3.19).

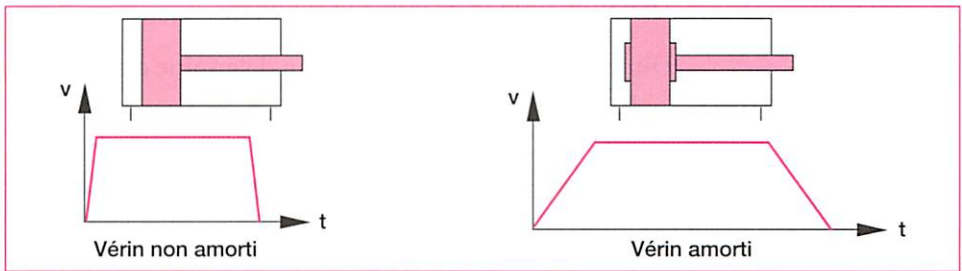


Figure 3.19 Influence du paramètre amortissement

Le vérin est considéré en régime permanent lorsque la vitesse est de valeur constante (hors phases d'accélération).

La vitesse de déplacement de la tige dépend du débit d'air comprimé de la conduite d'alimentation, et de la surface pressée :

$$v = \frac{q}{s}$$

$v$ , vitesse en  $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$  ;  $q$ , débit en  $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  ;  $s$ , surface de pression en  $\text{m}^2$ .

La valeur de cette vitesse de déplacement revue à la baisse en cas de régulation de vitesse installée sur l'échappement (fig. 3.20).

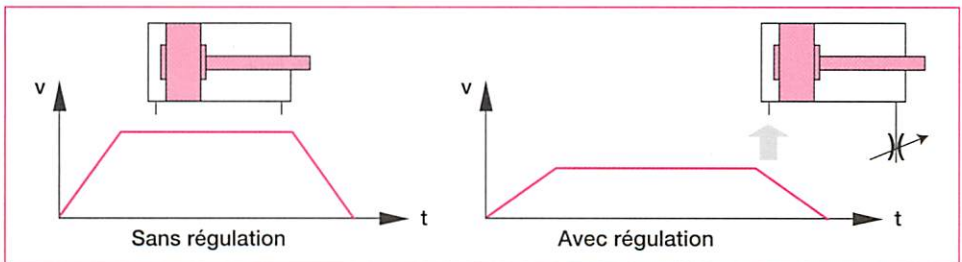


Figure 3.20 Influence du paramètre régulation

Dimensionner un vérin, c'est déterminer le diamètre de piston, le diamètre de tige, et la course.

La course est imposée par le cahier des charges, les diamètres sont déterminés par le calcul à partir des paramètres suivants :

- charge axiale à déplacer ;
- pression d'alimentation (environ 75 % de la pression de service) ;



- taux de charge ( $t_c = 0,6$  pour une poussée « dynamique »,  $t_c = 1$  pour une poussée « statique », le taux de charge dépend du frottement entre parties mobiles du vérin et de la contre-pression dans la chambre mise à l'échappement) ;
- sens du mouvement (sortie ou rentrée de tige ; la surface pressée n'est pas la même dans les deux cas) ;
- vérin simple effet ou double effet (il faut considérer la résistance du ressort d'un vérin simple effet).

Pour un cahier des charges proposé, la détermination pourrait se détailler de la manière suivante :

- **Données**

- Charge axiale à pousser :  $F_p = 1\,500\text{ N}$ .
- Charge axiale à tirer :  $F_t = 500\text{ N}$ .
- Course :  $c = 0,2\text{ m}$ .
- Pression de service :  $p_s = 8 \cdot 10^5\text{ Pa}$ .

- **Résolution**

- Choix du taux de charge : la poussée doit être développée sur la quasi-totalité de la course, de façon dynamique, le taux de charge retenu est égal à 0,6.

- Détermination de l'effort à développer :  $F_{\text{prat}} = \frac{F_p}{t_c} = \frac{1\,500}{0,6} = 2\,500\text{ N}$ .

- Dimensionnement du piston : on détermine d'abord la surface pressée :

$$S = \frac{F_{\text{prat}}}{p} = \frac{2\,500}{0,75 \times 8 \cdot 10^5} = 4\,166 \cdot 10^{-6}\text{ m}^2.$$

Cette surface  $S$  correspond à un piston de diamètre  $D = 72\text{ mm}$ .

Les fournisseurs proposent  $\varnothing 63$  et  $\varnothing 80$ , on retiendra cette dernière valeur.

Le choix du vérin étant engagé (le diamètre de tige est imposé par le constructeur pour un diamètre de piston donné), il faut alors vérifier que celui-ci réponde au cahier des charges proposé (les vérifications se font généralement à partir d'abaques fournis par les constructeurs) : vérification de la résistance de la tige (au flambage, phénomène de compression), vérification de l'aptitude à tirer la charge, vérification de durée de vie (les bagues de guidage sont soumises aux efforts radiaux, et les joints d'étanchéité au frottement dans les liaisons), vérification des amortissements, etc.

### 2.3.5 Conditions d'implantation

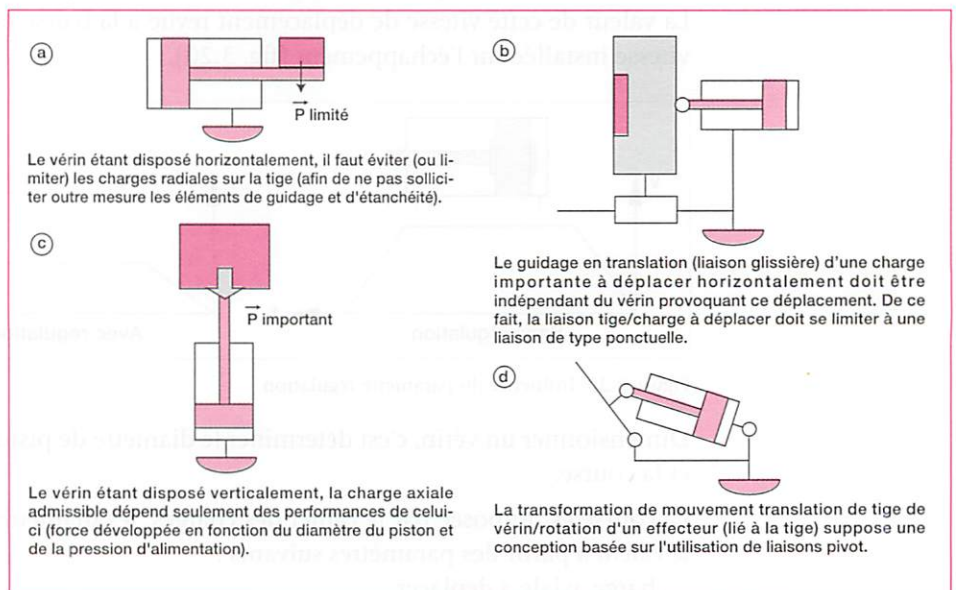


Figure 3.21 Solutions constructives

Les vérins sont dimensionnés pour résister aux efforts axiaux essentiellement, il faut en tenir compte lors de l'implantation de l'actionneur sur la partie opérative considérée ; la conception de la liaison tige-effecteur doit se faire avec pour objectif la recherche d'une solution isostatique au problème posé (fig. 3.21).

## 3 Circuits de puissance

### 3.1 Alimentation en énergie

#### 3.1.1 Alimentation électrique

Le chapitre 10 sur la schématisation complète les informations exposées dans ce paragraphe.

Les principales sources d'énergie sont présentées dans le tableau 3.15.

Désignation de la source d'énergie	Caractéristiques	Applications
Réseau triphasé	400 V entre phases. Tension composée	Toutes applications industrielles nécessitant des puissances importantes (moteurs asynchrones)
Réseau monophasé	230 V entre une phase et le neutre. Tension simple	Installations domestiques et tertiaires de faibles puissances (quelques kW)
Source continue à partir du réseau	Produite par des convertisseurs électroniques à partir du réseau	Emploi très spécifique de moteurs à courant continu. Traitements chimiques (électrolyse...)
Source continue embarquée	Piles ou batteries	Réservées aux équipements autonomes et de faible puissance

Tableau 3.15 Principales sources d'énergie

La source d'énergie du scooter est constituée par des batteries.

La recharge des batteries est effectuée par un chargeur connecté au réseau monophasé, la régulation de la charge est assurée par un convertisseur alternatif/continu du type alimentation à découpage (fig. 3.22).

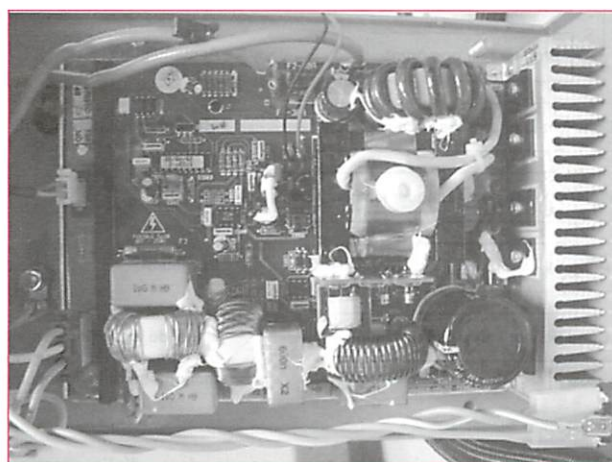


Figure 3.22 Alimentation à découpage du chargeur de batteries



### 3.1.2 Alimentation pneumatique

La production d'air comprimé (fig. 3.23) se fait à proximité de la zone d'utilisation, la pression en un point particulier d'une conduite étant inversement proportionnelle à la distance qui sépare ce point de la source d'énergie.

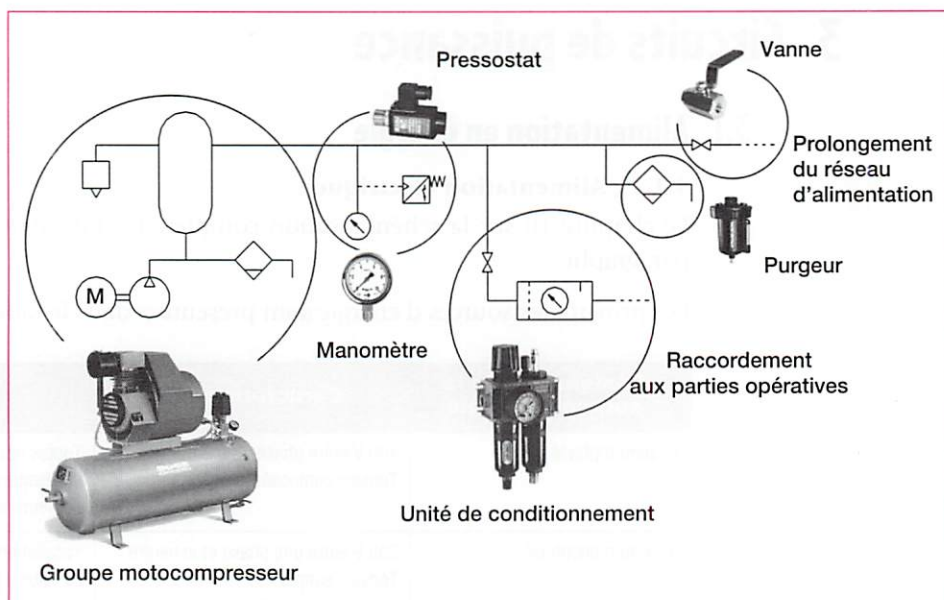


Figure 3.23 Schéma pneumatique d'un réseau d'alimentation

Différents composants, de fonction de service très spécifique, sont nécessaires à la production d'énergie pneumatique, de façon automatique, et en toute sécurité (fig. 3.24).

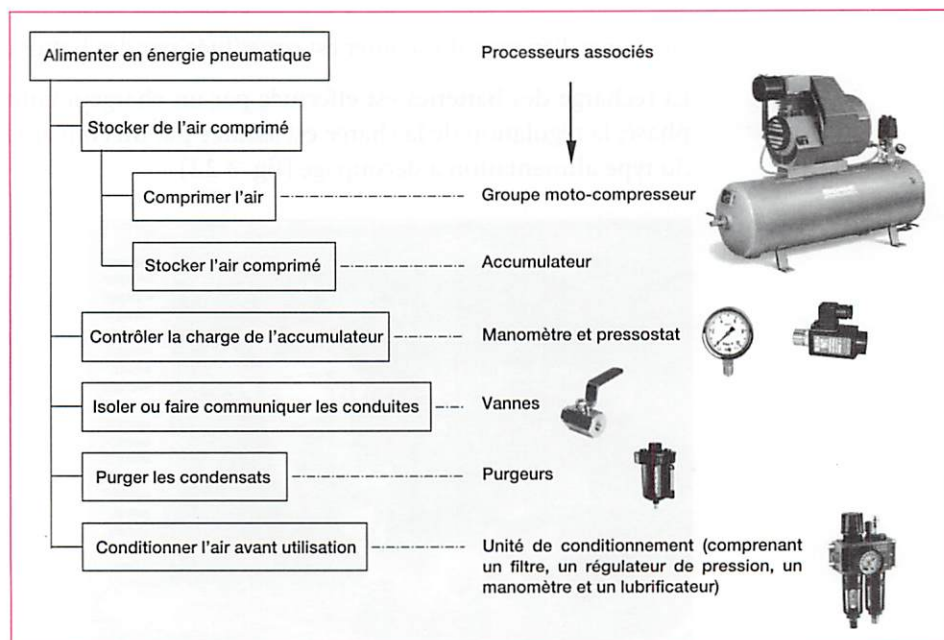


Figure 3.24 Fonctions de service des composants du réseau d'alimentation

Un groupe moto-compresseur aspire l'air ambiant, le comprime et le stocke dans un accumulateur (équipé de manomètre, soupape de sûreté, purgeur). Le fonctionnement du compresseur est géré par un pressostat : compression si la pression est insuffisante à la sortie de l'accumulateur, et arrêt du compresseur quand la pression de consigne est atteinte.

Des purgeurs disposés en différents points de l'installation permettent d'évacuer l'eau de condensation.

Chaque point d'utilisation (raccordement du réseau à une partie opérative) est équipé d'une unité de conditionnement, pour adapter la pression délivrée aux besoins des actionneurs, filtrer et lubrifier l'air comprimé distribué (les chambres des actionneurs soumises à la pression doivent être lubrifiées pour éviter l'oxydation des surfaces métalliques en contact avec l'air).

Des accumulateurs secondaires, placés en différents points de l'installation permettent de palier aux problèmes d'éloignement des points de raccordement.

## 3.2 Commande de puissance

### 3.2.1 Fonction globale – Caractéristiques d'entrée/sortie

Le préactionneur a pour fonction la distribution d'énergie vers l'actionneur auquel il est connecté. Deux cas de figure se présentent : le *mode tout ou rien* (« TOR ») (fig. 3.25) pour lequel un ordre de la partie commande provoque la distribution de l'énergie de puissance à raison d'un débit figé (ouverture ou fermeture d'un « robinet »), ou le *mode proportionnel* (fig. 3.26) pour lequel un ordre analogique de la partie commande provoque la distribution de l'énergie de puissance proportionnellement au niveau de l'ordre émis (ouverture graduelle d'un « robinet »).

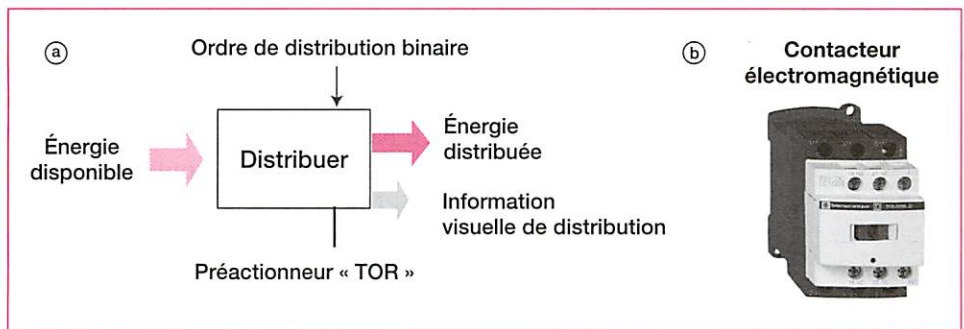


Figure 3.25 Préactionneurs de type « Tout ou Rien »

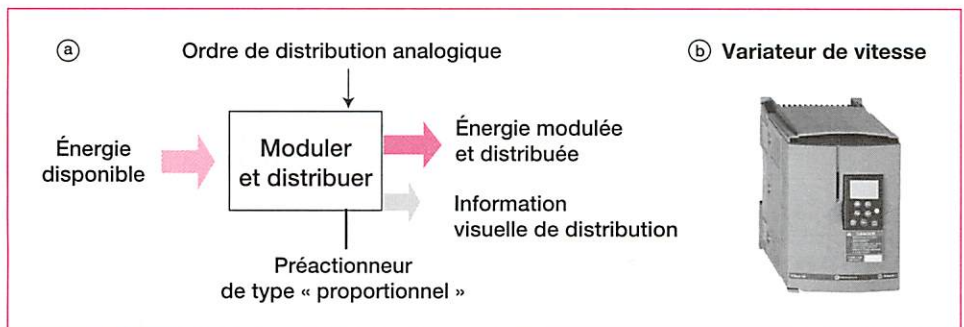


Figure 3.26 Préactionneurs de type « proportionnel »

### 3.2.2 Commande des actionneurs électriques

Sur le scooter électrique, le hacheur (préactionneur) assure le fonctionnement en vitesse variable du moteur (actionneur).

– Principe de la variation de la vitesse

Un usage confortable du scooter est offert par un préactionneur proportionnel qui gère la vitesse et le couple en agissant sur l'induit et l'inducteur du moteur.



L'induit et l'inducteur sont alimentés par deux hacheurs série abaisseurs de tension (fig. 3.27).

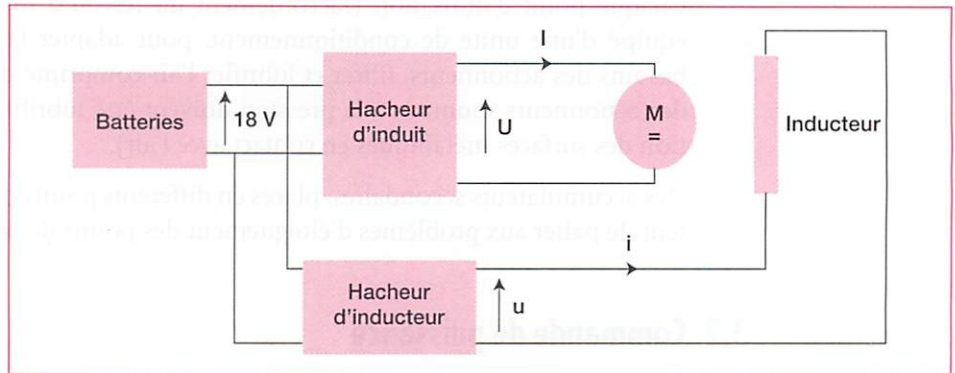


Figure 3.27 Alimentation du moteur par hacheurs

Pour agir sur la vitesse d'un moteur à courant continu, deux actions sont possibles :

- action sur l'induit en faisant varier la tension d'alimentation de l'induit ;
- action sur l'inducteur en faisant varier l'intensité du courant dans l'inducteur :

$$N = \frac{E}{k\Phi} = \frac{U - RI}{k\Phi}$$

avec E et U en volts,  $\Phi$  en webers, I en ampères, N en tours par minute.

Pour un moteur à courant continu, le couple agit sur l'intensité du courant dans l'induit, le courant d'excitation influence aussi sur le couple :  $T = k \cdot \Phi \cdot I$  ; avec T en newton-mètres,  $\Phi$  en webers et I en ampères.

– Paramètres de commande liés à la variation de vitesse

La tension moyenne U appliquée sur l'induit du moteur est fournie par le hacheur d'induit. Le courant parcourant l'inducteur est proportionnel à la valeur moyenne de la tension u délivrée par le hacheur d'inducteur. Ces tensions sont réglables (voir chapitre 8). Les tensions moyennes appliquées au moteur sont fonction des rapports cycliques  $\delta_1$  et  $\delta_2$  (fig. 3.27).

Dans cette application (fig. 3.28), les commandes des hacheurs sont des tensions continues :

- variant de 0 à 10 V pour le hacheur d'induit ;
- et de 2 à 10 V pour le hacheur d'inducteur.

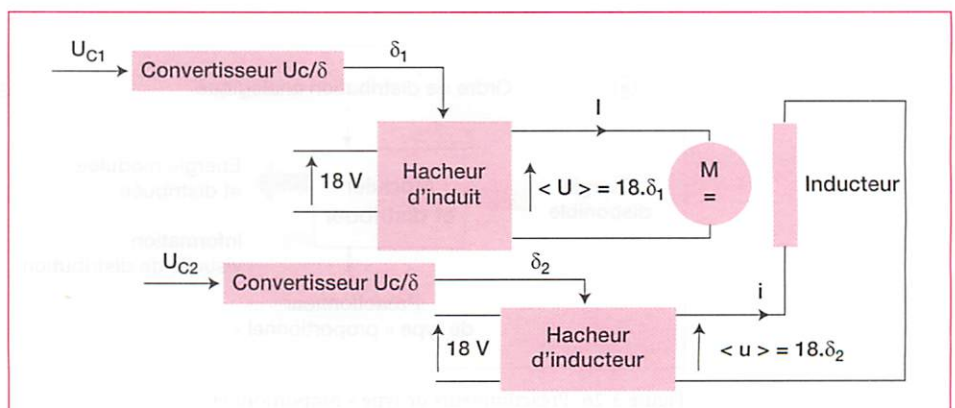


Figure 3.28 Tension de commande des hacheurs

Les relations qui lient les valeurs moyennes de U et de u à  $U_{c1}$  et  $U_{c2}$  sont linéaires ; les points particuliers sont donnés par le tableau 3.16.

$U_{c1}$	$\langle U \rangle$	$U_{c2}$	$\langle i \rangle$
0 V	0 V	0 V	0 A
10 V	18 V	10 V	28,1 A

Tableau 3.16 Tensions de commande

Le problème posé consiste à déterminer les valeurs des tensions  $U_{C1}$  et  $U_{C2}$  permettant d'obtenir les deux cas extrêmes de l'essai du moteur (tableau 3.10).

• Valeurs correspondant au cas (1) :  $\langle U \rangle = 17,85 \text{ V}$  et  $\langle i \rangle = 7,71 \text{ A}$ .

Expression de la loi de commande du hacheur d'induit :  $\langle U \rangle = A \cdot U_{C1}$  et  $A = 1,8$ .

Valeur de la tension de commande :  $U_{C1} = 17,85 / 1,8 = 9,92 \text{ V}$ .

Expression de la loi de commande du hacheur d'inducteur :  $\langle i \rangle = B \cdot U_{C2}$  avec  $B = 2,81 \text{ A/V}$ .

Valeur de la tension de commande :  $U_{C2} = 7,71/2,81 = 2,74 \text{ V}$ .

• Valeurs correspondant au cas (2) :  $\langle U \rangle = 14,6 \text{ V}$  et  $\langle i \rangle = 19,16 \text{ A}$ .

Valeur de la tension de commande du hacheur d'induit :  $U_{C1} = 14,6/1,8 = 8,11 \text{ V}$ .

Valeur de la tension de commande du hacheur d'inducteur :  $U_{C2} = 19,16/2,81 = 6,82 \text{ V}$ .

Les commandes des variateurs de vitesse sont généralement des tensions variant de 0 à 10 V, ou de - 10 V à + 10 V, ou des courants variant de 4 à 20 mA, et plus rarement de 0 à 20 mA.

### 3.2.3 Commande des actionneurs pneumatiques

Le problème posé consiste à distribuer l'énergie à l'actionneur (qui la convertira), sur ordre de la partie commande.

Le choix des constituants des chaînes d'énergie se fait progressivement, tenant compte notamment des tâches à effectuer et de la partie commande retenue (tableau 3.17).











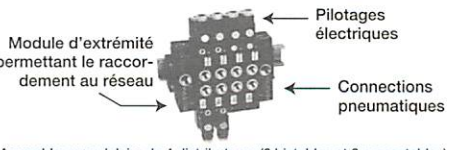
La partie commande d'un système automatisé est de nature électrique (cas général) ou pneumatique (systèmes « tout pneumatique », de tâches simples, ou d'environnement explosif)	 Partie commande électrique (API)
Le choix de la partie commande étant réalisé (automate programmable, par exemple, délivrant des ordres sous forme de signal électrique), le choix de l'actionneur déterminera alors le type de préactionneur qui l'alimentera. <i>L'analyse se limite au domaine des vérins pneumatiques</i>	 Vérin à simple effet  Vérin à double effet
La désignation d'un distributeur fait apparaître plusieurs caractéristiques : le nombre d'orifices qui permettront son raccordement à la source d'énergie et à l'actionneur d'une part, le nombre de positions de commutation (entre source d'énergie et actionneur) d'autre part	 Distributeur 3/2  Distributeur 4/2  Distributeur 5/2
La désignation du distributeur indique également la nature du signal de pilotage des positions de commutation...	 Pilotage pneumatique  Pilotage électrique
La désignation du distributeur précise enfin la caractéristique monostable ou bistable (souvent dictée par des contraintes de sécurité ; lors d'une coupure d'énergie par exemple, le préactionneur provoquant une position de repli ou maintenant la position atteinte avant coupure)	 Distributeur bistable  Distributeur monostable
Les distributeurs sont généralement associés de façon modulaire sur des racks facilitant leur assemblage et leur raccordement au réseau d'alimentation.	 Assemblage modulaire de 4 distributeurs (2 bistables et 2 monostables) Module d'extrémité permettant le raccordement au réseau Pilotages électriques Connexions pneumatiques

Tableau 3.17 Choix des distributeurs

Le choix entre distributeur 4/2 ou distributeur 5/2 dépend des propositions faites par les fournisseurs, en matière de modularité des composants et en matière de coût, les distributeurs 4/2 nécessitant un raccord de mise à l'échappement seulement alors que les distributeurs 5/2 imposent 2 raccordements.



## exemple

Un distributeur 3/2 est généralement associé à un vérin simple effet (fig. 3.29).

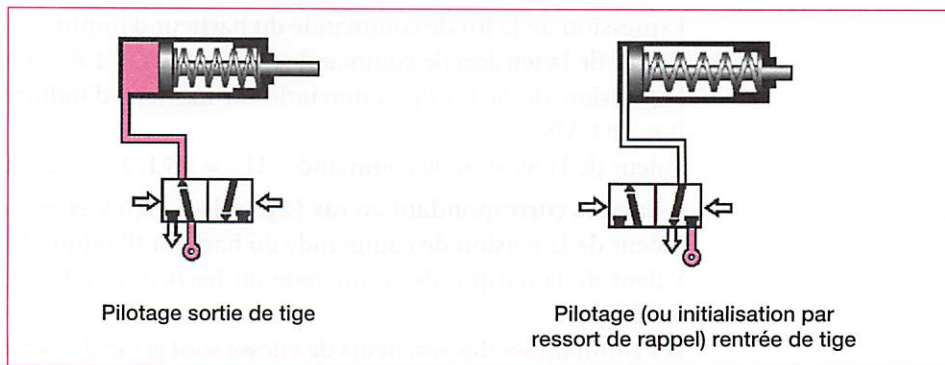


Figure 3.29 Usage d'un distributeur 3/2



## exemple

Un distributeur 5/2 est fréquemment associé à un vérin double effet (fig. 3.30).

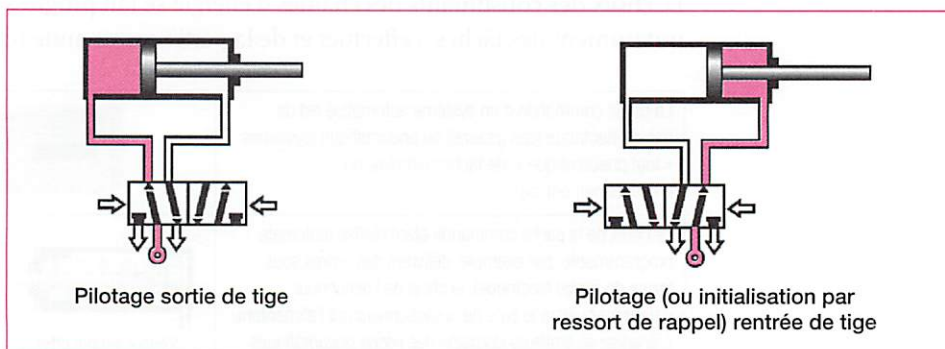


Figure 3.30 Usage d'un distributeur 5/2



La chaîne d'énergie, sur ordre de la chaîne d'information, permet d'acheminer l'énergie nécessaire au développement d'une action.

Les actionneurs (moteur asynchrone, moteur à courant continu, vérin hydraulique, vérin pneumatique, etc) convertissent l'énergie disponible en énergie utilisable par les effecteurs.

La source d'énergie se présente sous forme de réseau d'alimentation (électrique, pneumatique) ou sous forme d'accumulateurs embarqués.

L'énergie pneumatique, du fait de la difficulté à contrôler certains paramètres (vitesse et position), est réservée au domaine de la manutention principalement, l'énergie hydraulique, de comportement plus « linéaire », permet le développement d'efforts importants et le contrôle précis des positions et vitesses affichées.

Le rendement d'un actionneur traduit l'efficacité de la conversion d'énergie :

– rendement d'un vérin (hydraulique par exemple) :

$$\eta = \frac{\text{puissance mécanique}}{\text{puissance hydraulique}} = \frac{F \cdot v}{p \cdot q}$$

– rendement d'un moteur électrique (à courant continu par exemple) :

$$\eta = \frac{\text{puissance mécanique}}{\text{puissance électrique}} = \frac{T \cdot \Omega}{U \cdot I} \text{ ou } \frac{C\omega}{UI}$$

Les préactionneurs permettent l'alimentation en énergie de l'actionneur, sur ordre de la partie commande. On distingue la distribution d'énergie de type « tout ou rien » (distributeur pneumatique, contacteur...) de la distribution du type proportionnel (variateur de vitesse par exemple).

Le choix d'un préactionneur dépend de l'actionneur qu'il alimentera, des caractéristiques de l'énergie à distribuer, de la technologie de partie commande retenue, de facteurs économiques, etc.

Les deux éléments de réglage de la vitesse d'un moteur à courant continu sont la tension d'induit et le courant d'excitation.

Dans la plupart des applications, ces deux actions sont conjuguées car il est nécessaire de satisfaire à la fois les contraintes de vitesse et de couple imposées par la charge.

Pour un point de fonctionnement donné, le choix d'un moteur est guidé par le besoin de délivrer une puissance à une vitesse donnée (ou de fournir un couple à une vitesse donnée).

Dans une application à vitesse variable, il convient d'établir une corrélation :

- entre la caractéristique du couple moteur (en fonction de la fréquence de rotation) ;
- et la caractéristique de la charge (force – vitesse ou couple résistant en fonction de la fréquence de rotation).

Les performances de vitesse, couple ou puissance, la puissance massique, le rendement ou l'autonomie sont des critères de choix technologiques importants dans certaines applications (véhicules électriques par exemple).

**Mots clés :** *actionneur, asynchrone, autonomie, bistable, contacteur, convertir, couple, courant alternatif, courant continu, débit, distribuer, distributeur, double effet, effecteur, énergie, force, fréquence de rotation, hacheur, inducteur, induit, moduler, monostable, pilotage, préactionneur, pression, proportionnel, puissance absorbée, puissance électrique, puissance hydraulique, puissance mécanique, puissance utile, régime permanent, rendement, simple effet, tout ou rien (TOR), variateur de vitesse, vitesse.*



# exercices

## EXERCICE 1

Vérifier que le vérin choisi, pour répondre à un problème posé, respecte le cahier des charges imposé.

Données du cahier des charges :

Vérin double effet, sans amortissement, de diamètre de piston  $D = 63$  mm, de diamètre de tige  $d = 20$  mm, de course  $c = 400$  mm.

Effort à développer en sortie de tige :  $F_s = 1\,800$  N.

Effort à développer en rentrée de tige :  $F_r = 1\,500$  N.

Pression de service :  $p_s = 8 \cdot 10^5$  Pa

1. Quelle pression faut-il régler sur l'unité de conditionnement pour développer l'effort à fournir en sortie de tige ?
2. Cette pression est-elle compatible avec la pression de service fournie par le compresseur ?
3. L'effort à développer en rentrée de tige est-il assuré pour cette pression réglée ?
4. Le débit d'air comprimé alimentant le vérin est réglé à la valeur  $q = 200$  L/min, vérifier que le temps de sortie de tige est inférieur à 1 seconde.

## EXERCICE 2

- Identifier sur le schéma pneumatique proposé (fig. 3.23) les symboles des composants décrits dans le paragraphe correspondant. Indiquer sur ce schéma le cheminement de l'air, du compresseur à l'utilisation. Comment réagirait l'installation pour chaque événement suivant constaté : surpression dans l'accumulateur, pression insuffisante dans l'accumulateur, purgeurs défaillants, manomètre lié au presostat défaillant ?

## EXERCICE 3

- Proposer une liste de composants permettant le respect du cahier des charges suivant : commande électrique de la sortie de tige d'un vérin pneumatique double effet ; le retour à la configuration initiale doit être automatique en cas de coupure d'énergie électrique. Représenter le schéma de puissance correspondant.

## EXERCICE 4

Vérifications des performances du moteur du scooter électrique (puissance).

Hypothèse simplificatrice : l'effort résistant dû à la pénétration dans l'air est supposé constant entre 20 et 30 km/h.

1. À quelle vitesse maximale, ce scooter peut-il gravir une pente de 17 %, lorsque son moteur fournit sa puissance maximale de 3 kW ?
2. À cette vitesse, l'hypothèse simplificatrice est-elle justifiée ?

## EXERCICE 5

Vérifications des performances du moteur du scooter (vitesse et couple).

1. Calculer la vitesse du moteur permettant au scooter d'atteindre la vitesse de manutention de 5 km/h.
2. Calculer le couple sur l'arbre du moteur lorsque le scooter gravit à 20 km/h une pente de 17 %.

## EXERCICE 6

Performance du chargeur.

Le chargeur fournit un courant de charge constant.

- Quelle intensité doit débiter le chargeur pour qu'en 10 min de charge le scooter ait récupéré une autonomie de 5,5 km en mode « économique » ?

# 4

# Transmettre l'énergie

Assemblages  
Les mécanismes sont réalisés par chaînes d'assemblage  
Les différents composants de chaînes d'assemblage  
L'objectif de ces chaînes d'assemblage est de réaliser des produits  
de haute qualité en respectant les délais et les coûts.

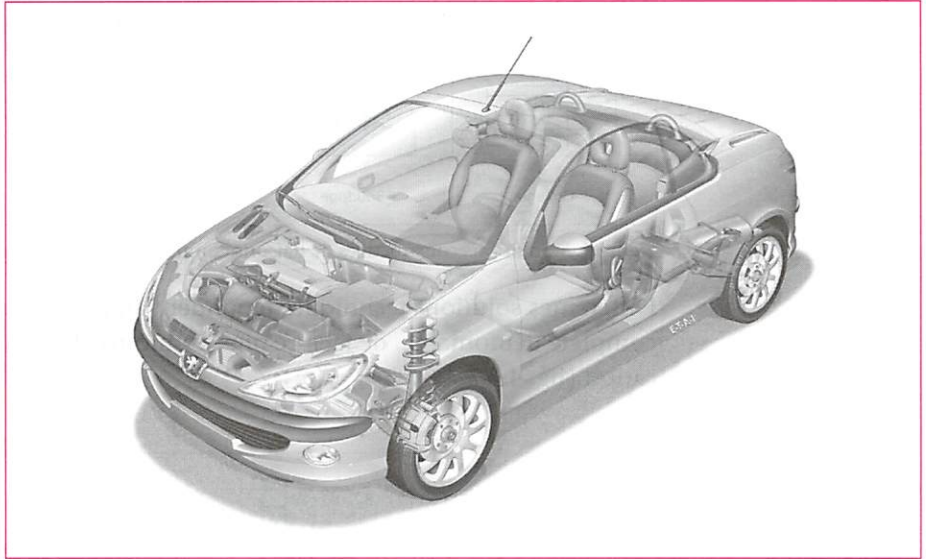


Figure 4.1 Propulsion et transmissions d'une voiture « 206 » de marque Peugeot

Les mécanismes sont faits de pièces assemblées les unes avec les autres, autorisant certaines mobilités pour assurer la loi d'entrée/sortie recherchée. Ces mobilités dépendent de la combinaison de surfaces fonctionnelles élémentaires qui définissent les contacts entre pièces (plan, cylindre, sphère...).

Le rendement de la transmission de puissance ainsi réalisée dépend notamment de la qualité de pièces fabriquées (qualité dimensionnelle, géométrique, d'état de surface, adéquation des matériaux...).

Les conceptions de guidages en translation, en rotation, sont aujourd'hui grandement facilitées par la diversité d'éléments standards présents sur le marché (bagues lisses, éléments roulants...). Ce marché développé par des spécialistes, permet d'associer à des fonctions type des sous-ensembles prêts à l'emploi (accouplements, embrayages, limiteurs de couple, freins...) pour aboutir à des produits de grande qualité.

## Compétences

Tout ou partie d'un produit réel étant à disposition, accompagné de son cahier des charges fonctionnel et de documents techniques le définissant :

- Identifier une solution constructive réalisée et lui associer sa fonction technique.
- Vérifier les caractéristiques fonctionnelles d'une solution constructive (cinématique, précision des guidages, efforts transmissibles, faisabilité d'assemblage).
- Proposer et justifier une solution constructive répondant à une modification du cahier des charges.



# 1 Les liaisons mécaniques : assemblages et guidages

## 1.1 Assemblages

Les mécanismes sont constitués de chaînes cinématiques (voir chapitre 8), elles-mêmes composées de classes d'équivalence. Une *classe d'équivalence* est un ensemble de pièces assemblées les unes avec les autres de telle manière qu'aucune mobilité ne réside entre elles (ces pièces sont en liaison complète les unes avec les autres). Par ailleurs, on qualifiera de *liaison complète démontable* une liaison complète dont le démontage n'occasionnera aucun dommage aux pièces isolées (dans le cas contraire, on parlera de liaisons complètes indémontables – figure 4.2).

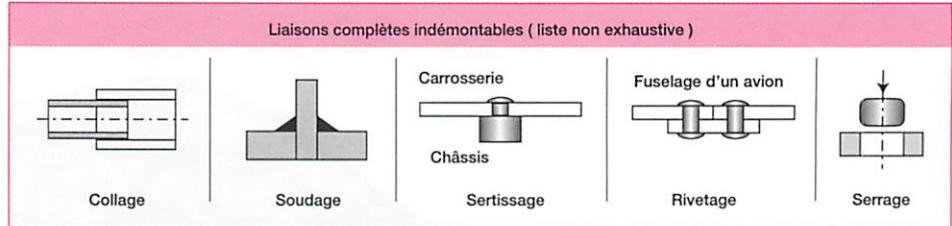


Figure 4.2 Solutions constructives de liaisons complètes indémontables

Différentes solutions techniques répondent au problème de conception de liaison complète démontable, de facture plus ou moins élevée selon les contextes d'application (fig. 4.3 à 4.8).

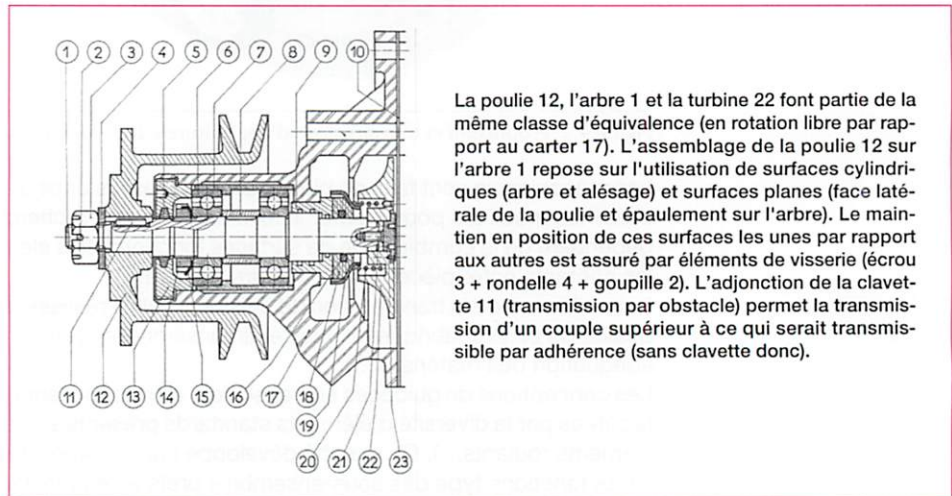


Figure 4.3 Pompe à eau de véhicule automobile

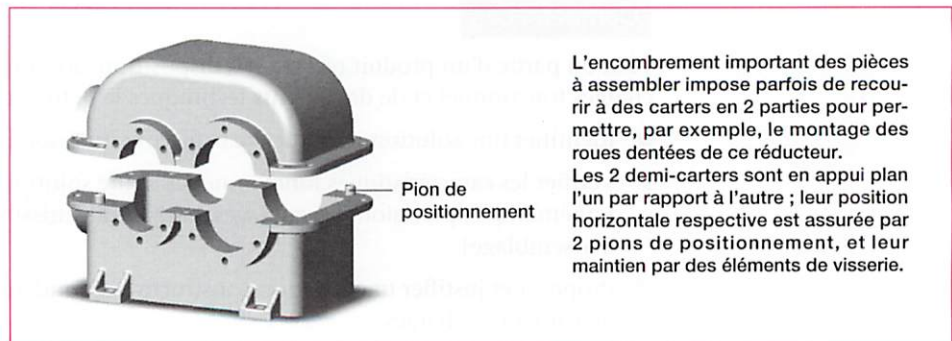


Figure 4.4 Carter de réducteur en 2 parties

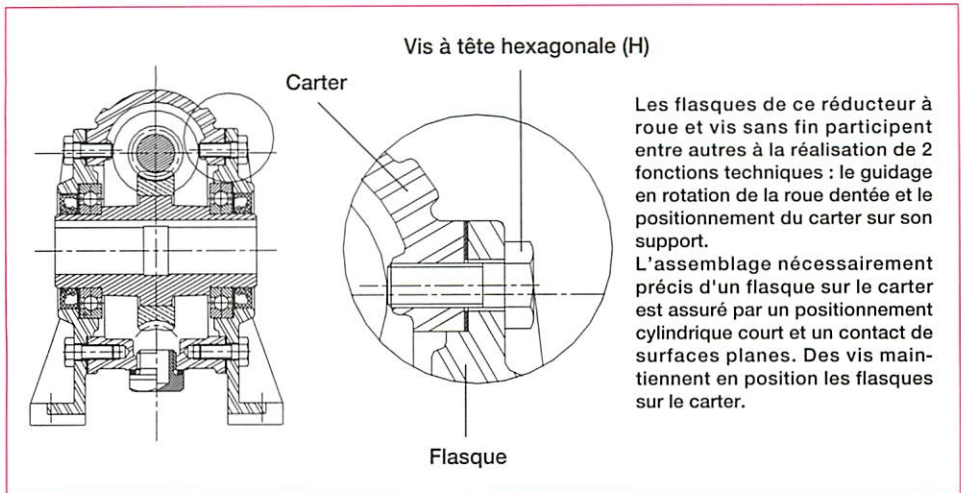


Figure 4.5 Réducteur à roue et vis sans fin

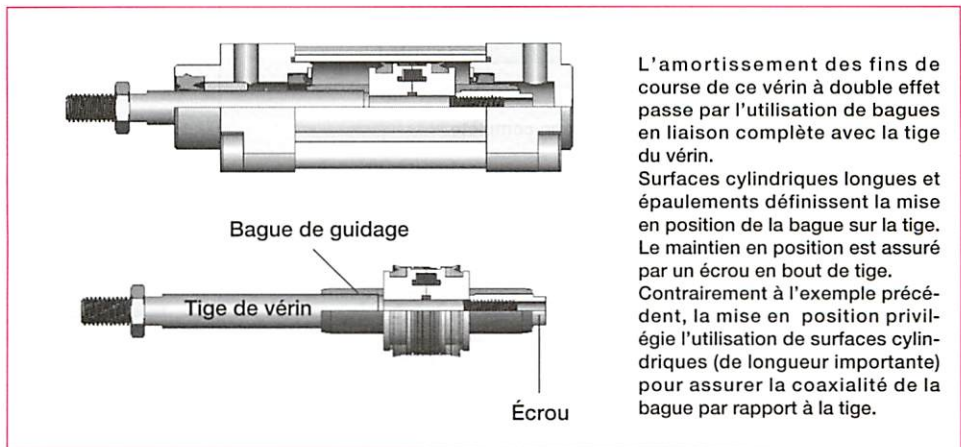


Figure 4.6 Vérin pneumatique à double effet

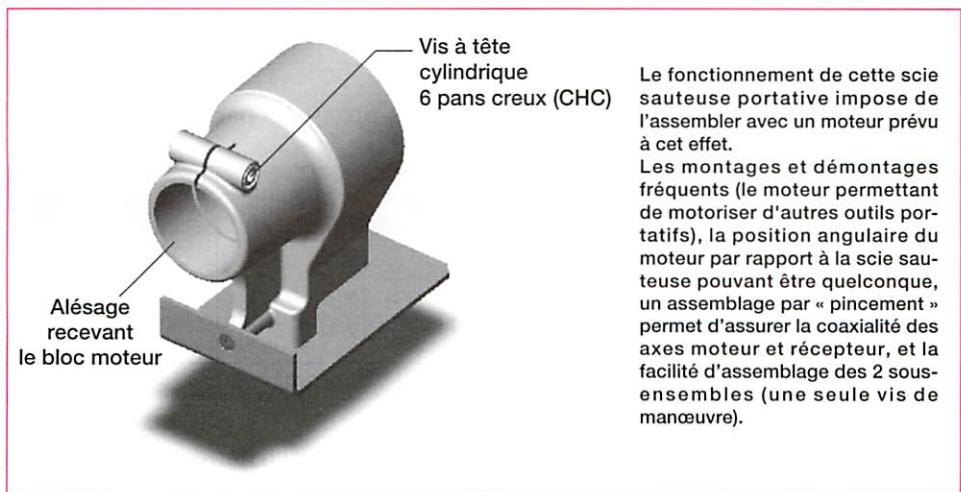


Figure 4.7 Scie sauteuse



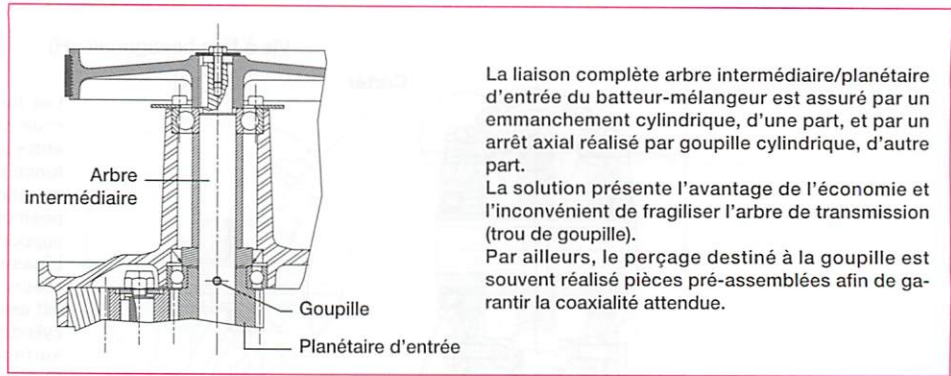


Figure 4.8 Transmission de puissance de batteur-mélangeur

L'identification d'une liaison à partir d'une représentation plane (plan d'ensemble) nécessite la plus grande attention, notamment vis-à-vis des détails et des légendes apparentes (fig. 4.9).

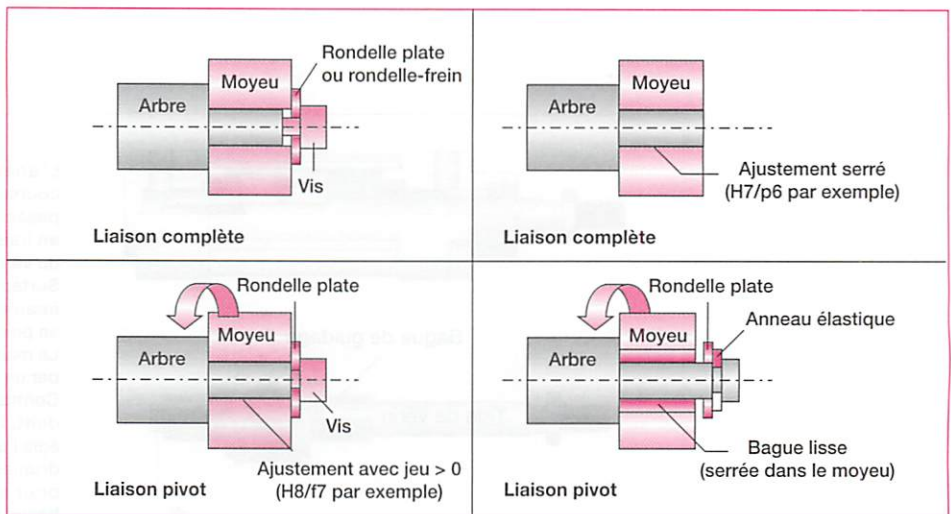


Figure 4.9 Interprétation des représentations planes

## 1.2 Guidage en translation

### 1.2.1 Liaison glissière

Un *guidage en translation* correspond au modèle de *liaison glissière* (ou pivot glissant dans certains cas de figure) entre 2 solides.

La liaison glissière n'autorise qu'un seul degré de liberté : la translation selon l'axe de guidage considéré.

Pour rappel, le tableau 4.1 précise les paramètres de ce modèle de liaison.

Torseur cinématique	Torseur d'effort transmissible	Représentation plane	Représentation spatiale
$\begin{Bmatrix} 0 & T_x \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{Bmatrix}$	$\begin{Bmatrix} 0 & L \\ Y & M \\ Z & N \end{Bmatrix}$		

Tableau 4.1 Paramétrage du modèle de liaison glissière

Les organes matérialisant ce guidage en translation devront alors répondre à 2 critères :

- précision du guidage ;
- faible résistance au mouvement.

### 1.2.2 Précision du guidage

La précision du guidage est liée à la conception retenue (nombre de pièces impliquées, formes des surfaces fonctionnelles, précision dimensionnelle et géométrique des pièces, contrôle des jeux dans la liaison, composantes du torseur des efforts transmissibles...). Quoiqu'il en soit, la simplicité facilitera la recherche de l'objectif précision.

La figure 4.10 propose quelques formes fonctionnelles servant de support au guidage en translation (modèle glissière).

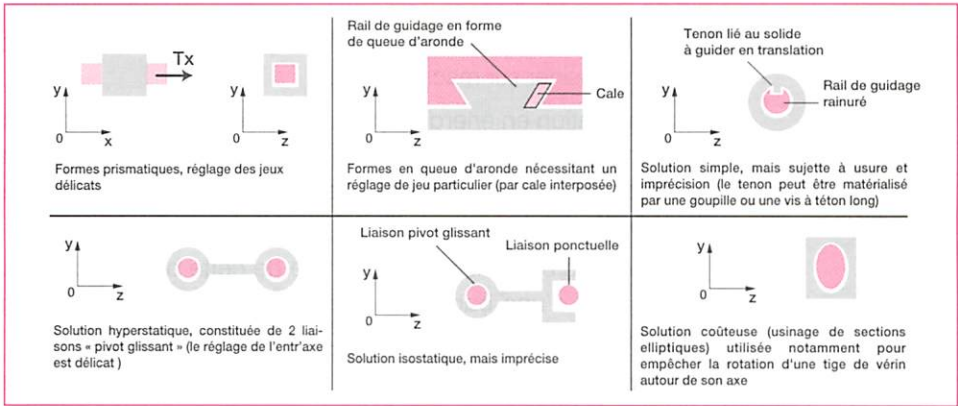


Figure 4.10 Surfaces fonctionnelles de guidages en translation

### 1.2.3 Résistance au mouvement

Les dimensions du guidage en translation, les frottements considérés, les forces appliquées au solide mobile, sont des paramètres d'influence sur la *résistance au mouvement* dans le guidage.

La figure 4.11 modélise ce comportement, tenant compte des paramètres annoncés. Une tige, guidée en translation dans un bâti, est soumise à une force  $\vec{T}$  excentrée devant provoquer le mouvement tige/bâti.

Le diagnostic, mouvement ou coincement, dépend de la position du glisseur  $\vec{T}$  par rapport à la droite  $\Delta$  (limite de l'équilibre) : si  $\vec{T}$  se trouve à gauche de  $\Delta$ , il y a mouvement relatif ; dans le cas contraire, il y a *arc-boutement* (ou coincement) des 2 solides l'un par rapport à l'autre.

Ce phénomène d'arc-boutement est indépendant de l'intensité des forces appliquées.

La minoration du paramètre  $h$  (longueur de guidage) et la majoration des paramètres  $b$  (bras de levier),  $d$  (largeur de guidage) et  $\varphi$  (angle de frottement) favorisent le risque d'arc-boutement.

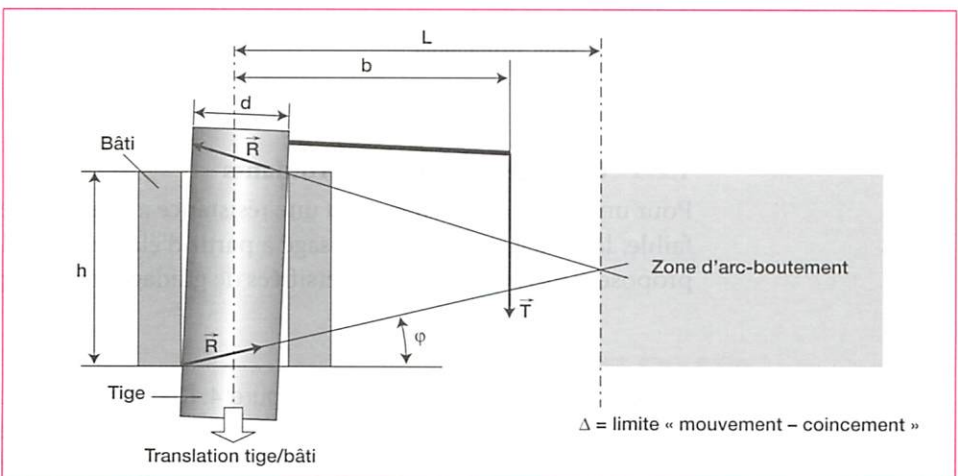


Figure 4.11 Paramétrage de l'arc-boutement dans un guidage en translation



### 1.2.4 Guidage par glissement

Le contact direct entre 2 solides en *liaison glissière* (ou pivot glissant) l'un par rapport à l'autre est sujet à usure, propice à la résistance au mouvement, et de coût élevé.

L'interposition de bagues de guidage en bronze, en fonte, en téflon, diminue la résistance au mouvement, et permet, le cas échéant, le remplacement de ces composants lorsqu'ils sont usés, diminuant de ce fait le coût de ces guidages.

## exemple

La figure 4.12 représente une bride hydraulique permettant notamment l'ablocage de pièces à usiner sur machine-outil.

L'alimentation en énergie hydraulique de la chambre située sous le piston provoque la translation du sous-ensemble tige-piston, et par transformation de mouvement, la rotation de la bride. La bride exerce alors l'effort d'ablocage sur la pièce à maintenir en position.

Le guidage en translation de la tige de cette bride hydraulique repose en partie sur l'utilisation d'une bague en bronze, de coefficient de frottement réduit, au contact avec l'acier de la tige ( $f = 0,1$  pour un contact graissé).

La bague est serrée à la presse dans le corps de bride (réalisé en alliage léger), elle guide la tige lors de son mouvement de translation rectiligne (le jeu radial entre bague et tige se limite à quelques centièmes de millimètres).

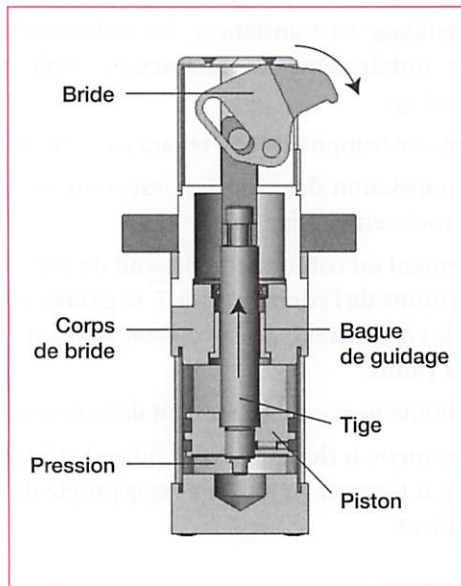


Figure 4.12 Bride hydraulique



### 1.2.5 Guidage par éléments roulants

Pour une précision accrue et/ou une résistance au mouvement volontairement très faible, le guidage peut être envisagé à partir d'éléments roulants. Les constructeurs proposent des gammes très diversifiées de guidages en kit répondant à la demande.

## exemple

La table de radiologie représentée figure 4.13a doit pouvoir développer des mouvements de translation d'une grande précision ; les guidages sont réalisés à partir d'éléments roulants (galets montés sur roulements à billes, roulant sur des rails de précision – figure 4.13b).

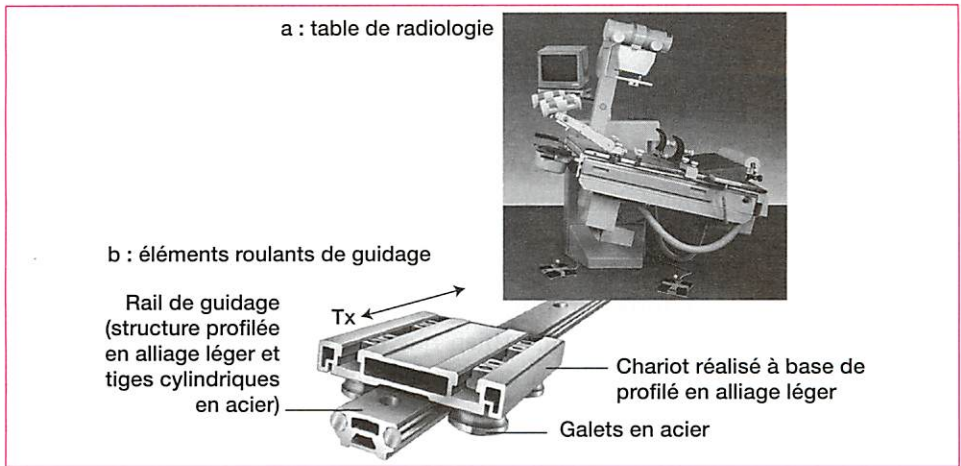


Figure 4.13 Table de radiologie et éléments roulants de guidage (source : INA France)

.....

### 1.3 Guidage en rotation

La liaison pivot modélise tout *guidage en rotation*.

Deux familles de solution s'offrent au concepteur : le guidage par glissement (à l'aide de bagues interposées entre arbre et moyeu) et le guidage à base d'éléments roulants (en utilisant roulements à billes, à aiguilles, à rouleaux).

#### 1.3.1 Liaison pivot

La *liaison pivot* peut être envisagée sur la base de 3 orientations possibles (tableau 4.2) :

- par association d'une liaison pivot glissant et d'une liaison ponctuelle ;
- par association d'un appui plan et d'une liaison linéaire annulaire ;
- ou par association d'une liaison rotule avec une liaison linéaire annulaire.


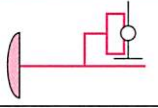

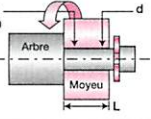
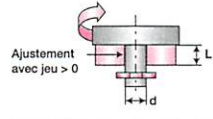
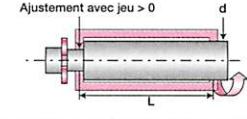
Combinaison pivot glissant + ponctuelle	Combinaison appui plan + linéaire annulaire	Combinaison rotule + linéaire annulaire
		
 <p>Ajustement avec jeu &gt; 0 (H7/g6 par exemple)</p> <p>Arbre</p> <p>Moyeu</p> <p>L</p> <p>d</p>	 <p>Ajustement avec jeu &gt; 0</p> <p>L</p> <p>d</p>	 <p>Ajustement avec jeu &gt; 0</p> <p>L</p> <p>d</p>
L ≥ d ; on privilégie le guidage de l'arbre par rapport à la surface cylindrique de l'alésage (solution retenue pour arbres courts)	L < d ; on privilégie le guidage de l'arbre par rapport à l'épaulement du moyeu (solution retenue pour guider en rotation des pièces de grand diamètre autour d'un axe vertical)	solution classique et performante (pour arbres longs)

Tableau 4.2 Liaison pivot : trois orientations possibles

Pour rappel, le tableau 4.3 précise les paramètres du modèle de liaison pivot.

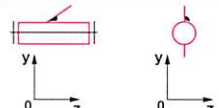
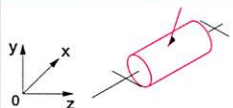
Torseur cinématique	Torseur d'effort transmissible	Représentation plane	Représentation spatiale
$\begin{Bmatrix} T_x & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{Bmatrix}$	$\begin{Bmatrix} X & 0 \\ Y & M \\ Z & N \end{Bmatrix}$		

Tableau 4.3 Paramétrage du modèle de liaison pivot



Quel que soit le principe géométrique retenu lors de la conception, les organes matérialisant ce guidage en rotation, devront répondre à 2 critères principalement :

- précision du guidage ;
- faible résistance au mouvement.

### 1.3.2 Guidage par glissement

Basée sur l'utilisation de bagues rapportées (appelées encore coussinets ou paliers lisses), cette première famille de solutions est réservée pour les applications peu exigeantes (fréquences de rotation modérées sauf exception, précision moyenne, efforts transmissibles limités), le frottement au contact entre arbre et moyeu étant source d'usure (bien que nécessairement lubrifié), de résistance au mouvement, d'imprécision, et donc facteur réducteur du rendement du guidage.

Le choix des matériaux est essentiel pour cette famille de solutions, visant rendement et durée de vie optimaux.

L'arbre est souvent réalisé en acier, parfois traité thermiquement, pour des questions de résistance. Les bagues de guidage doivent limiter la résistance au mouvement due aux frottements ; elles sont alors réalisées en bronze, fonte, matières plastiques (selon les efforts sollicitant le guidage et la vitesse relative au contact arbre-alésage), matériaux de bon coefficient de frottement en contact avec l'acier (contact nécessairement lubrifié).

Cette famille de solutions présente certains avantages :

- peu coûteux ;
- peu encombrants radialement ;
- résiste aux chocs et aux vibrations.

## exemple

Le winch représenté figure 4.14 est un treuil manuel qui permet de raidir les drisses et les écoutes d'un voilier. La rotation de la manivelle dans un sens provoque la rotation du tambour « en prise directe » ; la rotation de la manivelle dans l'autre sens réduit la fréquence de rotation du tambour par l'intermédiaire de roues dentées, et augmente le couple disponible sur celui-ci.

Le pignon représenté sur le détail (fig. 4.14a) tourne à faible fréquence de rotation, il est guidé en rotation par l'axe fixe lié au carter. Une bague en polyamide interposée entre axe et pignon limite les frottements lors de la rotation.

La bague est légèrement serrée dans le pignon (ajustement du type H7/K6) et glissante par rapport à l'axe fixe (H7/g6 par exemple).

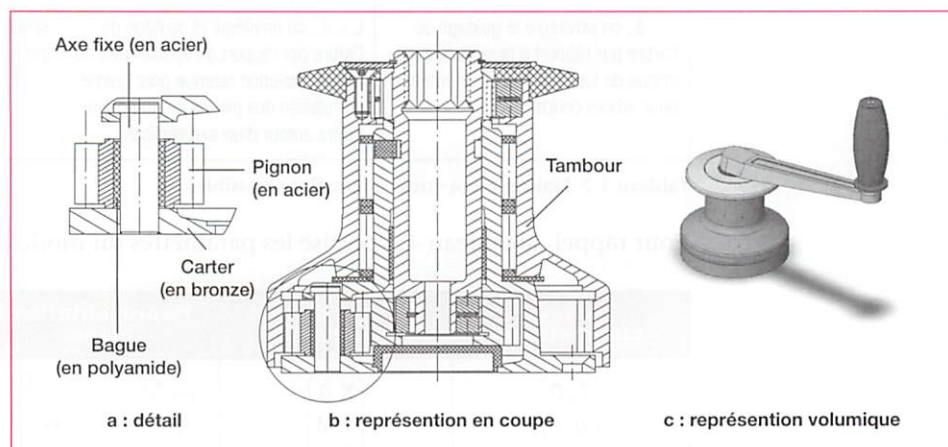


Figure 4.14 Winch



### 1.3.3 Guidage par roulement

Différentes familles de roulements permettent de guider en rotation les arbres de transmission, leur choix dépend des charges appliquées sur le palier (direction, intensité), de la fréquence de rotation et de l'amplitude du mouvement à contrôler (certaines rotations se développant sur des fractions de tour seulement), de l'environnement de travail (plus ou moins agressif, avec ou sans apport de lubrifiant), de la durée de vie envisagée... Le tableau 4.4 précise le type de charge supporté par ces différentes familles de roulements :

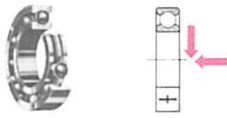


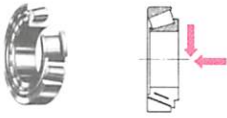

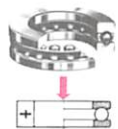
		
Roulements à une rangée de billes à contact radial (aptés à supporter des efforts radiaux modérés et de faibles efforts axiaux)	Roulements à rouleaux cylindriques (réservés aux efforts élevés de composante radiale uniquement)	Roulements à une rangée de billes à contact oblique (pouvant supporter des efforts combinés modérés)
		
Roulements à rouleaux coniques (réservés aux efforts combinés de grande intensité)	Roulements à aiguilles (limités aux charges radiales et bien adaptés aux rotations de faible amplitude angulaire – fractions de tour – peu encombrants par ailleurs)	Butées à billes (limitées aux charges axiales)

Tableau 4.4 Adéquation des roulements avec les charges à supporter

### 1.3.4 Règles de montage

Les fabricants de roulements préconisent certaines règles de conception, de montage, d'entretien, afin d'utiliser au mieux ces composants de précision ; ces règles dépendent notamment du type de roulement considéré et de la direction des charges à supporter.

## exemple

#### Palier constitué de roulements à billes à contact radial – arbre tournant

La figure 4.3, représentant une pompe à eau de véhicule automobile, répond au modèle cinématique « rotule + linéaire annulaire » (modèle cinématique classique, conseillé pour la majorité des cas de figure traités).

Le schéma technologique de cette même pompe à eau, représenté (fig. 4.15) met en évidence les surfaces fonctionnelles à considérer afin de respecter ces règles de montage.

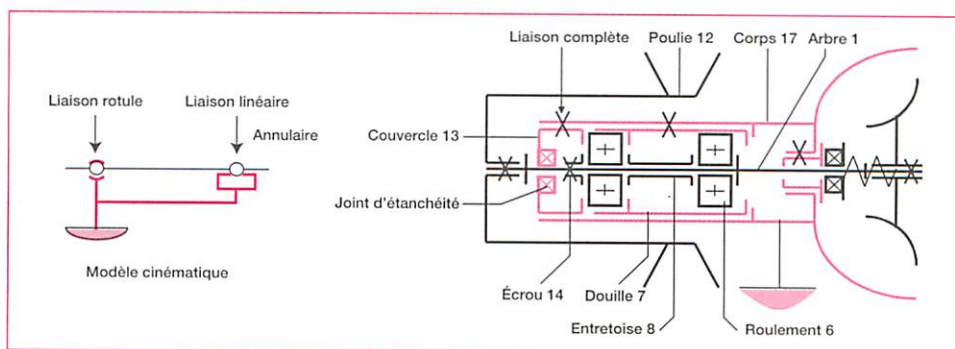


Figure 4.15 Schéma technologique de la pompe à eau

•••••



En règle générale, les bagues des roulements liées à l'élément tournant (autrement dit les bagues tournant par rapport à la direction de la charge) sont montées serrées sur leur support, pour éviter le « laminage » des surfaces en contact, et donc leur déformation (figure 4.16). S'agissant dans le cas de la pompe à eau d'un montage de roulements dit « à arbre tournant », les bagues intérieures des roulements seront donc montées serrées sur l'arbre. Les bagues liées à l'élément fixe (bagues extérieures dans le cas de la pompe à eau) sont montées « glissantes » dans

l'alésage (le jeu radial entre bagues extérieures et douille 7 se limite à quelques centièmes de millimètre).

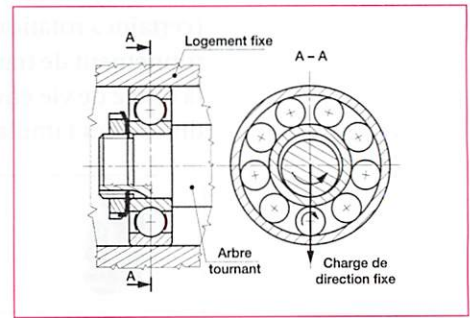


Figure 4.16 Phénomène de laminage des surfaces de contact

Les figures 4.17 et 4.18 précisent les ajustements recommandés par les fabricants de roulement, répondant au problème de laminage des surfaces de contact.

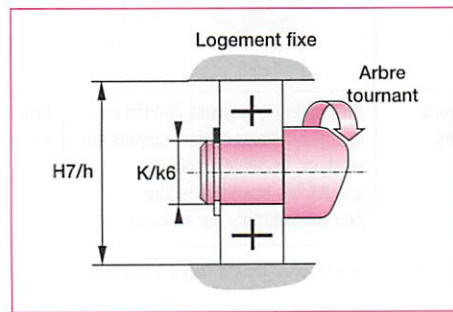


Figure 4.17 Ajustements recommandés pour arbre tournant

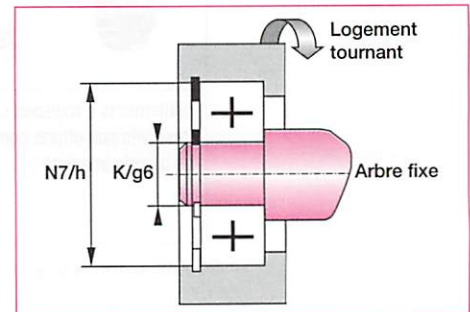


Figure 4.18 Ajustements recommandés pour logement tournant

La position des butées axiales sur bagues de roulement est essentielle, elle doit correspondre au modèle cinématique envisagé (figure 4.19).

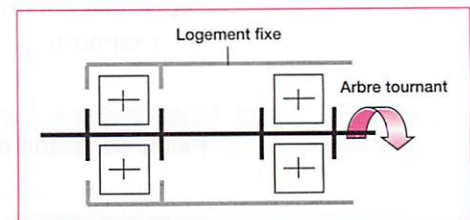


Figure 4.19 Butées axiales sur bagues de roulements de la pompe à eau

On peut envisager différentes solutions (figures 4.20 et 4.21), plus ou moins performantes, selon les facilités d'assemblage notamment (le serrage à la presse, souvent utilisé, conditionne la suite des opérations d'assemblage).

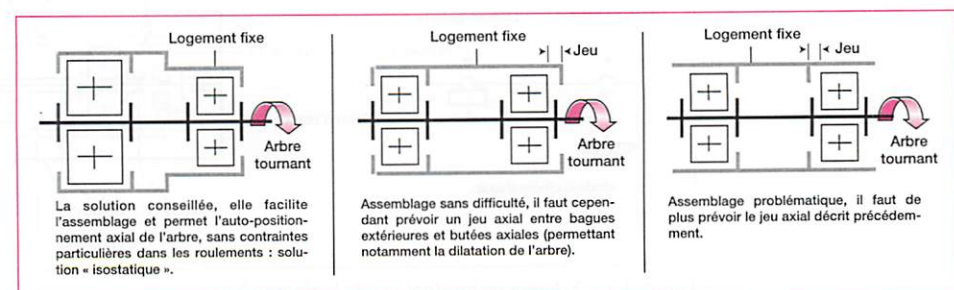


Figure 4.20 Schémas préconisés pour arbres tournants (bagues intérieures serrées sur l'arbre)

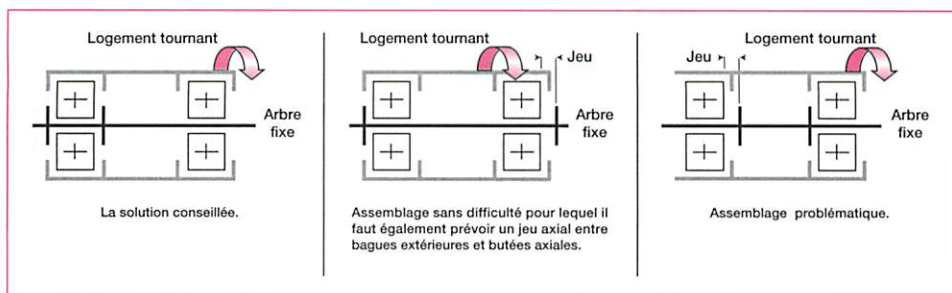


Figure 4.21 Schémas préconisés pour logements tournants (bagues extérieures serrées dans l'alésage)

## exemple

### Palier constitué de roulements à billes à contact radial – logement tournant

Le mécanisme représenté figure 4.22 permet l'indexage d'un produit en cours de fabrication autour d'un axe vertical. Le produit à fabriquer (non représenté) est entraîné en rotation et mis en position par le plateau repéré 3. Le moteur électrique 50 et l'engrenage (pignon 20 et roue 16) provoquent la rotation de ce plateau autour de l'axe d'indexage défini. Un codeur permet le contrôle de cette rotation fractionnée.

Le guidage en rotation du plateau est réalisé par un palier constitué de roulements à billes à contact radial (les composantes axiales des efforts en jeu se limitant au poids des pièces mobiles). Le montage de roulements est dit « à logement tournant », les bagues extérieures de ces roulements seront donc montées serrées dans leur logement (l'alésage pratiqué dans le moyeu 6), les bagues intérieures seront montées « glissantes » sur l'arbre fixe 11.

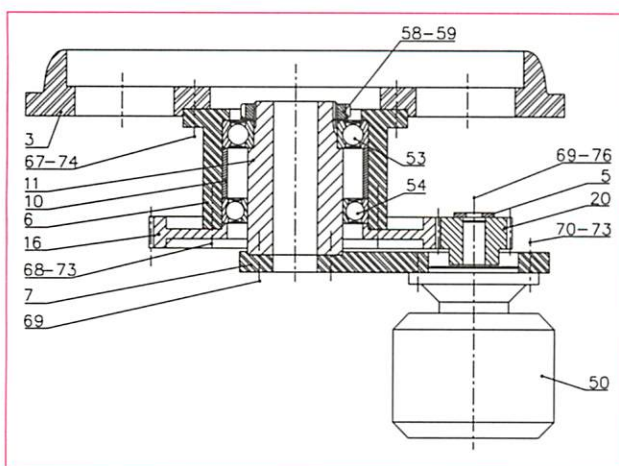


Figure 4.22 Mécanisme d'indexage



Les figures 4.23 et 4.24 proposent quelques solutions permettant de réaliser les butées axiales de bagues de roulements.

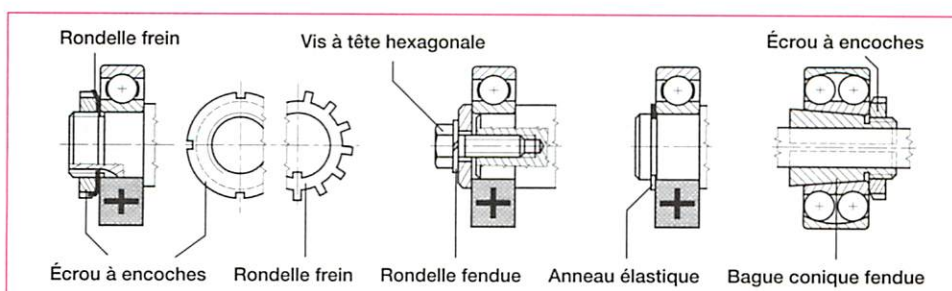


Figure 4.23 Réalisations de butées axiales sur bagues intérieures



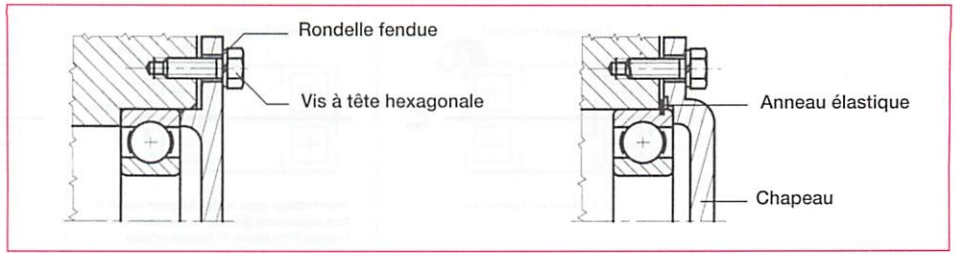


Figure 4.24 Réalisations de butées axiales sur bagues extérieures

## exemple

### Palier constitué de roulements à billes (ou à rouleaux) à contact oblique

Les règles de montage sont les mêmes qu'il s'agisse d'un contact oblique sur billes ou sur rouleaux.

Le schéma de montage dépend de l'élément animé du mouvement de rotation (ou élément mobile par rapport à la direction de la charge).

Deux principes régissent l'ensemble des cas envisageables (figures 4.25 et 4.26).

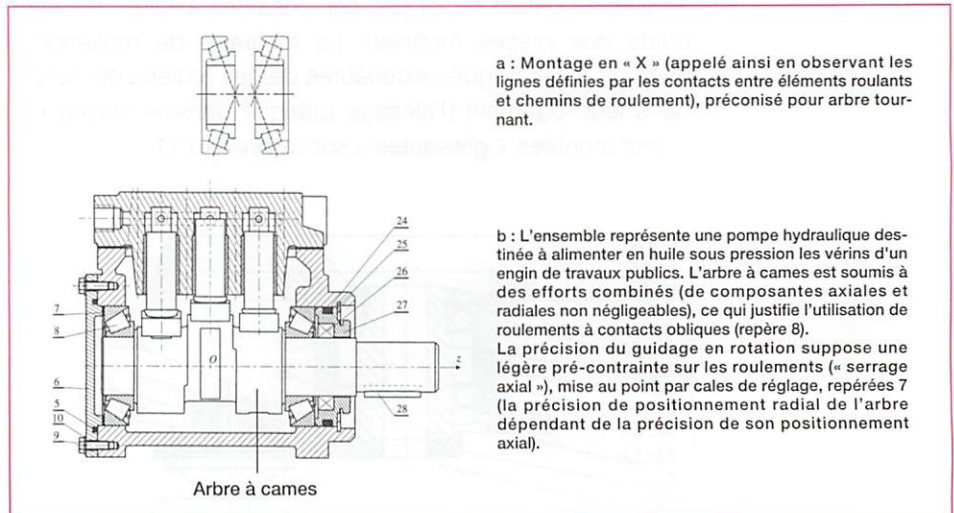


Figure 4.25 Montage en « X »

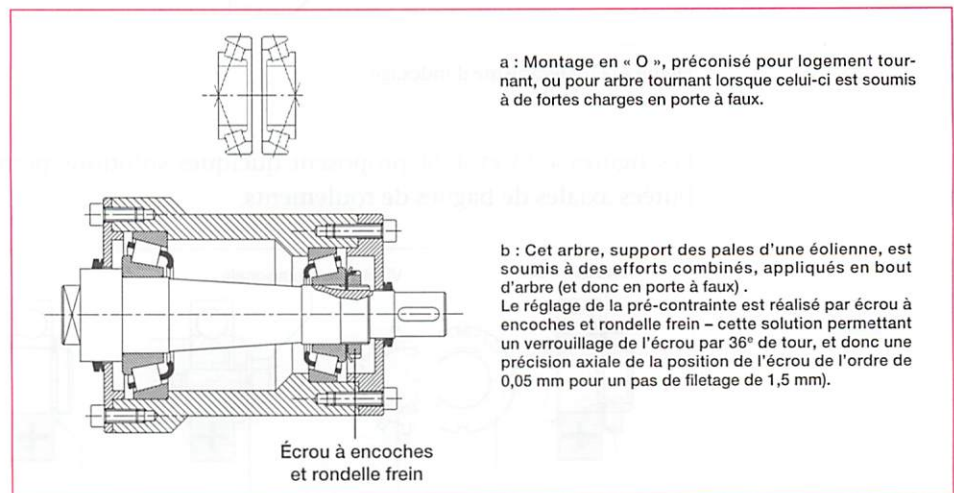


Figure 4.26 Montage en « O »

Remarque : le guidage en rotation d'arbres soumis à des efforts combinés notamment impose souvent d'avoir recours à différents types de roulements dans un même palier.

La figure 4.27 représente un manipulateur destiné à la manutention automatisée de pièces en phase d'assemblage. La pince du manipulateur, animée de mouvements de rotation et translation combinés, se déplace dans un volume de travail complexe, soumise à des exigences en matière de précision de déplacement (permettant l'assemblage correct des pièces manipulées).

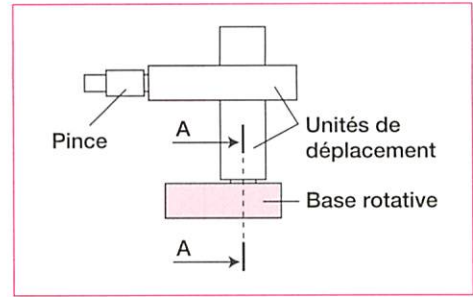


Figure 4.27 Manipulateur Schradler à l'échelle 1:36

C'est pourquoi, la base rotative du manipulateur, supportant des charges importantes de centre de gravité déporté par rapport à son axe de rotation vertical, est guidée en rotation dans un palier de conception hyperstatique, composé de différents types de roulements (fig. 4.28), afin de satisfaire aux contraintes de précision demandée.

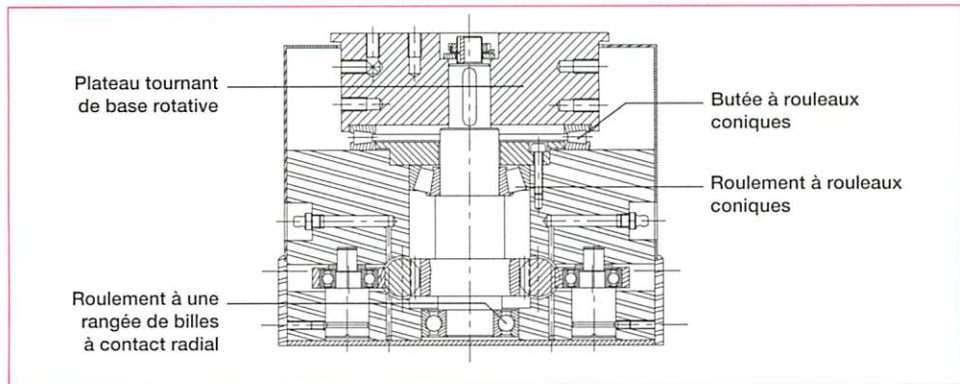


Figure 4.28 Guidage en rotation de la base rotative de manipulateur Schradler (à l'échelle 1:4)

## 2 Les composants mécaniques de transmission

### 2.1 Fonction transmission de puissance

Tout processeur mécanique asservi à une *fonction de transmission de puissance* peut être modélisé respectivement à la figure 4.29.

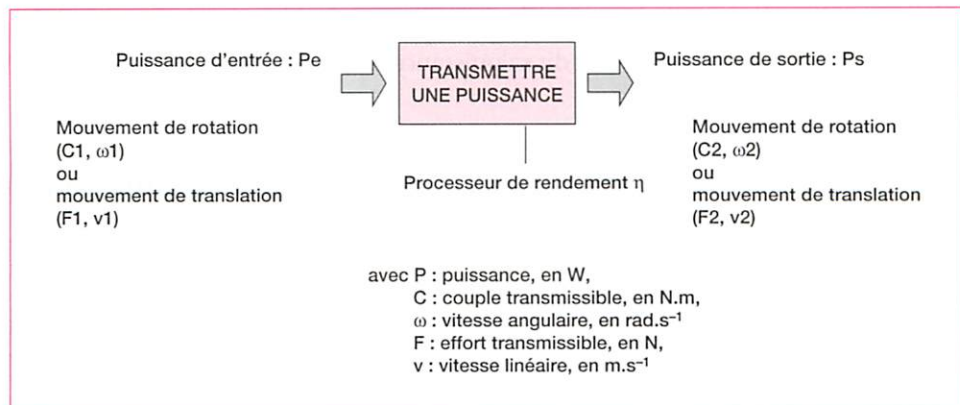


Figure 4.29 Modélisation d'une transmission de puissance



Selon le mouvement de sortie désiré, et en fonction du mouvement moteur envisagé, le processeur devra transmettre le mouvement d'entrée, ou le modifier. Il en résulte un certain nombre de solutions de transmissions de puissance, assurées par des composants ou des principes mécaniques devenus standard (tableau 4.5).

Mouvement d'entrée	Mouvement de sortie	
	Rotation	Translation
Rotation	Sans modification de la vitesse angulaire	Accouplements rigides Accouplements élastiques Embrayages Limiteurs de couple
	Avec modification de la vitesse angulaire	Freins Poulies-courroie Roues-chaîne Engrenages (réducteurs, boîtes de vitesses) Roues de friction
Translation	Bielle-manivelle Pignon-crémaillère	

Tableau 4.5 Principes de transmission de puissance

À la lecture du tableau, il apparaît que certains processeurs réalisent une transformation de mouvement, parfois réversible (lorsque l'on peut permuter mouvements moteur et récepteur).

Les performances d'une transmission de puissance s'apprécient à la valeur de son rendement.

Le tableau 4.6 récapitule les relations fondamentales permettant le calcul des puissances et rendement relatifs aux mouvements de rotation et translation.

	Mouvement de rotation	Mouvement de translation
<b>Puissance</b>	$P = C \cdot \omega$ puissance = couple · vitesse angulaire Unités : $W = N \cdot m \cdot \text{rad} \cdot s^{-1}$	$P = F \cdot v$ puissance = force · vitesse linéaire Unités : $W = N \cdot m \cdot s^{-1}$
<b>Rendement</b>	$\eta = \frac{\text{puissance de sortie}}{\text{puissance d'entrée}} = \frac{\text{puissance utile}}{\text{puissance absorbée}}$ (sans unité)	

Tableau 4.6 Calculs de puissances et rendement

Par ailleurs, et pour information, la puissance absorbée par un vérin est égale au produit de son débit d'alimentation  $Q$  par la pression  $P$  à laquelle est soumis son piston, autrement dit sa puissance fluïdique équivaut à :  $P = Q \cdot p$  ( $W = m^3 \cdot s^{-1} \cdot Pa$ ).

## 2.2 Transmission du mouvement sans modification de la vitesse angulaire

### 2.2.1 Transmission permanente

Transmettre une puissance entre 2 arbres coaxiaux, animés d'un mouvement de rotation, sans modification de la vitesse angulaire, revient à accoupler ces 2 arbres à l'aide d'accouplements rigides ou élastiques, selon la précision de l'alignement.

### 2.2.2 Transmission temporaire – fonction d’embrayage

Un « *embrayage* » est un mécanisme permettant de rendre solidaires 2 arbres alignés (phase d’embrayage), ou de les désolidariser (phase de débrayage), à volonté, par commande extérieure.

## exemple

**Principe de l’embrayage par friction** (fig. 4.30).

Le disque moteur étant animé d’un mouvement de rotation permanent, l’élément presseur permet l’entraînement en rotation du disque récepteur par adhérence (par friction). La manœuvre du dispositif de débrayage désolidarise les 2 disques, permettant de ce fait de contrôler pleinement l’organe récepteur sans intervention sur l’organe moteur (entraînant gain de temps, économie d’énergie et sécurité améliorée).

Performances : le couple transmissible est donné par la relation :

$$C = F \cdot r_{\text{moy}} \cdot n \cdot f$$

(le couple transmissible « *C* » en  $N \cdot m$ , « *F* » l’effort presseur total normal aux surfaces de friction, en  $N$ , et «  $r_{\text{moy}}$  » le rayon moyen des surfaces de friction, en  $m$ . Le nombre de contacts soumis à friction « *n* » et « *f* », le coefficient de frottement relatif à ces contacts, sont des nombres sans unité).

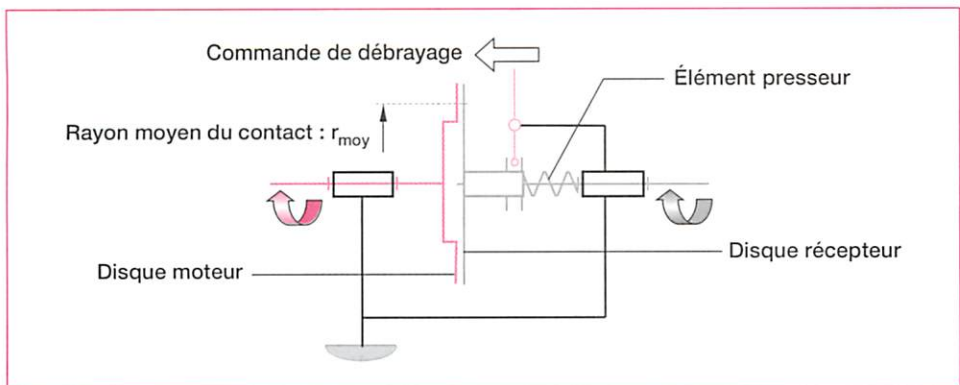


Figure 4.30 Schéma de principe de l’embrayage par friction



Les disques sont réalisés en 2 parties : une structure support rigide (métallique) assurant la bonne géométrie du disque et une surface rapportée (appelée garniture, rivetée ou collée sur la structure métallique), de matériau assurant un bon coefficient de frottement avec l’élément voisin.

L’optimisation du principe de base a permis d’aboutir à différentes solutions, assurant une plus grande surface de contact pour un encombrement réduit de l’embrayage, une efficacité accrue de l’adhérence, de la commande de débrayage (figures 4.31 et 4.32).

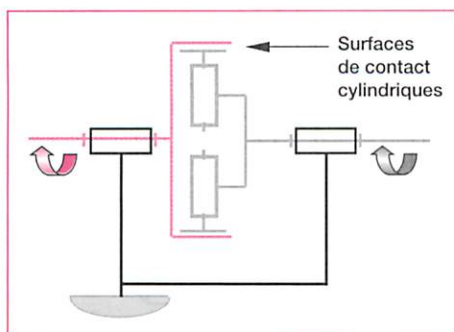


Figure 4.31 Embrayage centrifuge

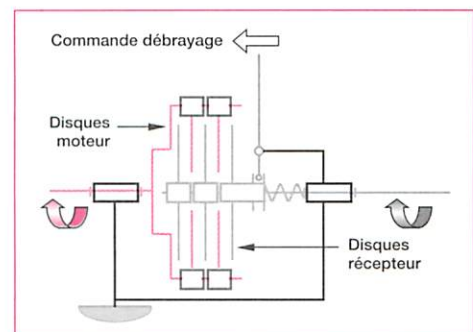


Figure 4.32 Embrayage multidisque



### 2.2.3 Transmission temporaire – fonction limiteur de couple

Le fonctionnement de mécanismes soumis à des couples résistants importants présente certains risques, d'endommager par exemple l'organe moteur, simultanément alimenté en énergie et sollicité par le couple résistant provoqué par l'organe récepteur.

L'interposition d'un *limiteur de couple* (figures 4.33 et 4.34) entre organes moteur et récepteur évite la détérioration de l'organe moteur, en faisant « patiner » la transmission en cas de couple résistant supérieur à un couple seuil préréglé.

Performances : les considérations relatives au couple transmissible par un embrayage (fig. 4.30) sont applicables au limiteur de couple.

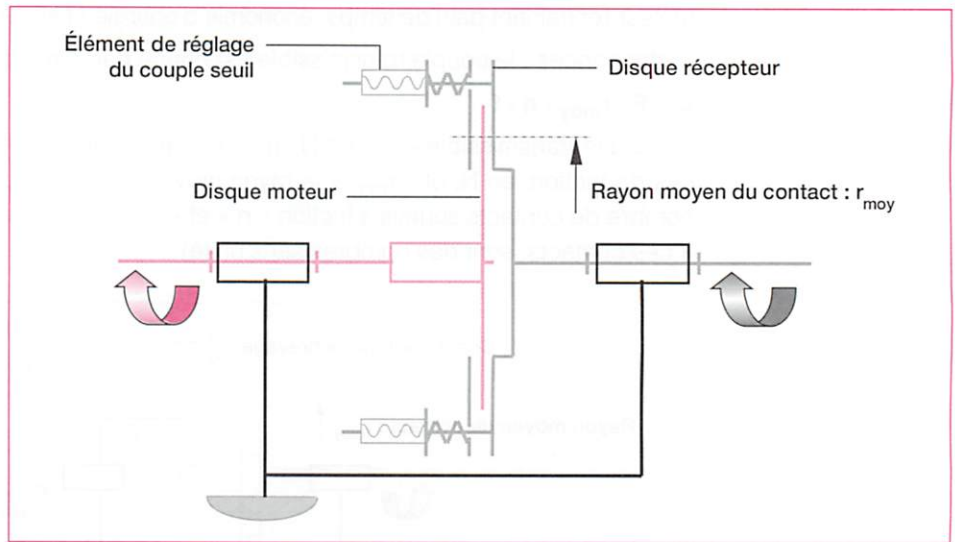


Figure 4.33 Principe de limiteur de couple

Les boulons et rondelles élastiques (assimilables à un ressort de compression) permettent le réglage du couple limite transmissible (couple seuil).

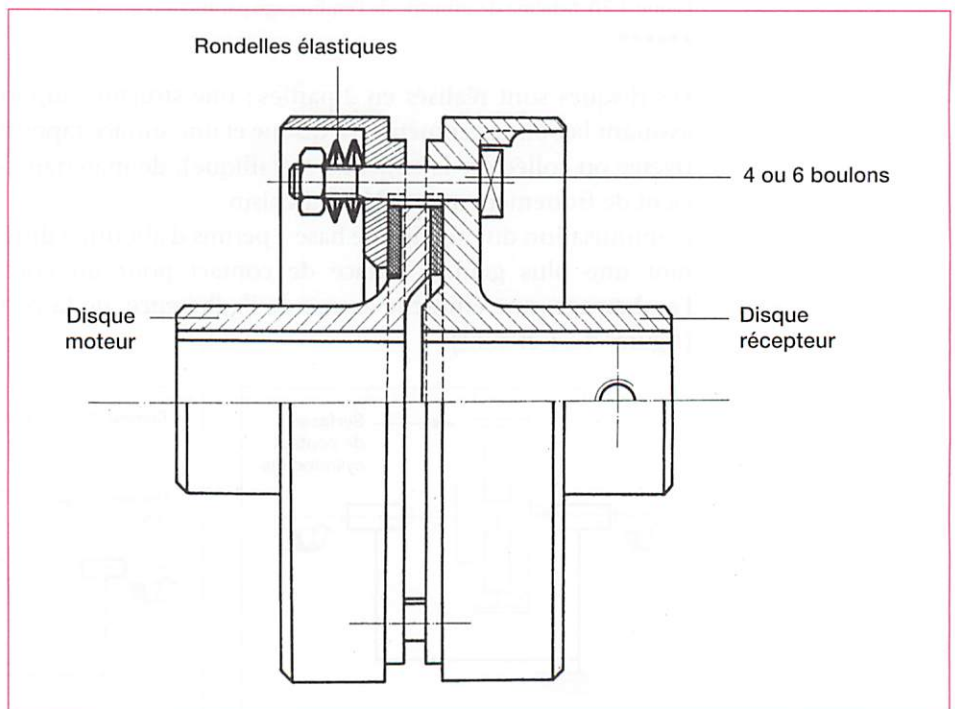


Figure 4.34 Limiteur de couple

## 2.3 Transmission du mouvement avec modification de la vitesse angulaire

Différents principes permettent de modifier la vitesse angulaire liée à un mouvement de rotation, d'un organe moteur à un organe récepteur : les *transmissions par courroie* (fig. 4.35), *par chaîne*, *par engrenage* (fig. 4.36) et *par friction*. Chaînes de transmission et roues de friction ne seront pas abordées dans ce chapitre.

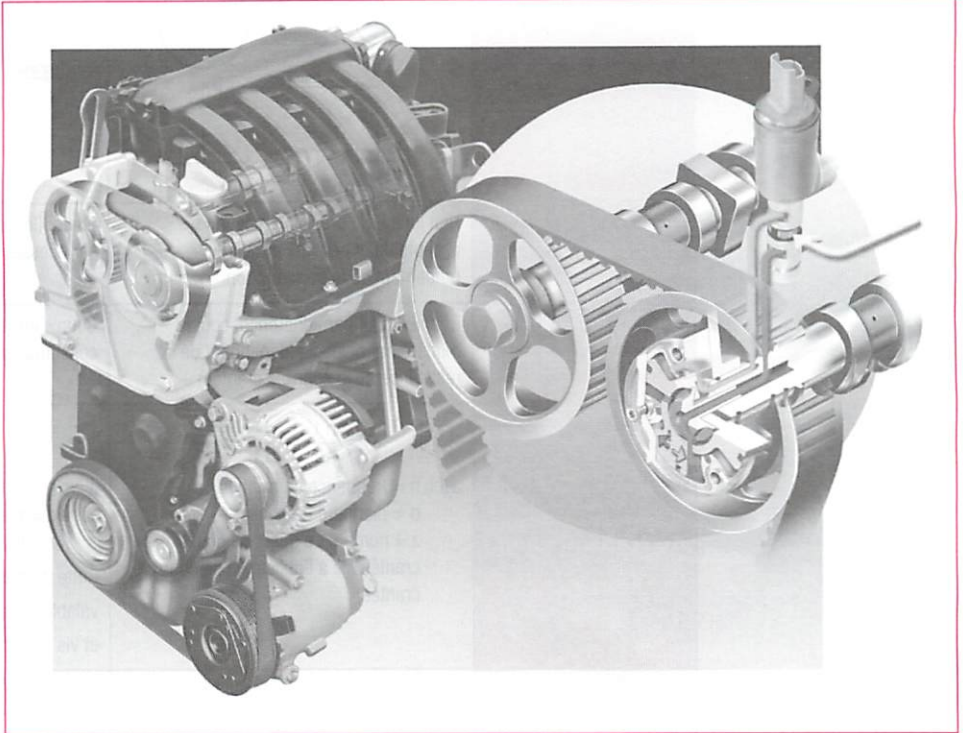


Figure 4.35 Courroie de distribution et courroie d'alternateur de bloc moteur automobile Renault

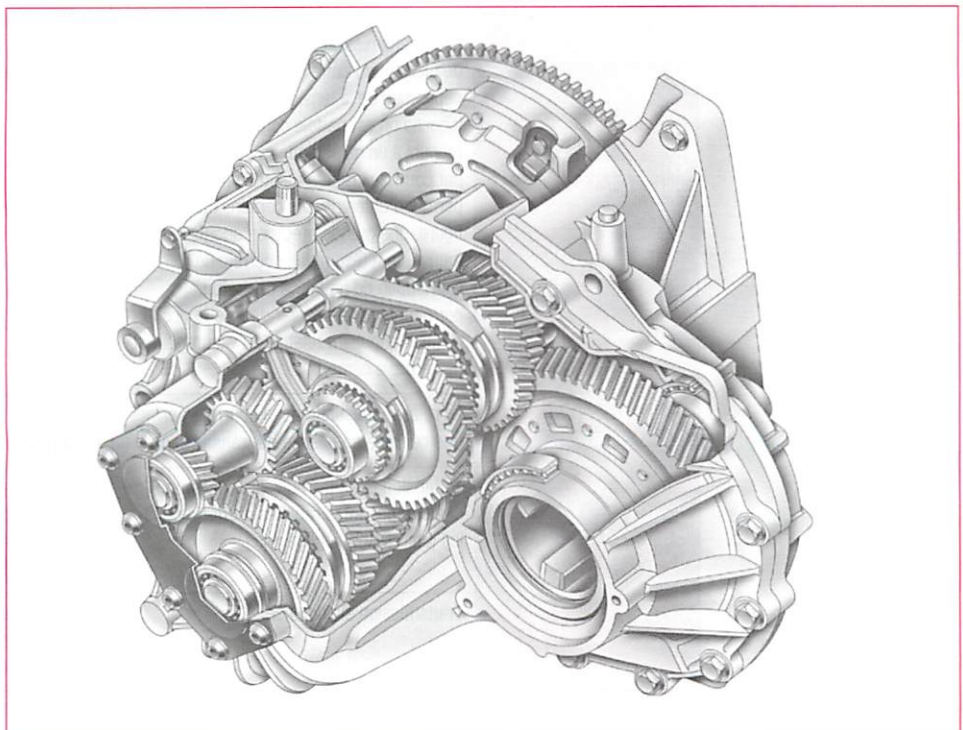


Figure 4.36 Boîte de vitesse de véhicule automobile Renault



### 2.3.1 Transmission par courroie et transmission par engrenage

Le tableau 4.7 récapitule les paramètres à prendre en compte afin d'opter pour l'un ou l'autre des 2 principes de transmission.

	Transmission par courroie	Transmission par engrenage
Paramètres		
Entr'axe	Non limité, de précision moyenne acceptable et peu influent sur le rendement de la transmission	Limité (le diamètre des roues en dépend) et nécessairement de bonne précision
Couple transmissible	Couple limité par adhérence, couple modéré par obstacle (dépendant de la résistance de la courroie crantée)	Couple élevé (en fonction des matériaux constituant les dents)
Rapport de transmission	$k = \frac{n_1}{n_2} = \frac{d_2}{d_1} = \frac{z_2}{z_1}$ avec $n$ = fréquence de rotation, $d$ = diamètre de poulie, $z$ = nombre de dents de poulie crantée (lié à l'utilisation de courroie crantée)	$k = \frac{n_1}{n_2} = \frac{z_2}{z_1} = \frac{d_2}{d_1}$ avec $n$ = fréquence de rotation, $d$ = diamètre primitif de roue dentée, $z$ = nombre de dents de roue dentée Cette dernière égalité ( $= \frac{d_2}{d_1}$ ) n'est pas valable dans le cas d'engrenages roue et vis sans fin
Sens de rotation	Les 2 poulies tournent dans le même sens (exception faite pour les courroies croisées)	2 roues engrenant entre elles tournent en sens inverse ; ajouter une roue intermédiaire permet d'inverser les sens de rotation entrée/sortie du mécanisme
Glissement relatif	Glissement possible dans le cas d'une transmission par « adhérence » (le couple maxi transmissible, et donc le risque de glissement entre poulie et courroie, dépendant de la tension de la courroie, pour laquelle on est parfois contraint d'avoir recours à un galet tendeur) ; la transmission par courroie crantée résout le problème et permet d'obtenir, dans certains cas de figure, une grande précision angulaire du mouvement (exemple : courroie de distribution de moteur à explosion, permettant de conserver dans le temps la position angulaire relative du vilebrequin et de l'arbre à cames)	Aucun glissement relatif, la transmission se faisant par obstacle ; on peut alors transmettre des mouvements de rotation sous charge de grande précision
Souplesse de transmission	La relative élasticité de la courroie permet une certaine souplesse de transmission	L'éventuelle souplesse de transmission n'est pas liée à la transmission par obstacle
Sollicitation des paliers	La tension dans la courroie occasionne des composantes radiales d'efforts dans les paliers non négligeables	À couple transmissible équivalent, les composantes radiales d'efforts dans les paliers sont moindres (par rapport à une transmission par courroie)
Bruit	Transmission silencieuse	Transmission bruyante (choix des matériaux et lubrification efficaces permettent d'atténuer ce désagrément)
Coût	Principe économique	Principe onéreux

Tableau 4.7 Comparaison des transmissions par courroie et par engrenage

### 2.3.2 Géométrie des contacts assurant la transmission

De nombreuses variantes découlent des principes de base abordés précédemment, différant les unes des autres de par la géométrie des formes en contact assurant la transmission (tableaux 4.8 et 4.9).

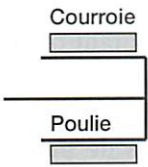
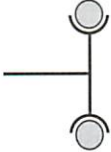
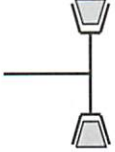
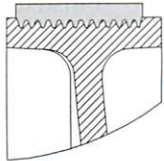

Transmissions par adhérence				Transmission par obstacle
 <p>Courroie Poulie</p>				
Courroie plate	Courroie torique	Courroie de section trapézoïdale	Courroie striée	Courroie crantée
Économique, montages et démontages aisés	Réservée aux appareillages électroménagers	Adhérence améliorée par « coincement »	Surface adhérente importante pour un faible encombrement	Précision angulaire et transmission de couples importants

Tableau 4.8 Transmission par courroie


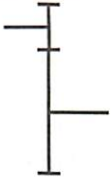

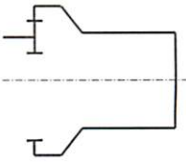

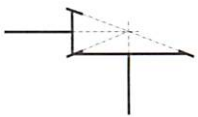

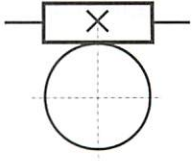
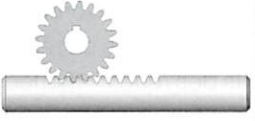
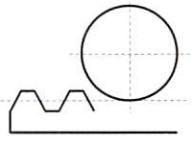
Illustration	Désignation	Schématisation	Utilisation
	Engrenage constitué d'un pignon (la roue la plus petite) et d'une roue cylindrique, tous deux à denture droite extérieure		À denture droite ou à denture hélicoïdale, les roues cylindriques à denture extérieure permettent la transmission de puissance entre arbres d'axes parallèles
	Denture intérieure pour le tambour de winch		La denture intérieure du tambour de winch réduit l'encombrement de l'engrenage par rapport à une solution basée sur l'utilisation de roues à denture extérieure
	Pignon et roue coniques (à denture hélicoïdale)		Les roues coniques permettent la transmission de puissance entre arbres d'axes perpendiculaires (ou plus généralement de position angulaire relative quelconque)
	Roue et vis sans fin		Les engrenages « roue et vis sans fin » permettent d'obtenir des rapports de transmission élevés
	Pignon et crémaillère		La paire « pignon et crémaillère » permet la transformation de mouvement réversible rotation en translation

Tableau 4.9 Transmission par engrenage



### 2.3.3 Applications des transmissions par engrenage

Le rapport de transmission « k » caractérise la modification de vitesse angulaire :

$$k = \frac{\omega_{\text{entrée}}}{\omega_{\text{sortie}}}$$

Le rapport de réduction « r » caractérise la réduction de vitesse angulaire :

$$r = \frac{1}{k} = \frac{\omega_{\text{sortie}}}{\omega_{\text{entrée}}}$$

Plusieurs cas de figure sont envisageables.

- k = constante < 0 ; le mécanisme assurant ce rapport de transmission est un multiplicateur de vitesse.
- k = constante > 0 ; rapport transmis par un réducteur de vitesse.
- k = k1 ou k2 ou... kn ; plusieurs rapports de transmission envisageables, de valeur constante, développés par une boîte de vitesse.
- k = variable en continu ; dans une plage de valeurs donnée, le variateur de vitesse facilite l'adaptation du mouvement de sortie (du variateur) au récepteur entraîné en rotation.

## exemple

Un réducteur de vitesse a pour fonction la réduction de la vitesse angulaire, et surtout l'augmentation du couple disponible (afin de minimiser la taille du moteur pour un couple d'entraînement du récepteur donné).

Un réducteur à deux étages transmet la puissance nécessaire à la roue arrière pour propulser le scooter (fig. 4.37). La poulie motrice 9, la courroie crantée 10 et la poulie réceptrice 7 constituent le premier étage de réduction du mécanisme ; l'éloignement moteur-récepteur justifie ce choix d'organes de transmission (par courroie). Le pignon arbré 4 et la roue 6 constituent le deuxième étage de réduction, de technologie différente car ils doivent transmettre un couple supérieur.

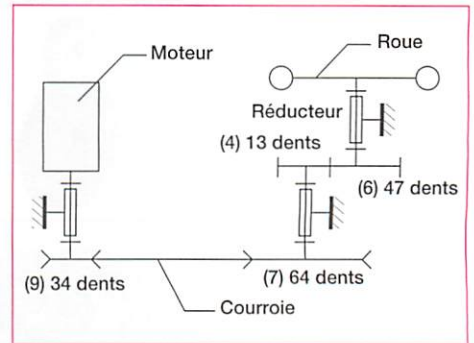


Figure 4.37 Schéma cinématique du scooter

Le rapport de transmission du réducteur dépend du rapport de transmission de chaque étage de réduction :

- rapport de transmission du premier étage de réduction :  $k_{9-7} = \frac{\omega_9}{\omega_7} = \frac{z_7}{z_9}$  ;
- rapport de transmission du deuxième étage de réduction  $k_{4-6} = \frac{\omega_4}{\omega_6} = \frac{z_6}{z_4}$  (par ailleurs,  $\omega_4 = \omega_7$ ) ;
- rapport de transmission du réducteur :

$$k_{\text{red}} = \frac{\omega_9}{\omega_6} = \frac{\omega_7 \cdot k_{9-7}}{\omega_6} = \frac{\omega_4 \cdot k_{9-7}}{\omega_6} = k_{4-6} \cdot k_{9-7}$$

Le rapport de transmission d'un réducteur à plusieurs étages est égal au produit des rapports de transmission de chaque étage.

Ce rapport de transmission peut s'exprimer aussi en fonction des caractéristiques des roues dentées (nombre de dents et fonction motrice ou réceptrice) ; il est alors égal au rapport du produit des nombres de dents des roues « menées » ( $z_7$  et  $z_6$ ) sur le produit des nombres de dents des roues « menantes » ( $z_9$  et  $z_4$ ). On pourrait écrire une relation équivalente à partir des diamètres des roues constituant le réducteur.

$$k_{\text{red}} = \frac{\omega_9}{\omega_6} = \frac{z_7 \cdot z_6}{z_9 \cdot z_4}$$

Le couple disponible sur l'arbre lié à la roue ( $C_{roue}$ ) dépend du couple moteur ( $C_{mot}$ ) et des performances du réducteur (rendement  $\eta_{red}$  et rapport de transmission  $k_{red}$ ) :

– puissance disponible sur l'arbre moteur :

$$P_{mot} = C_{mot} \cdot \omega_{mot}$$

( $\omega_{mot} = \omega_9$  et  $C_{mot}$  = couple disponible sur l'arbre moteur) ;

– puissance disponible sur l'arbre lié à la roue :

$$P_{roue} = C_{roue} \cdot \omega_{roue}$$

( $\omega_{roue} = \omega_6$  et  $C_{roue}$  = couple disponible sur la roue) ;

$$\text{– rendement du réducteur : } \eta_{red} = \frac{P_{roue}}{P_{mot}} = \frac{C_{roue} \cdot \omega_{roue}}{C_{mot} \cdot \omega_{mot}}$$

$$\text{autrement dit : } \frac{C_{roue}}{C_{mot}} = \frac{\eta_{red} \cdot \omega_{mot}}{\omega_{roue}} = \frac{\eta_{red} \cdot \omega_9}{\omega_6} = \eta_{red} \cdot k_{red}$$

La puissance « P » est exprimée en W, le couple « C » en N·m et la vitesse angulaire «  $\omega$  » en  $\text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$  (le rendement «  $\eta$  » et le rapport de transmission « k » sont des nombres sans unité).

.....

## exemple

La figure 4.38 représente une boîte de vitesse de motobineuse détaillant le principe retenu pour engager l'une ou l'autre des deux vitesses en marche avant (le sélecteur de vitesse et l'engrenage permettant la marche arrière ne sont pas représentés).

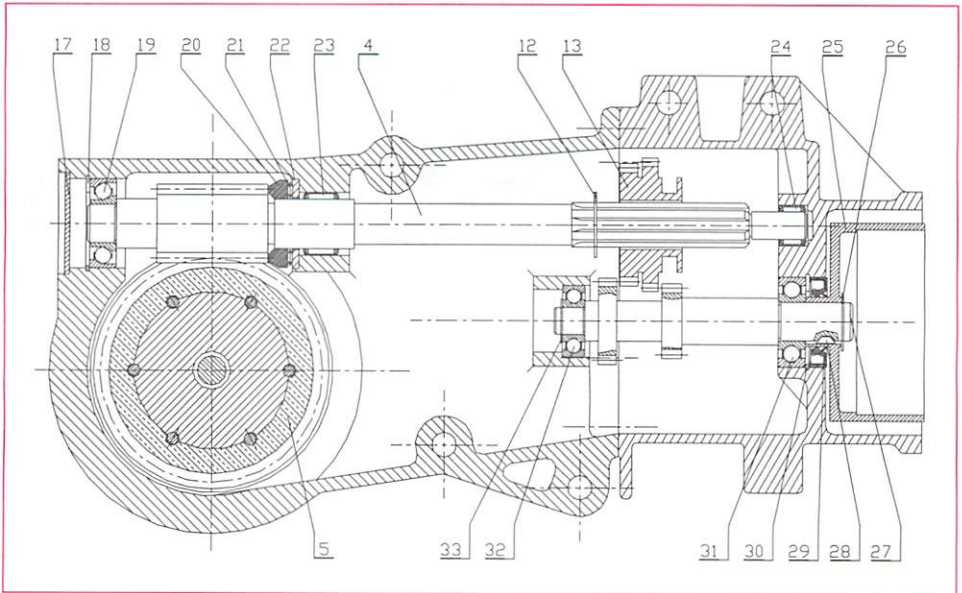


Figure 4.38 Boîte de vitesse de motobineuse (représentation simplifiée)  
(source : [www.delahaye-pat.fr](http://www.delahaye-pat.fr) ou <http://patrice.delahaye.free.fr>)

Le pignon arbré 27 est animé du mouvement moteur (transmis par la cloche d'embrayage centrifuge 25). Les roues de la motobineuse sont liées à la roue dentée 5 (constituant le mouvement de sortie de la boîte de vitesse).

La boîte de vitesse comprend principalement l'arbre primaire 27, les pignons baladeurs (ou crabots) 13 et l'arbre secondaire 4 (auxquels s'ajoute le mécanisme permettant la sélection de vitesse, non représenté).

Le mouvement moteur est permanent, mais selon la fréquence de rotation de l'arbre moteur (non représenté), la cloche d'embrayage est, ou n'est pas, entraînée en rotation (et de ce fait le pignon arbré 27). La sélection de vitesse se fait à l'arrêt (moteur



à bas régime, et donc en phase débrayage) ; cette sélection provoque la translation des baladeurs 13 vers la gauche ou vers la droite (engrenant alors avec l'un ou l'autre des pignons 27). Les baladeurs 13, en liaison glissière avec la vis sans fin repérée 4, lui transmettent alors le mouvement de rotation, permettant ainsi d'entraîner les roues de la motobineuse.

Le réducteur à roue 5 et vis sans fin 4 permet de réduire la vitesse d'avance de la motobineuse (vitesse nécessairement limitée pour travailler efficacement), et d'augmenter le couple disponible sur les roues (motrices).

.....

### 2.3.4 Freinage

*Freiner un solide animé d'un mouvement de rotation, c'est réduire sa vitesse angulaire, éventuellement jusqu'à l'arrêt total, en créant une résistance au mouvement par friction notamment.*

De nombreux principes répondent à cette fonction de service (freins à mâchoires, freins à disque, freins centrifuges, freins électromagnétiques...). Les figures 4.39 à 4.41 illustrent le principe du frein à disque utilisé fréquemment sur véhicules à 2 et 4 roues.

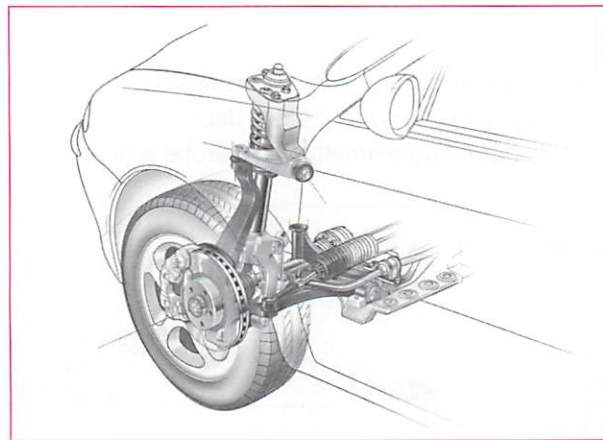


Figure 4.39 Frein à disque sur train avant de véhicule automobile Alfa Roméo

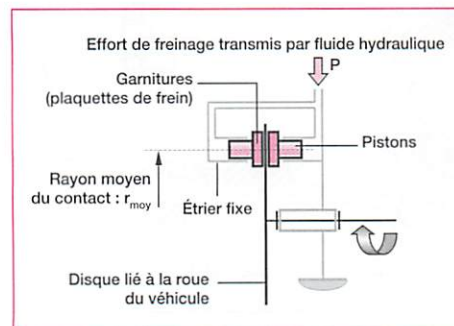


Figure 4.40 Frein à disque à 2 pistons et étrier fixe

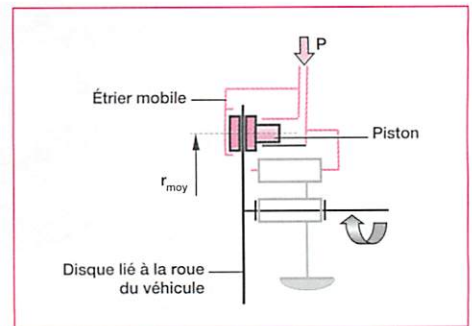


Figure 4.41 Frein à disque à étrier mobile

Le disque est lié à l'organe à ralentir (la roue du véhicule en l'occurrence). Une action sur la commande de frein (poignée, pédale) provoque le pincement du disque entre 2 garnitures (plaquettes de frein, de changement aisé lorsqu'elles sont usées). Le couple de freinage (couple résistant à la rotation de la roue) est proportionnel à l'action exercée sur l'organe de commande (afin de garantir une certaine sensibilité de manœuvre) ; la transmission de l'effort de freinage, de l'organe de commande aux garnitures, est assurée par fluide hydraulique.

Le disque ne subit aucun effort axial parasite, du fait de l'équilibrage des efforts de part et d'autre.

La détermination du couple de freinage est assimilable à la détermination d'un couple transmissible par adhérence en général, ainsi :

$$C_f = F \cdot r_{\text{moy}} \cdot n \cdot f$$

avec  $C_f$  : couple de freinage, en  $N \cdot m$  ;

$F$  : effort presseur total, en  $N$  ;

$r_{\text{moy}}$  : rayon moyen des surfaces de friction, en  $m$  ;

$n$  : nombre de contacts soumis à friction, sans unité ;

$f$  : coefficient de frottement, sans unité.

## 2.4 Transmission de puissance avec transformation de mouvement

Quatre principes de base permettent de transformer un mouvement de rotation en mouvement de translation : le principe vis-écrou, le principe bielle-manivelle, le principe pignon-crémaillère et le principe came-poussoir. Tous sont réversibles, excepté le principe came-poussoir.

### 2.4.1 Principe vis-écrou

#### – Description

Le principe vis-écrou est un principe élémentaire, sur la base de la liaison hélicoïdale, et de ce fait fréquemment utilisé, y compris dans des cas de figure nécessitant une bonne précision de mouvement.

Plusieurs configurations sont envisageables en fonction des mobilités laissées à la vis et à l'écrou ; néanmoins, le cas le plus fréquent voit la vis, motrice, animée d'un seul mouvement de rotation et l'écrou, récepteur, animé alors d'un seul mouvement de translation.

## exemple

Le pilote automatique de bateau (figure 4.42) décrit dans le chapitre 1 fonctionne sur la base d'un mouvement moteur de rotation ; le mouvement de translation de la tige est obtenu conformément au schéma cinématique représenté (fig. 4.43).

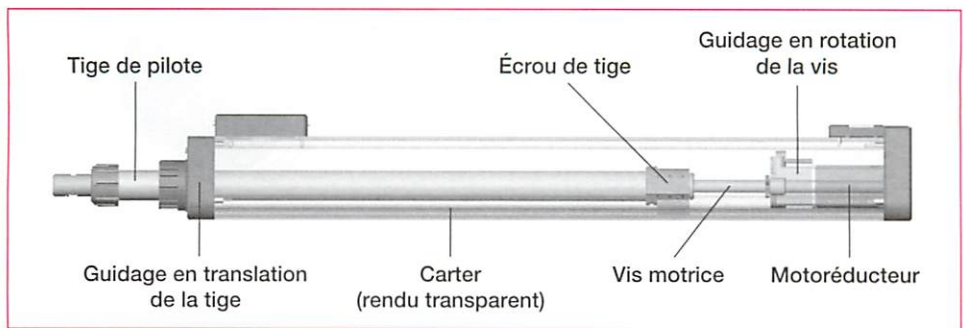


Figure 4.42 Pilote automatique de bateau

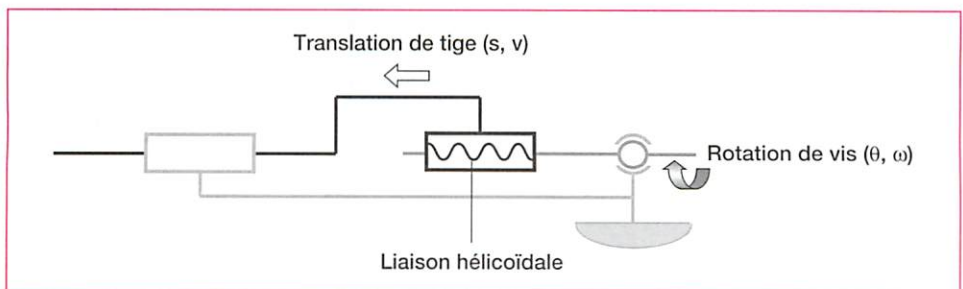


Figure 4.43 Schéma cinématique minimal du pilote automatique de bateau

Le degré de liberté rotation de l'écrou est éliminé, celui-ci s'appuyant sur des rails de guidage intégrés au carter.

•••••



– Lois d'entrée/sortie

Concernant les déplacements :  $s = p \cdot \theta$  ( $s$  représentant la distance linéaire parcourue par l'élément mobile en translation, l'écrou pour l'exemple proposé,  $p$  le pas de la liaison hélicoïdale (distance entre 2 filets) et  $\theta$  l'angle balayé par l'élément mobile en rotation, la vis par exemple – les unités utilisées font référence au système international, respectivement, le mètre et le radian).

Concernant les vitesses :  $v = p \cdot \omega$

( $v$  la vitesse linéaire de l'élément mobile en  $m \cdot s^{-1}$ ,  $p$  le pas de la liaison hélicoïdale et  $\omega$  la vitesse angulaire de l'élément mobile en rotation en  $rad \cdot s^{-1}$ ).

**2.4.2 Principe bielle-manivelle**

– Description

Le mouvement de rotation continu du moteur permet d'obtenir en sortie un mouvement alternatif de translation. Ce principe sert de base à la conception de pompes, de compresseurs, de presses... Il est réversible (grâce à l'inertie des pièces en mouvement), et alors fort utilisé comme mécanisme de transformation de mouvement des moteurs à explosion (la translation des pistons se transformant en rotation du vilebrequin, ou manivelle).

**exemple**

La figure 4.44 représente un compresseur destiné à constituer une réserve d'air comprimé à des fins domestiques.

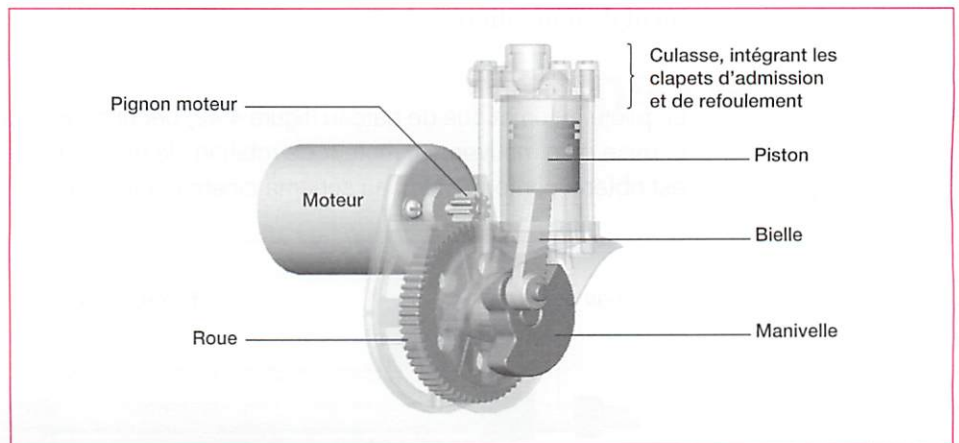


Figure 4.44 Compresseur (carter enlevé)

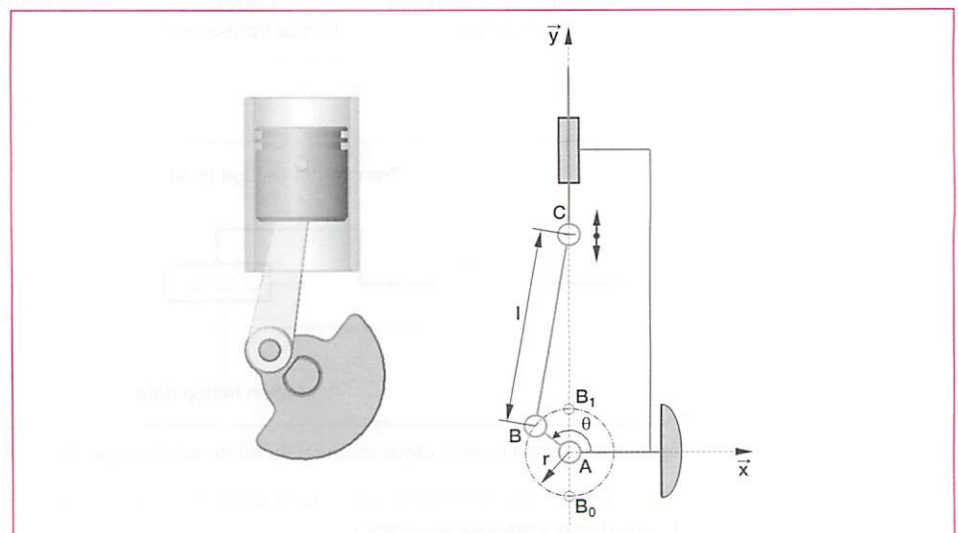


Figure 4.45 Principe bielle-manivelle du compresseur

Le mouvement moteur de rotation, après adaptation (réduction de la vitesse angulaire afin d'augmenter le couple disponible), est transmis à la manivelle, puis transformé en mouvement alternatif de translation du piston par l'intermédiaire de la bielle. Des clapets, disposés en partie haute du compresseur, permettent admission et refoulement de l'air. La figure 4.45 schématise le principe de base utilisé.

.....

#### - Lois d'entrée/sortie

Le point C du piston est dit au point mort haut (PMH) lorsque le point B de la manivelle se trouve en  $B_1$  (fig. 4.45). Le point C est au point mort bas (PMB) lorsque le point B se trouve en  $B_0$ . La course totale du point C (pour un demi-tour de manivelle) correspond à la différence d'ordonnées du point B ( $y_{B_1} - y_{B_0}$ ) soit 2 fois le rayon de la manivelle :

course du mouvement de translation =  $2 \times$  rayon de manivelle

En projetant le point B sur l'axe  $\vec{Ay}$  on démontre la relation donnant la position linéaire du piston en fonction de la position angulaire de la manivelle :

$$y = r \cdot (\cos \omega \cdot t) + \sqrt{l^2 - r^2 \cdot \sin^2(\omega \cdot t)}$$

avec  $r$  : rayon de la manivelle, en m ;

$\omega$  : vitesse angulaire de la manivelle, en  $\text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$  ;

$t$  : variable temps, en s ;

$(\theta = \omega \cdot t)$  : position angulaire de la manivelle, en rad ;

$l$  : longueur de bielle, en m.

Il suffit alors de dériver cette expression par rapport à la variable temps pour obtenir la vitesse du piston par rapport à cette même variable.

## 3 Principe pignon-crémaillère

#### - Description

Le principe pignon-crémaillère est simple, mais comme pour le principe vis-écrou, on doit inverser le mouvement de rotation pour ramener le solide animé du mouvement de translation en position initiale lorsque celui-ci arrive en fin de course. Le principe est réversible sans contrainte particulière.

La course (ou débattement) du solide animé du mouvement de translation dépend de l'angle de rotation du pignon moteur et de son diamètre primitif (fig. 4.46).

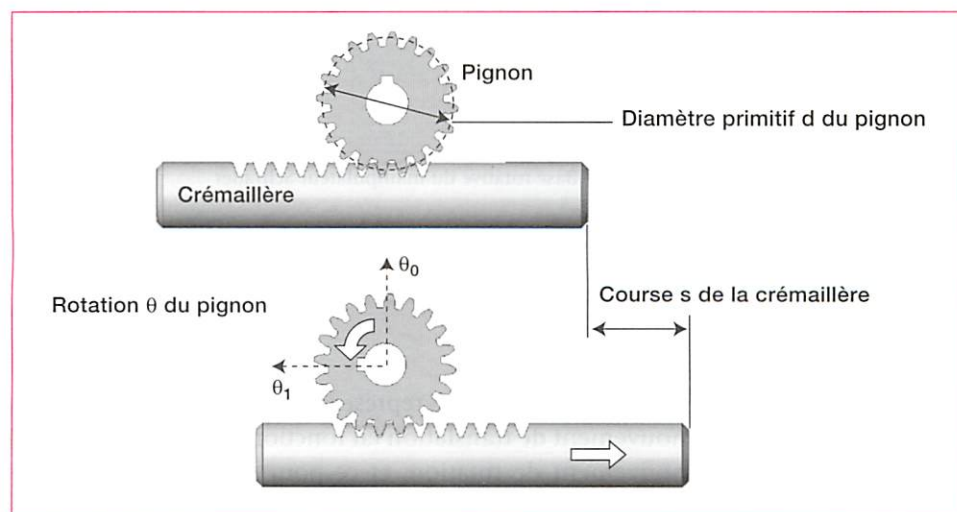


Figure 4.46 Principe pignon-crémaillère



Un engrenement correct suppose un guidage en translation de la crémaillère conforme au modèle de liaison glissière (fig. 4.47).

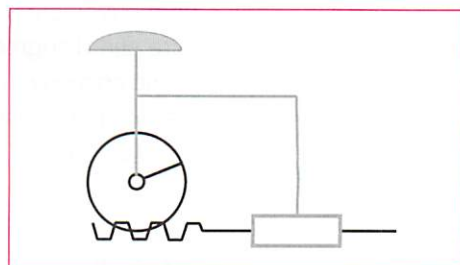


Figure 4.47 Schéma cinématique minimal du principe pignon-crémaillère

– Lois d'entrée/sortie

Concernant les espaces :  $s = \frac{d}{2} \cdot \theta$  ( $s$  course de la crémaillère en m,  $d$  le diamètre primitif du pignon en m également, et  $\theta$  l'angle balayé par le pignon, en rad).

Concernant les vitesses :  $v = \frac{d}{2} \cdot \omega$  ( $v$  vitesse linéaire de la crémaillère, en  $m \cdot s^{-1}$ , et  $\omega$  vitesse angulaire du pignon, en  $rad \cdot s^{-1}$ ).

## exemple

La figure 4.48 illustre une application du principe pignon-crémaillère ; il s'agit du mécanisme permettant la rotation du manipulateur représenté figure 4.27 autour de son axe vertical, les mouvements moteur étant donné aux crémaillères repérées sur le dessin.

Le mécanisme est représenté en vue de dessus, en coupe. Le pignon est lié complètement à la structure du bras manipulateur à faire pivoter autour de l'axe vertical. Les crémaillères sont en fait des dentures taillées dans les tiges des vérins simple effet provoquant leur translation.

Des galets montés sur excentrique assurent un soutien réglable des crémaillères soumises aux efforts de l'engrenement.

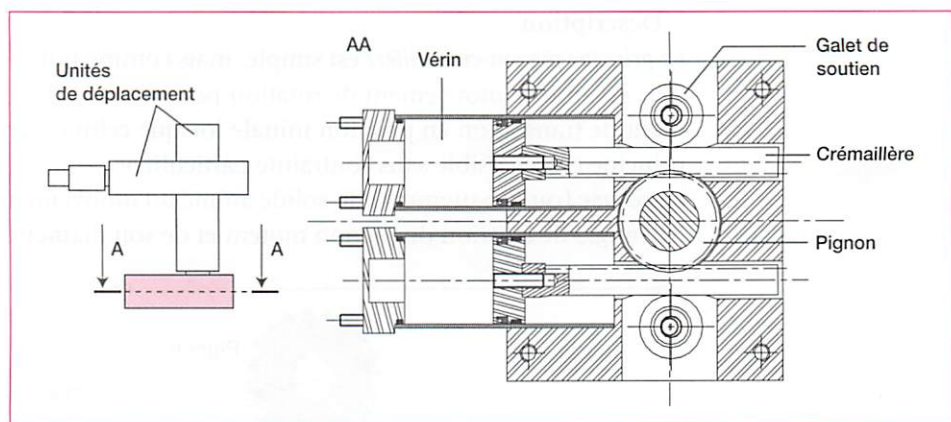


Figure 4.48 Base rotative du manipulateur Schrader

## 4 Principe came-poussoir

– Description

Si l'on trace le graphe représentant l'espace parcouru ( $s$ ) par le solide animé du mouvement de translation en fonction de l'angle balayé ( $\theta$ ) par le solide animé du mouvement de rotation, et ce pour chacun des principes de transformation de mouvement traités précédemment, on observe 2 familles de solutions qui sont loin de couvrir l'éventail des cas de figure envisageables (fig. 4.49 et 4.50).

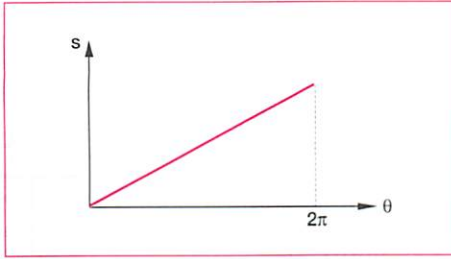


Figure 4.49 Graphe  $s = f(\theta)$  représentatif des principes vis-écrou et pignon-crémaillère

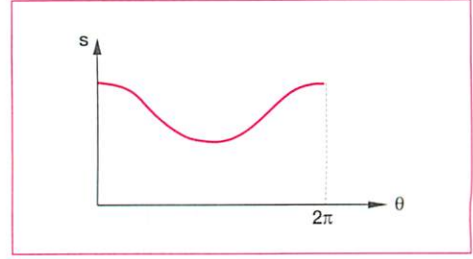


Figure 4.50 Graphe  $s = f(\theta)$  représentatif du principe bielle-manivelle

Le principe *came-poussoir* se justifie lorsque la loi  $s = f(\theta)$  se présente différemment, de façon plus complexe, mais toujours périodique.

Contrairement aux autres principes de transformation de mouvement précédemment développés, le principe *came-poussoir* n'est pas réversible.

Une came disque est une pièce de contour de rayon variable par rapport à son axe de rotation, sur laquelle prend appui un poussoir de mouvement de translation généré par celui de la came. Plusieurs variantes découlent du principe de base (fig. 4.51). Un ressort est souvent nécessaire pour vaincre l'inertie du poussoir et maintenir ainsi son contact avec la came.

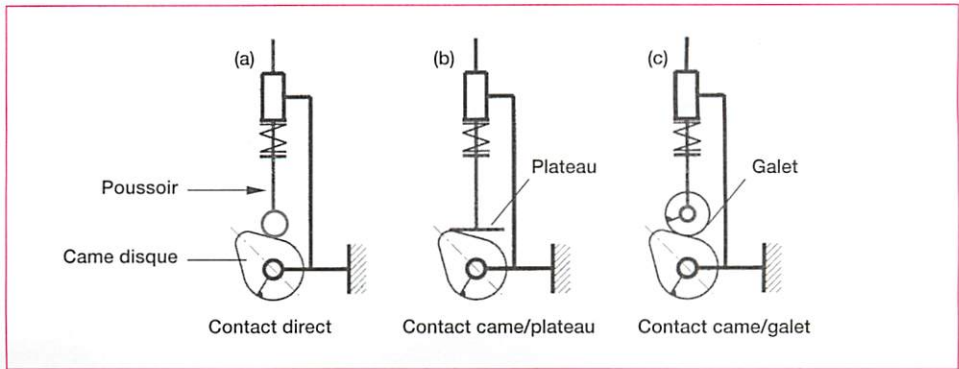


Figure 4.51 Contacts came disque/poussoir

#### - Lois d'entrée/sortie

Le profil de la came disque dépend directement de la loi  $s = f(\theta)$  recherchée (fig. 4.52).

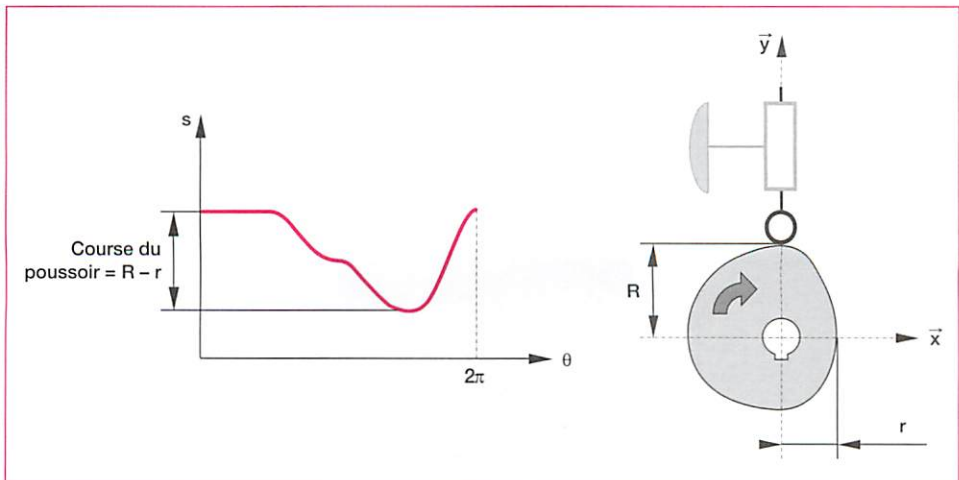


Figure 4.52 Correspondance graphe des espaces/profil de came

La *vitesse linéaire* du poussoir s'obtient par dérivation du graphe :  $s = f(t)$ .



- Variante

Une solution économique d'un point de vue fabrication consiste à utiliser une came de contour circulaire dont on décale le centre par rapport à son axe de rotation ; la came devient « excentrique » (fig. 4.53). Le déplacement du poussoir est régi par la loi :  $s = r + e \cdot \sin(\theta)$ .

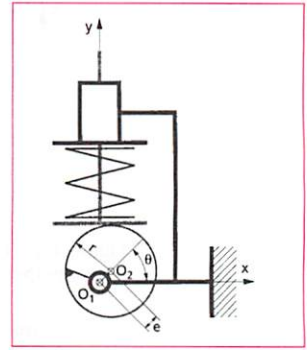


Figure 4.53 Came excentrique

exemple

La figure 4.54 représente un autre principe de transmission par came, permettant d'obtenir en sortie un mouvement de rotation discontinu et périodique, pour un mouvement d'entrée continu. Le mécanisme permet l'animation de panneaux publicitaires de type « trivision » (fig. 4.55) offrant la possibilité d'afficher successivement 3 affiches sur des « prismes » verticaux.

La « came-tambour » représentée figures 4.54 et 4.56 est animée du mouvement de rotation continu (mouvement d'entrée). L'arbre d'entraînement de prisme comporte 3 tétons, engagés successivement dans la rainure pratiquée dans la came. Le profil de cette rainure génère le mouvement de rotation du prisme (mouvement de sortie discontinu) : rotation, pause, rotation, pause...

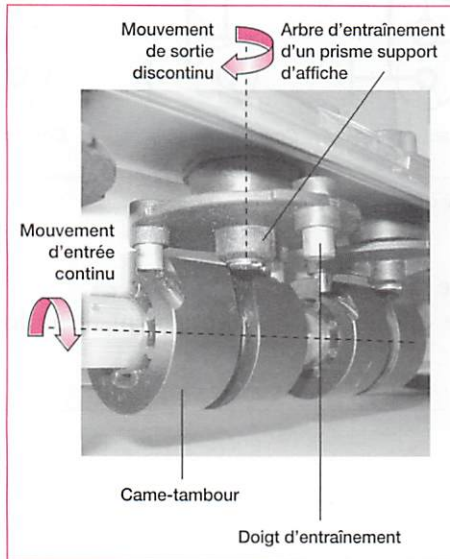


Figure 4.54 Principe de transmission par cames

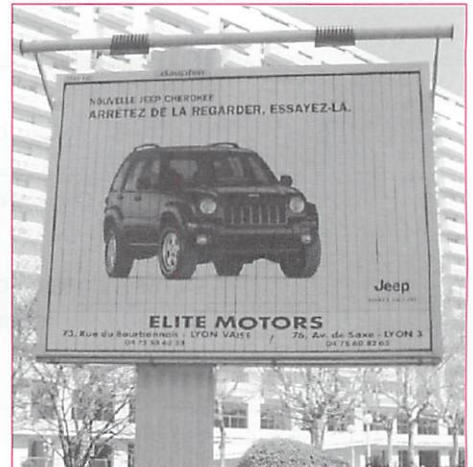


Figure 4.55 Panneau publicitaire de type « trivision »

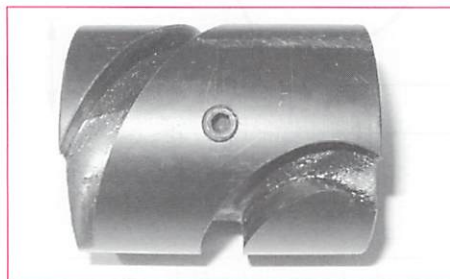


Figure 4.56 Came-tambour



Les assemblages des pièces ou sous-ensembles correspondent au modèle de liaison complète (démontable ou non). Ils sont réalisés en combinant fréquemment surfaces cylindriques et surfaces planes. La transmission d'efforts suppose une transmission par obstacle (la transmission de puissance par adhérence limite les valeurs d'effort – ou couples – transmissibles).

Les mouvements des pièces constituant les mécanismes imposent le choix d'un guidage, en translation ou en rotation, par glissement ou par roulement, en fonction des vitesses relatives, des efforts, de la précision du guidage... Bagues de guidage (coussinets, paliers lisses), et roulements (à billes, à rouleaux, à aiguilles, à contact radial, à contact oblique) proposent nombre de solutions (de règles de montage conseillées par les fournisseurs) répondant aux problèmes de guidage posés.

Concevoir une transmission de puissance, c'est commencer par considérer les puissances et rendements envisagés.

Puissance relative à un mouvement de rotation :  $P = C \cdot \omega$   
(puissance = couple · vitesse angulaire)

Puissance relative à un mouvement de translation :  $P = F \cdot v$   
(puissance = force · vitesse linéaire)

Rendement d'un processeur :

$$\eta = \frac{\text{puissance de sortie}}{\text{puissance d'entrée}} = \frac{\text{puissance utile}}{\text{puissance absorbée}}$$

Quand il s'agit d'une simple transmission de mouvement de rotation, sans modification de vitesse angulaire, la transmission de puissance est dite permanente (réalisée par accouplements rigides ou élastiques, en fonction de la précision d'implantation des composants liés) ou temporaire (par

embrayages ou limiteurs de couples). Lorsqu'il s'agit de modifier la vitesse angulaire d'un mouvement de rotation, la transmission de puissance sous-entend l'utilisation de chaîne et roues dentées, poulies et courroie, engrenages (fréquemment utilisés pour constituer réducteurs ou multiplicateurs de vitesse, boîtes de vitesse).

Les freins permettent de réduire ou d'annuler la vitesse angulaire d'une partie tournante, par friction notamment, en liant, de façon temporaire, la partie fixe et la partie tournante.

Quelques principes mécaniques permettent enfin la transformation de mouvement de rotation en translation (transformation réversible pour certains d'entre eux) : vis-écrou (réversibilité soumise à condition), bielle-manivelle (réversibilité soumise à condition), pignon-crémaillère (réversibilité totale), came-poussoir (non réversibilité).

**Mots clés :** *accouplement (élastique, rigide), arbre, arc-boutement, assemblage, bague, bielle, boîte de vitesses, butée, came, chaîne, compresseur, couple, courroie, course, coussinet, crémaillère, denture, disque, écrou, effort, éléments roulants (aiguilles, billes, rouleaux), embrayage, engrenage, excentrique, filetage, frein, friction, galet, glissement, guidage, liaison (appui plan, complète, glissière, hélicoïdale, linéaire annulaire, pivot, rotule), limiteur de couple, manivelle, moteur, mouvement, moyeu, palier, pignon, pompe, porte à faux, poulie, poussoir, puissance, rapport (de réduction, de transmission), réducteur de vitesse, rendement, réversible, rotation, roue (crantée, dentée), roulement, transformation de mouvement, translation, transmission (par adhérence, par obstacle, permanente, temporaire), vis, vitesse (angulaire, linéaire).*



# exercices

## EXERCICE 1

- À la lecture du plan proposé figure 4.22, identifier les surfaces fonctionnelles réalisant l'assemblage des pièces 3 et 6. Quels composants repérés 67 et 74 permettraient le maintien en position des pièces 3 et 6 l'une par rapport à l'autre ?
- Proposer un ordre de montage (littéralement ou sous forme de graphe de montage) des pièces 3, 6, 7, 10, 16, 53, 54, 58, 59, 67-74, 68-73 et 69 sur l'arbre fixe 11.

## EXERCICE 2

Le couple maximal transmissible par un limiteur de couple à disque(s) est donné par la relation :  $C_{\max} = F \cdot r_{\text{moy}} \cdot n \cdot f$

F représentant l'effort presseur total normal aux surfaces de friction,  $r_{\text{moy}}$  le rayon moyen des surfaces de friction du disque, n le nombre de contacts soumis à friction et f le coefficient de frottement de ces contacts.

La structure du limiteur faisant l'objet de l'étude est conforme aux figures 4.33 et 4.34. Dimensions du disque moteur : rayon extérieur  $R = 100$  mm et rayon intérieur  $r = 50$  mm. Coefficient de frottement garniture composite/fonte :  $f = 0,3$ .

- Déterminer l'effort presseur à régler sur chacun des 4 boulons pour limiter le couple transmissible à la valeur  $C_{\max} = 100 \text{ N} \cdot \text{m}$ .

## EXERCICE 3

- Déterminer les 2 rapports de réduction  $\left( \frac{n_5}{n_{27}} \right)$  propres à la boîte de vitesses représentée fig. 4.57 (schématisée par ailleurs figure 4.38), à l'aide des données suivantes :  $z_4 = 2$  filets,  $z_5 = 58$  dents,  $z_{13a} = 36$  dents,  $z_{13b} = 39$  dents,  $z_{27a} = 25$  dents et  $z_{27b} = 22$  dents (z représentant le nombre de dents des roues, et le nombre de filets de la vis sans fin, participant à la transmission de puissance).

- En déduire les 2 fréquences de rotation envisageables pour la roue 5 ( $n_5$  min et  $n_5$  max) si la cloche d'embrayage 25 tourne à la fréquence  $n_{25} = 1\,500 \text{ tr/min}$ .

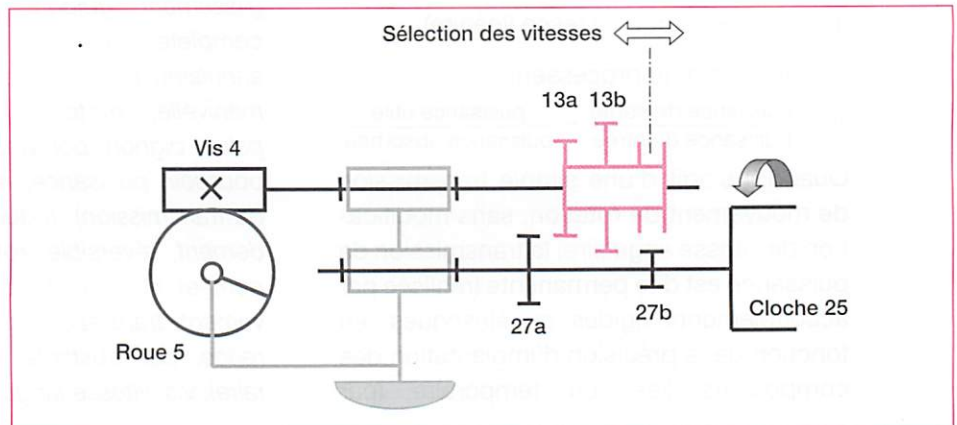


Figure 4.57 Schéma cinématique minimal de la boîte de vitesses de motobineuse

## EXERCICE 4

- Déterminer la vitesse de déplacement de la tige du pilote automatique  $v_{\text{tige}}$  (voir figures 4.42 et 4.43) pour un pas de vis  $p = 2$  mm et une fréquence de rotation de vis  $n_{\text{vis}} = 840 \text{ tr/min}$ .

## EXERCICE 5

Les figures 4.58 et 4.59 représentent le principe de transformation de mouvement par came détaillé (fig. 4.56). La figure 4.60 représente le schéma cinématique équivalent de la transmission, vu de dessus, la came est représentée développée afin de faciliter l'étude proposée (on peut assimiler sur ce schéma le mouvement de rotation de la came à un mouvement de translation rectiligne de son développement, de droite à gauche).

1. En vous aidant de la vue de face (fig. 4.58), la came 1 tournant à la vitesse angulaire  $\omega_{1/0}$  de  $0,83 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$ , déterminer la vitesse circonférentielle correspondante,  $\overrightarrow{VM_{\epsilon 1/0}}$  pour un rayon de tambour  $r_1$  de 30 mm.

2. La figure 4.59 représente la vue de dessus schématisée :

– Proposer une composition de vitesses (voir chapitre 8 – cinématique) appliquée au point M (point théorique représentatif du contact téton/came), liant les solides arbre (2), came (1) et bâti (0).

– Après avoir recherché les droites support des vecteurs  $\overrightarrow{VM_{\epsilon 2/0}}$  et  $\overrightarrow{VM_{\epsilon 2/1}}$ , représenter graphiquement la composition de vitesses définie précédemment afin de déterminer  $\overrightarrow{VM_{\epsilon 2/0}}$  (fig. 4.60).

3. En déduire  $\omega_{2/0}$  pour la configuration représentée que  $O_2M = R = 35 \text{ mm}$ .

Estimer enfin le temps d'affichage, correspondant au « segment » de rainure dont  $\omega_{2/0} = 0$  (fig. 4.60).

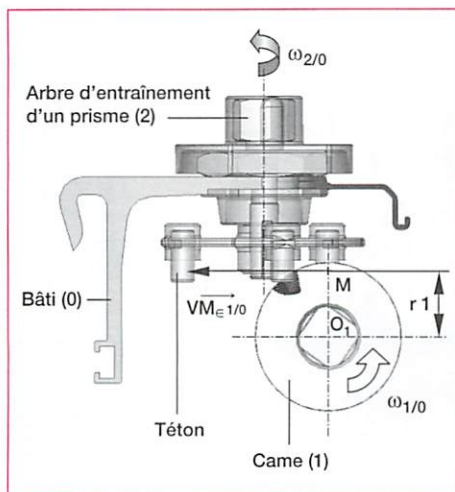


Figure 4.58 Transmission par came vue de face

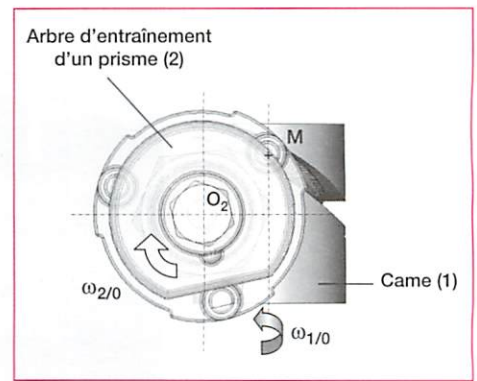


Figure 4.59 Transmission par came vue de dessus

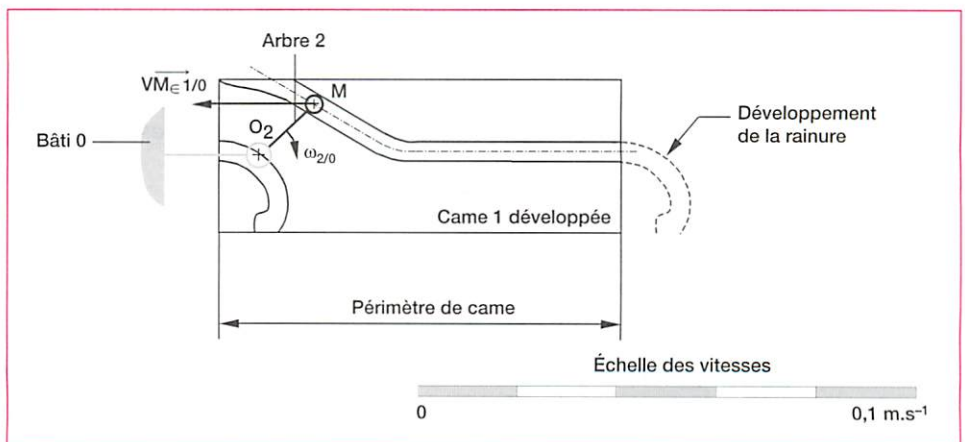


Figure 4.60 Schéma cinématique du mécanisme, vue de dessus (un seul téton représenté)





Figure 5.1 Vue générale d'une ligne de production de savonnettes en parfumerie

Comme tout objet de grande consommation, la savonnette est fabriquée industriellement sur des lignes de production. Les labels et normes de qualité conduisent les industriels à contrôler, étape par étape, les caractéristiques d'un produit tout au long de sa fabrication.

La fonction « *acquérir l'information* » est le premier maillon de la chaîne d'information qui permet, après traitement des informations acquises, l'assignation des ordres destinés à la chaîne d'énergie, ou bien des messages.

### Compétences

Les éléments du cahier des charges de l'acquisition d'une grandeur ou d'un paramètre et les documents techniques relatifs au capteur étant donnés :

- ▶ Justifier un choix de capteur.
- ▶ Expliciter les caractéristiques d'entrée et de sortie du conditionneur éventuel.
- ▶ Identifier la grandeur physique à mesurer et la nature de l'information délivrée par le capteur.

Une chaîne d'acquisition étant en fonctionnement, et les documents techniques sur le (ou les) capteur(s) étant à disposition :

- ▶ Décrire par schéma-blocs une décomposition structurelle et fonctionnelle de tout ou partie de la chaîne d'acquisition.
- ▶ Décrire et représenter l'évolution du signal le long de la chaîne.

# 1 Analyse générale du système : ligne de production de savonnettes

La savonnette est produite automatiquement à partir des matières d'œuvre d'entrée suivantes : bondillons (copeaux de savon), parfums, colorants et adjuvants (agréments de contact).

## 1.1 La chaîne d'énergie de la ligne de production de savonnettes

Les différentes unités du système Savonicc (fig. 5.1) qui constituent la chaîne d'énergie transforment les copeaux de savon associés à des additifs en savonnettes destinées à la parfumerie.

L'unité de boudinage reçoit les matières d'œuvre d'entrée et les mélanges suivant une formule afin de fabriquer un boudin de savon sortant en continu.

L'unité de coupe à longueur débite le boudin de savon en bondons de savon.

L'unité de formage ou presse reçoit les bondons et les forme en savonnettes avec marquage.

Les savonnettes sont ensuite conditionnées et stockées.

## 1.2 La chaîne d'information de la ligne de production de savonnettes

L'expérience des fabricants de savon montre qu'il est indispensable de contrôler nombre de paramètres physiques tout au long de la chaîne d'information (fig. 5.2) afin de réaliser un produit satisfaisant.

L'acquisition de ces différents paramètres de réglage ou de contrôle va permettre, après traitement par la partie commande du système, l'assignation des ordres par communication à la chaîne d'énergie, ainsi que l'élaboration de messages au pilote de la ligne de production.

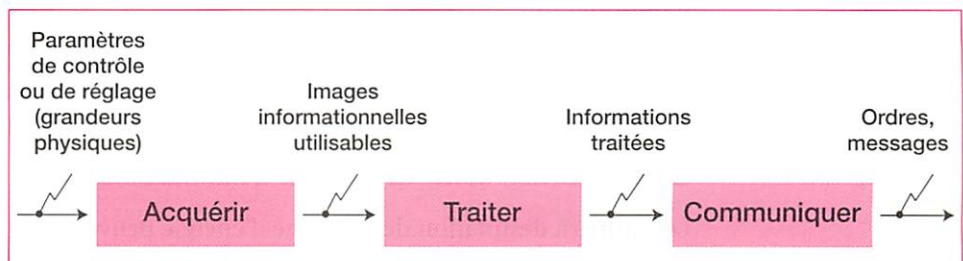


Figure 5.2 Fonctions représentatives de la chaîne d'information

Les paramètres de contrôle ou de réglage sont à tout moment accessibles à partir du pupitre principal (fig. 5.1), on distingue particulièrement :

- le **taux d'hygrométrie** au niveau de l'unité de boudinage ;
- la **température** du boudin à la sortie de l'unité de boudinage et à l'intérieur de l'unité de formage ;
- la **longueur** des bondons ;
- la **vitesse** à la sortie de la boudineuse.



### 1.3 Organisation structurelle de la chaîne d'information de Savonicc

La chaîne d'information de la ligne de production de savonnettes du système Savonicc peut être représentée par le schéma de la figure 5.3.

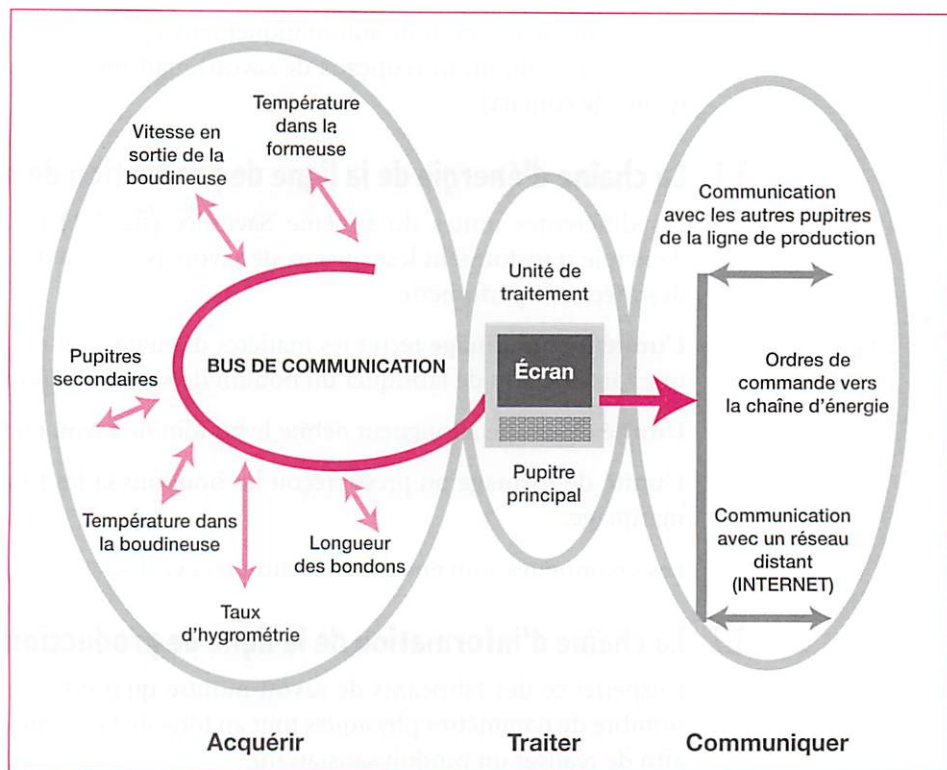


Figure 5.3 Chaîne d'information de la ligne de production de savonnettes Savonicc

La collecte des différents paramètres de contrôle et de commande est réalisée au travers d'un *bus de communication*.

Cet ensemble capteur et transmission constitue la fonction *acquérir* de la chaîne d'information.

Le contrôle de la formule est assuré par le pupitre principal à partir des données du pilote de la ligne de production. Ce pupitre est constitué d'une unité de traitement, d'un écran et d'un clavier pour le dialogue homme/machine.

C'est la fonction **traiter** de la chaîne d'information.

Les ordres à destination de la chaîne d'énergie peuvent également transiter par bus de communication ou par liaisons électriques le plus souvent numériques.

C'est la fonction **communiquer** de la chaîne d'information.

## 2 La fonction Acquisition dans la chaîne d'information

### 2.1 Structure fonctionnelle d'une chaîne d'acquisition



**Une chaîne d'acquisition de grandeurs physiques dans sa structure de base est constituée de deux fonctions (voir ouvrage de première) :**

- **extraction de l'information physique à mesurer, c'est le rôle du capteur ;**
- **conditionnement du signal délivré par le capteur.**

L'information acquise est ensuite adaptée pour être communiquée au système de traitement de la chaîne d'information (fig. 5.4).

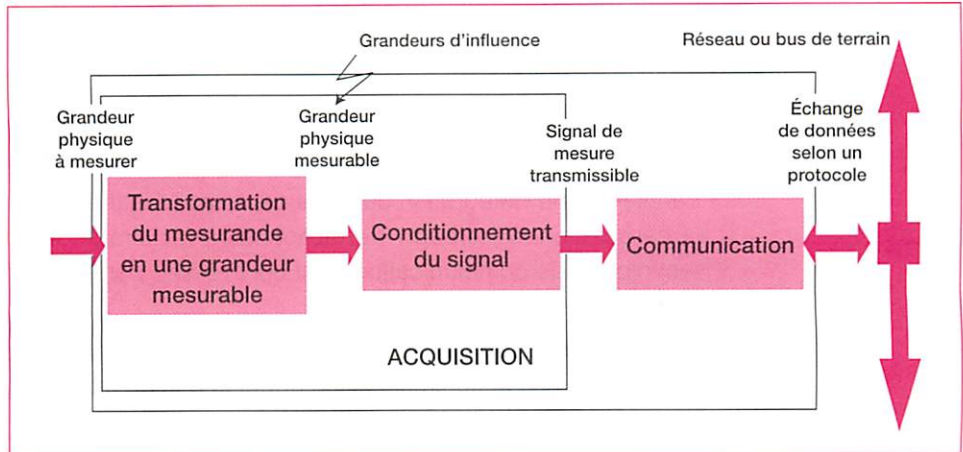


Figure 5.4 Fonction acquisition de la chaîne d'information

**Le conditionnement consiste à délivrer après traitement électronique, une grandeur électrique exploitable par la partie commande du système, ce traitement de plus en plus souvent intégré au capteur, peut être analogique et/ou numérique (amplification, filtrage, conversion A/N...).**

– Grandeur physique à mesurer

Cette grandeur physique est imposée par les contraintes de fonctionnement du système, elle est définie par le cahier des charges fonctionnel.

– Grandeurs d'influences

Les grandeurs d'influences sont des grandeurs physiques autres que le mesurande qui sont susceptibles d'affecter la sortie numérique ou analogique du capteur.

L'effet d'une grandeur d'influence se traduit généralement par un décalage du zéro en sortie, une dérive de la sensibilité du capteur.

## 2.2 Les capteurs « intelligents » ou communicants

Ces capteurs sont issus de l'association des microcontrôleurs avec les capteurs et conditionneurs classiques, tout ceci intégré le plus souvent dans un même boîtier (fig. 5.5).

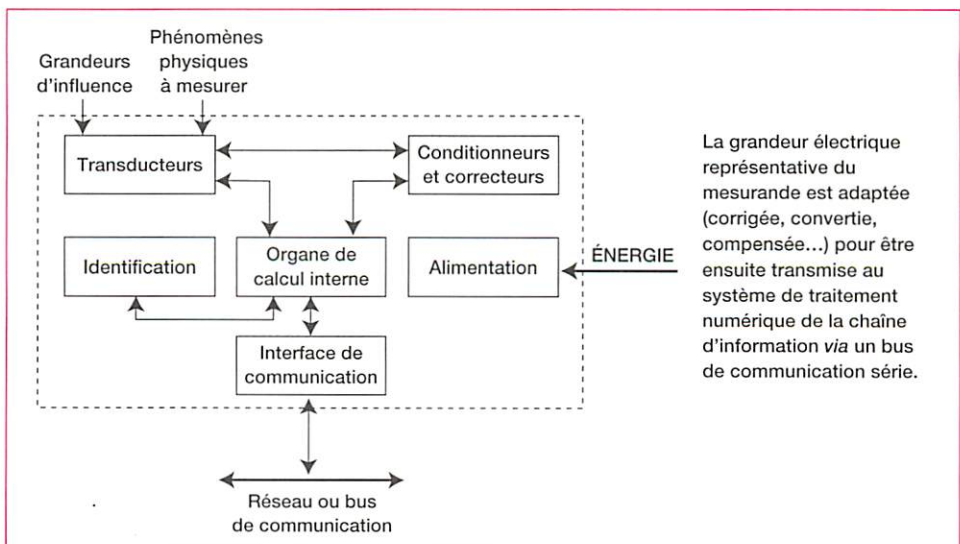


Figure 5.5 Structure d'un capteur « intelligent » ou communicant



L'existence de moyens de traitement numérique dans ce type de capteur rend possible la correction automatique d'un capteur : prise en compte des grandeurs d'influence, linéarisation de la réponse du capteur.

## exemple

Les nouvelles normes de sécurité de fiabilité et de pollution, ont conduit les fabricants d'automobiles à augmenter les paramètres de contrôle et de réglage.

Parallèlement, l'intégration dans les capteurs (destinés à l'allumage, au contrôle de la carburation, à l'airbag...) et actionneurs (éclairage, injections...) des nouvelles techniques de communication s'est concrétisée par l'apparition de nouveaux équipements.

Ces capteurs dits « intelligents » délivrent une information numérique au travers de bus normalisés de communication appelés *bus de terrain* (fig. 5.6).

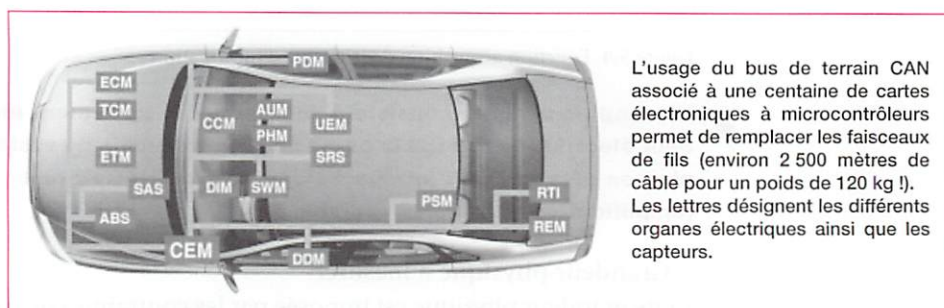


Figure 5.6 Acquisition des grandeurs physiques de fonctionnement et de contrôle en automobile par bus de terrain CAN (source : Can In Automation)

## 2.3 Les bus de terrain porteurs de l'information

Les bus de terrain sont nés du besoin de trouver une solution de communication peu coûteuse en cuivre, donc par liaison série.

Tous les dispositifs de commande ou de contrôle (capteurs, actionneurs, périphériques de dialogue...) sont rendus communicants par adjonction d'un contrôleur de communication, ils sont reliés entre eux par un monocâble (4 à 6 conducteurs maximum).

À la différence du faisceau de câbles dédiés, le réseau ainsi constitué détecte et corrige, grâce à son protocole de communication, les erreurs de transmission pouvant être introduites par les radiations électromagnétiques.

Quelques bus de terrain actuellement utilisés :

- le bus CAN (Controller Area Network ou Réseau Local à Contrôleur) ;
- Modbus, Profibus ;
- Device-net ;
- ethernet, internet ;
- Uni-telway.

Une adaptation au bus CAN est possible à partir des normes de transmission série de type RS 232 ou RS 485.

## exemple

Un capteur numérique de position est un codeur absolu multitour délivrant une information numérique série sur 13 bits.

Ce capteur « intelligent » est prévu pour un raccordement direct sur bus de terrain CAN suivant la norme ISO 11898 avec une vitesse de transmission pouvant atteindre 11 Mega bits/s (fig. 5.7). Il permet de mesurer la longueur des bondons sur la ligne de production Savonnic.

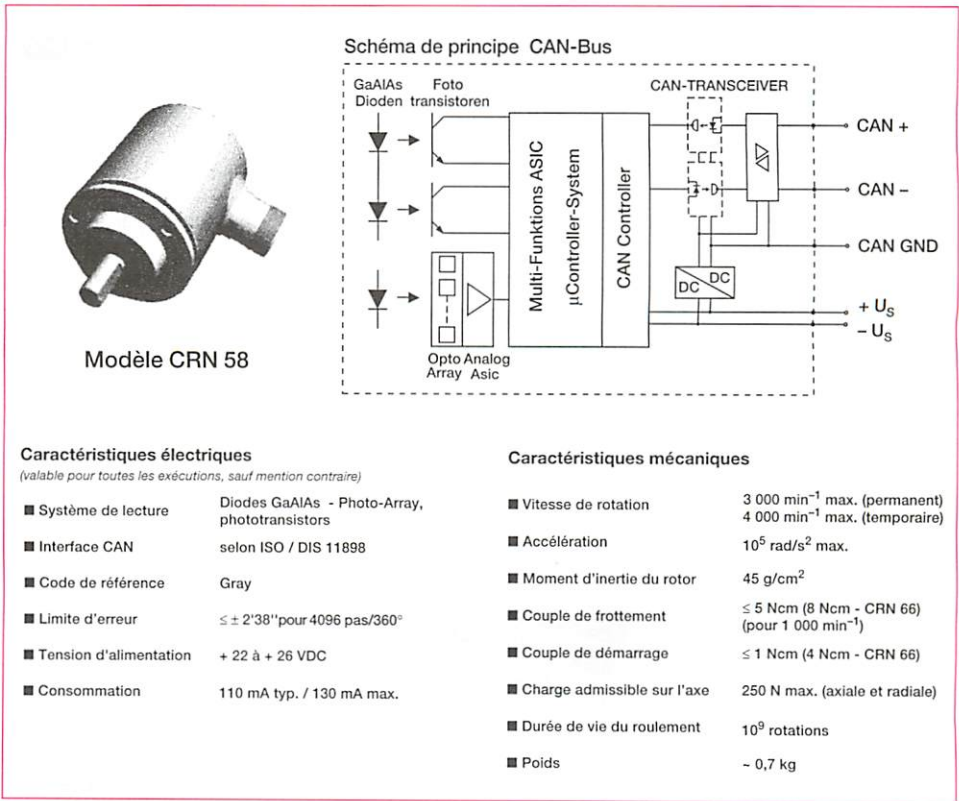


Figure 5.7 Codeur absolu multitours



## 3 Principes mis en œuvre pour acquérir une grandeur physique

La grande majorité des grandeurs physiques intervenant dans le fonctionnement d'un système et issue de son environnement est analogique.

Pour acquérir ces grandeurs, les capteurs mettent en œuvre des principes ou « effets physiques », ces effets correspondent aux deux catégories de capteurs : les capteurs passifs et les capteurs actifs.

### 3.1 Principes physiques des capteurs passifs



**Les capteurs passifs sont intégrés dans un circuit électrique alimenté en énergie, il s'agit d'impédances dont l'un des paramètres (résistance, condensateur, inductance) est sensible au mesurande.**



Pour les capteurs résistifs de déplacement (fig. 5.8), position, pression, effort, le mesurande agit par contact sur un élément mobile ou déformable engendrant une variation de résistance (curseur d'un potentiomètre par exemple).

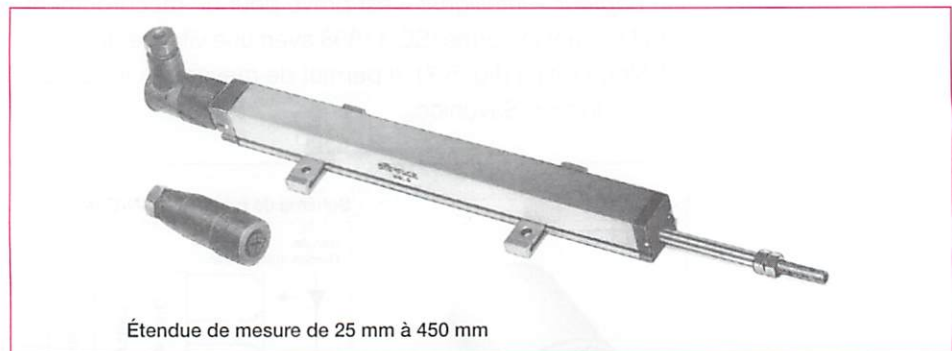


Figure 5.8 Capteur de déplacement rectiligne de précision par variation de résistance.

Pour les capteurs de position ou de déplacement inductifs (fig. 5.9), le mesurande agit également par contact sur un élément mobile (noyau métallique) se déplaçant sans contact entre deux enroulements primaire et secondaire modifiant ainsi leur couplage (le primaire étant alimenté en alternatif).

Ces capteurs sont également appelés « capteurs LVDT ».

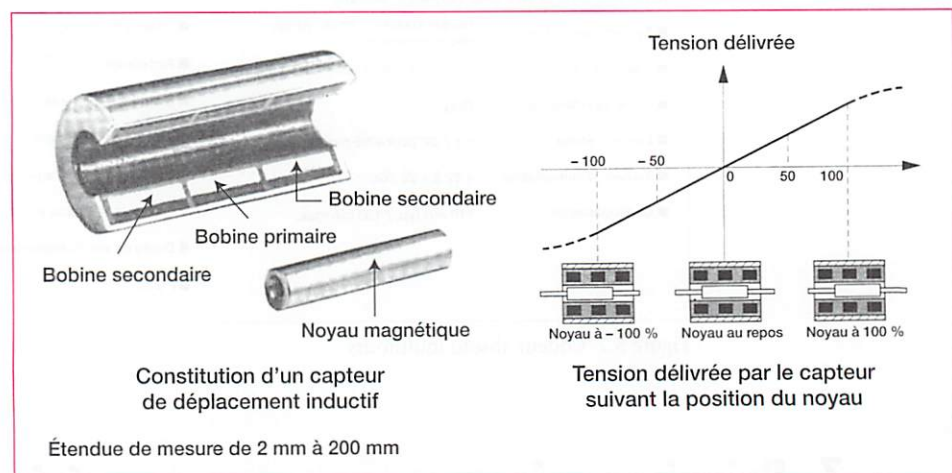


Figure 5.9 Capteur de déplacement inductif par variation du couplage entre la bobine primaire et les deux bobines secondaires

### 3.2 Principes physiques des capteurs actifs

**Ces capteurs fonctionnent en générateurs. Dans son principe, un capteur actif est basé sur un effet physique qui assure la conversion de l'énergie propre au mesurande en énergie électrique. L'énergie propre du mesurande peut être d'origine mécanique, thermique ou bien encore de rayonnement.**

Les principaux effets physiques (tableau 5.1) sont :

- l'effet thermoélectrique (énergie thermique) ;
- l'effet piézoélectrique (énergie mécanique) ;
- l'effet photoélectrique (énergie de rayonnement).

On peut également citer l'*effet Hall* qui permet d'acquérir une position, et l'*effet électromagnétique* pour acquérir une vitesse et une position.

Effet thermoélectrique	
	<p>Un circuit formé de deux conducteurs de nature différente (fer et cuivre par exemple), dont les jonctions sont à des températures différentes (<math>T_c</math> et <math>T_f</math> sur la figure), est le siège d'une force électromotrice <math>E</math>.</p> <p><i>Application</i> : capteurs de température.</p>
Effet piézoélectrique	
	<p>L'application d'une contrainte mécanique sur certains matériaux dits « piézoélectriques » (quartz par exemple), entraîne une déformation qui suscite l'apparition de charges électriques.</p> <p><i>Applications</i> : quantification de masses, pèse-personnes, balances de levage.</p>
Effet photoélectrique	
	<p>On en distingue plusieurs qui diffèrent par leurs manifestations, mais qui ont pour origine commune de libérer des charges électriques sous l'influence d'un rayonnement lumineux.</p> <p>Le déplacement de ces charges électriques modifie la tension aux bornes du matériau sensible.</p> <p><i>Applications</i> : capteurs solaires (charges de batteries d'accumulateurs), barrières lumineuses.</p>

Tableau 5.1 Principaux effets physiques des capteurs actifs

## 4 Fonctions électroniques de conditionnement dans un capteur

### 4.1 Organisation générale fonctionnelle d'un capteur

Le schéma fonctionnel de la figure 5.10 présente les traitements effectués sur la grandeur mesurable issue de l'élément sensible du capteur.

Il peut s'agir de *capteurs passifs* ou *actifs*.

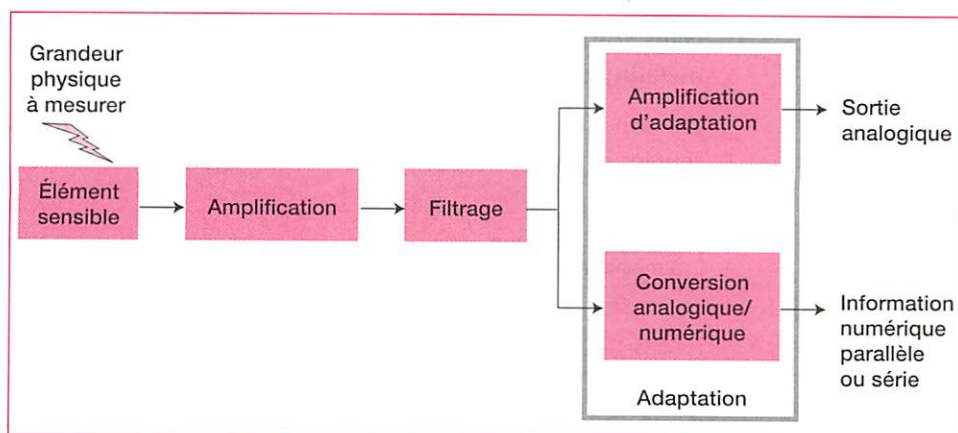


Figure 5.10 Organisation fonctionnelle des fonctions de conditionnement d'un capteur (on dispose généralement de l'une ou l'autre des sorties).



### - Fonction « amplification »

Cette fonction très souvent organisée autour d'un ALI (amplificateur linéaire intégré) permet de délivrer une information électrique mesurable, image du mesurande.

La structure électronique associée diffère selon la nature de l'élément sensible du capteur, il peut s'agir d'un amplificateur différentiel associé à un pont de mesure s'agissant d'un capteur passif (fig. 5.11), ou bien plus simplement d'un amplificateur inverseur ou non-inverseur dans le cas de capteurs actifs.

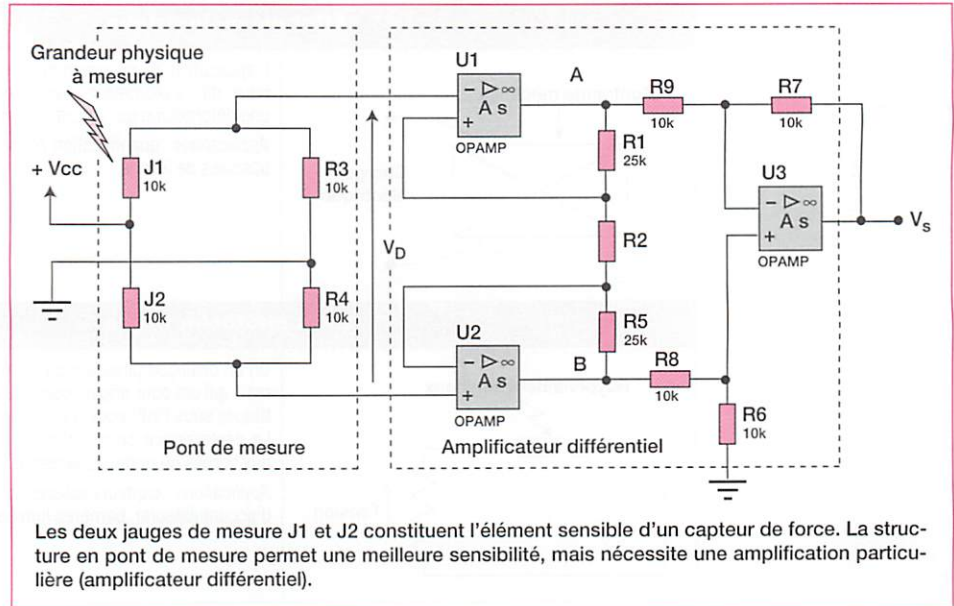


Figure 5.11 Fonction « amplification » dans le conditionnement du signal d'un capteur passif

### - Fonction « filtrage »

Cette fonction permet d'éliminer les signaux électriques parasites engendrés par l'élément sensible, il peut s'agir d'un filtre passe-haut, passe-bas, passe-bande ou encore d'un filtre réjecteur (voir *Sciences de l'ingénieur première S*).

### - Fonctions « d'adaptation »

Cette fonction électronique effectue une adaptation du signal, afin de délivrer une information analogique ou numérique standard en sortie du capteur (voir *Sciences de l'ingénieur première S*).

## 4.2 Fonctions électroniques de conditionnement dans le cas des capteurs TOR sans contact

Dans son principe, ce type de capteur permet de détecter une présence d'objets métalliques (capteurs TOR inductifs), ou pas (capteurs TOR capacitifs).

Les fonctions représentatives de l'électronique de conditionnement sont représentées sur le schéma fonctionnel de la figure 5.12.

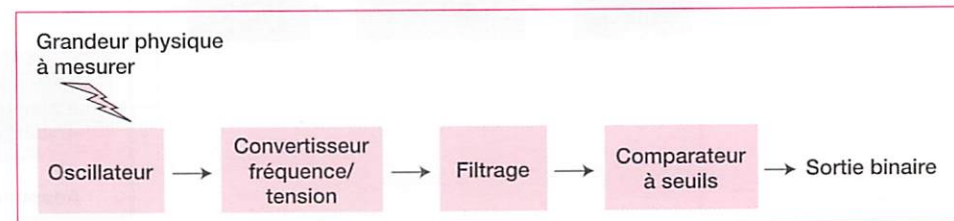


Figure 5.12 Organisation fonctionnelle des fonctions de conditionnement d'un capteur TOR sans contacts (inductif ou capacitif)

L'élément à détecter se trouvant à proximité de l'oscillateur, il va provoquer une « extinction » ou « arrêt » des oscillations.

Le signal produit par l'oscillateur est converti en une tension et discrétisé afin de produire en sortie un état binaire.

La « zone » de détection est caractérisée par la *fréquence critique* de l'oscillateur (le mesurande agit sur l'impédance du circuit oscillant constituant l'oscillateur par couplage inductif ou capacitif).

## 5 Nature de l'information délivrée par un capteur

L'image informationnelle délivrée par un capteur en sortie peut revêtir différentes formes régies par les normes internationales ISO ou EIA, il peut s'agir :

- d'un *signal analogique* (tension ou courant) ;
- d'une *information binaire* (sortie PNP, NPN ou Totem-Pôle) ;
- d'une *information numérique* série ou parallèle.

L'information délivrée en sortie d'un capteur ne préjuge en rien du type de capteur mis en œuvre, une sortie analogique (tension ou courant) peut être disponible sur un capteur analogique ou numérique et réciproquement.

### exemple

Le codeur numérique monotour (fig. 5.13) délivre en sortie une tension analogique variant de 0 volt à + 10 volts, ou bien un courant pouvant varier en fonction de la position angulaire du rotor du codeur jusqu'à 20 mA.

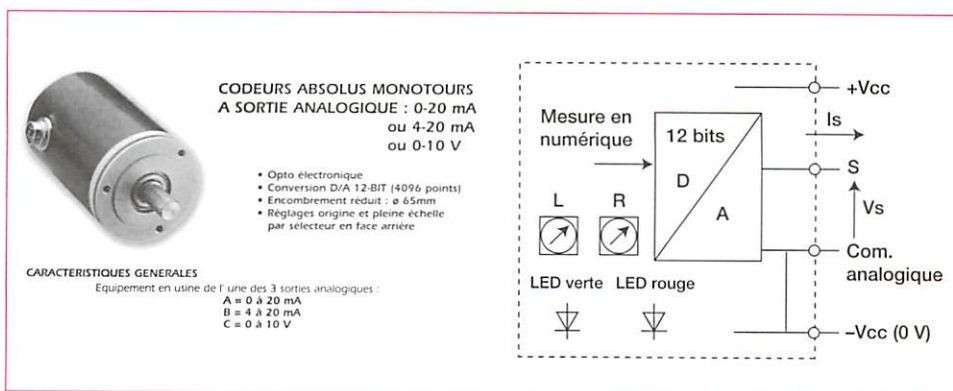


Figure 5.13 Codeur rotatif numérique absolu monotour de chez MCB basé sur l'effet photoélectrique



### 5.1 Information numérique en sortie : liaison RS 232C (EIA) ou V24/V28 (ISO)

Cette liaison est très utilisée en transmission de données numériques. Elle permet de communiquer des informations numériques sur des distances pouvant atteindre 10 à 20 mètres avec un débit maximal de 19 200 bauds (fig. 5.14).



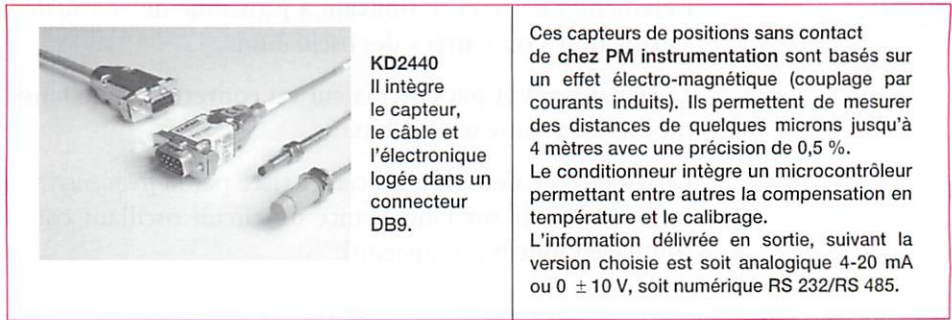


Figure 5.14 Capteurs de position sans contact

L'information numérique délivrée en sortie des capteurs en liaison RS 232 (fig. 5.15) est de type série asynchrone, les bits sont transmis au travers d'une ligne filaire émettrice nommée  $T_D$ , le capteur peut recevoir des informations binaires au travers de sa ligne de réception  $R_D$ .

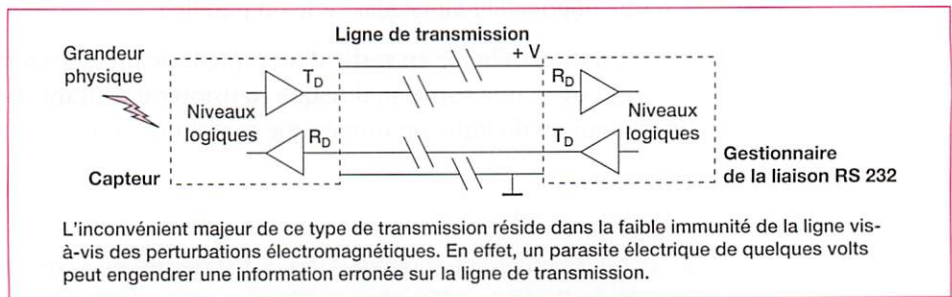


Figure 5.15 Électronique de sortie du conditionneur du capteur en transmission RS 232

Les niveaux de tension qui transigent sur ces deux lignes respectent la norme RS 232 (fig. 5.16).

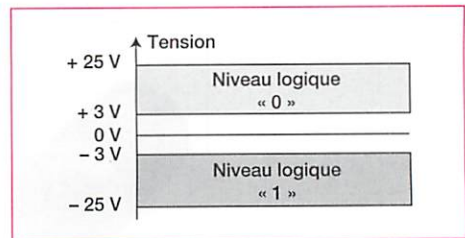


Figure 5.16 Niveaux des tensions en liaison RS 232

## 5.2 Information numérique en sortie : liaisons RS 422 et RS 485 (EIA) ou V11/X27 (ISO)

Cette norme définit la *transmission de données numériques série en mode différentiel*. Ce mode de transmission de données permet d'atteindre des distances de transmission de 1 200 mètres avec un débit maximal de 10 Mbauds (fig. 5.17).

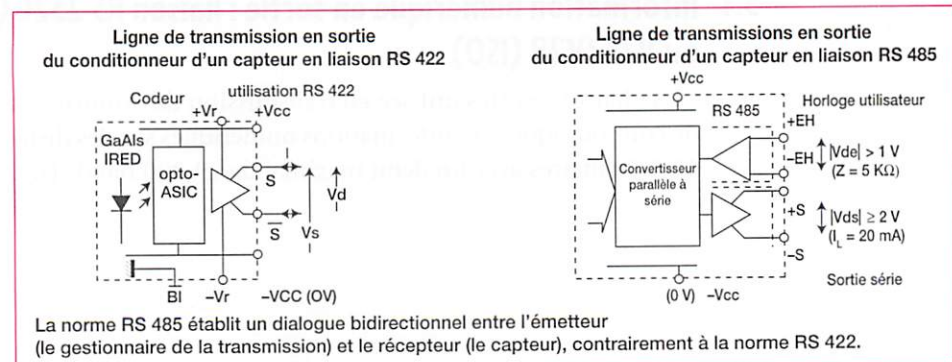


Figure 5.17 Électronique de sortie du conditionneur en liaison RS 422 et RS 485

Les niveaux de tension transitant sur la ligne sont conformes au graphe de la figure 5.18 (logique négative).

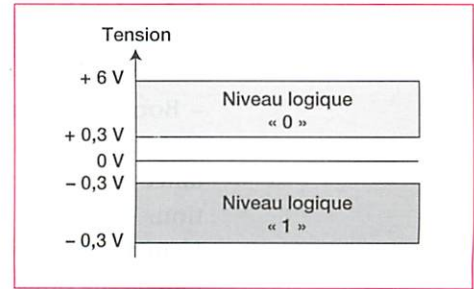


Figure 5.18 Niveaux des tensions en liaison RS 422 ou RS 485

Ce type de liaison permet une très bonne immunité de la ligne de transmission vis-à-vis des perturbations électromagnétiques. En effet, un parasite électrique sur la ligne serait sans conséquences sur le signal à la sortie de l'amplificateur de ligne car il réaliserait une amplification de la différence des signaux présents sur ses entrées (fig. 5.17).

### 5.3 Information binaire en sortie : totem-pôle, PNP ou NPN

Suivant le capteur à sortie binaire employé, l'électronique de sortie du conditionneur est différente (fig. 5.19).

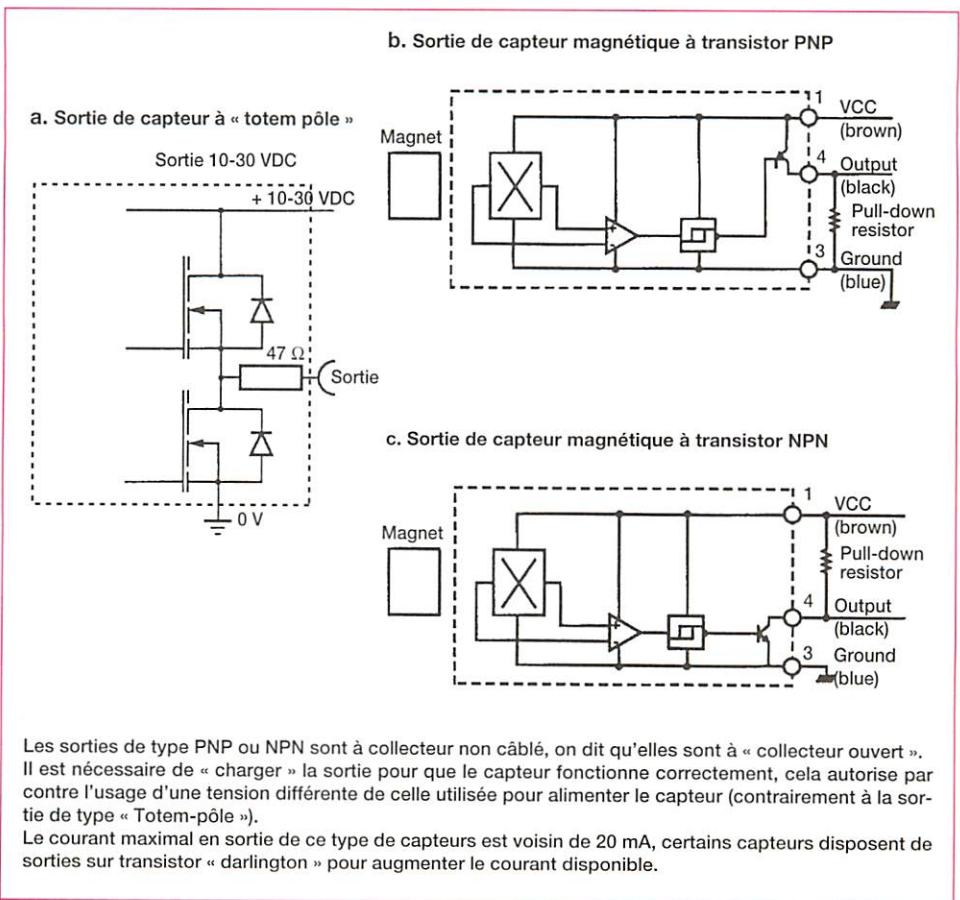


Figure 5.19 Électroniques de sortie du conditionneur dans le cas de capteurs à sortie binaire

## 5.4 Information analogique en sortie : tension de 0 à 10 V et boucles de courant de 0 à 20 mA ou de 4 mA à 20 mA

### – Boucle de courant analogique

Ce mode de transmission (fig. 5.20) est très précis, car il n'est pas affecté par la résistance de la ligne de transmission, ni par les fluctuations de la tension d'alimentation.

L'émetteur convertit la valeur mesurée par le capteur en un courant compris dans l'intervalle qui va de 4 mA à 20 mA.

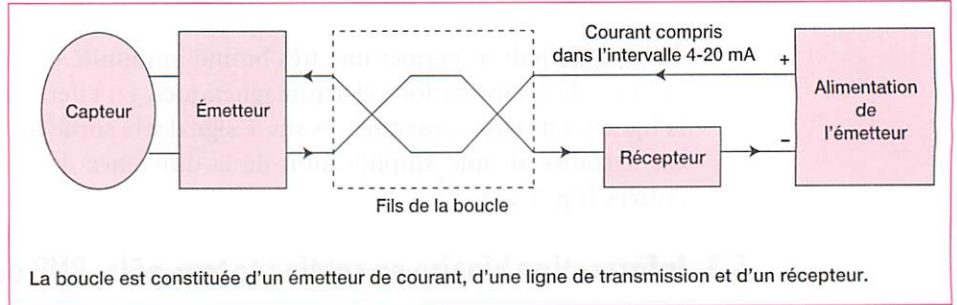


Figure 5.20 Éléments constituant une boucle de courant en conditionnement d'un capteur

Le récepteur récupère une tension « image » du courant envoyé par l'émetteur sur la ligne de transmission.

Certaines boucle génèrent un courant variant de 0 à 20 mA, ce type de boucle présente un inconvénient en cas de coupure de la ligne de transmission car le récepteur pourra interpréter cette coupure comme un courant nul.

### – Boucle de courant numérique

Ce mode de transmission (fig. 5.21) est utilisé pour transmettre une information numérique série ou binaire, le « zéro » logique étant équivalent au courant de 4 mA ou 0 mA et le « un » logique au courant de 20 mA.

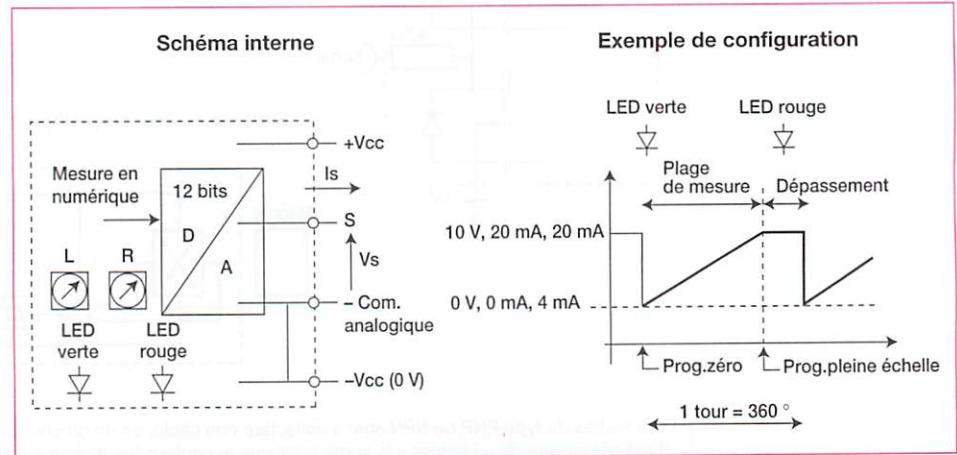


Figure 5.21 Interface de sortie et caractéristique de transfert d'un capteur numérique (MCB) à sortie analogique 0 → 10V, 4 → 20 mA et 0 → 20 mA

## 6 Critères de choix et contraintes de mise en œuvre d'un capteur

Les paramètres déterminant le choix d'un capteur sont multiples. Dans un premier temps, le choix doit porter sur les critères technologiques, il s'agit :

– de la grandeur physique à mesurer ;



- de la **nature des matériaux** en présence (conducteur, isolant, opaque, translucide, ferromagnétique...);
- du **type de traitement** effectué sur l'information délivrée par le capteur (numérique ou analogique);
- du **mode de communication** mis en œuvre dans la chaîne d'information pour acquérir les grandeurs d'exploitation du système (liaison série, mise en réseau...);
- de sa **technique de raccordement** ou de montage;
- de sa **tension d'alimentation** en énergie.

Dans un deuxième temps, le choix doit se faire à partir des **performances** définies par le cahier des charges, à savoir :

- la **précision sur la mesure**; selon la technologie employée pour réaliser l'élément sensible, on parlera de résolution (codeurs numériques) ou d'incertitude absolue sur l'image électrique délivrée par le capteur;
- la **linéarité**; elle correspond à la fonction de transfert du capteur, qui définit sa loi de variation;
- la **durée de vie**; elle est exprimée en nombre de manœuvres; les capteurs à pistes résistives sont soumis à une usure importante;
- le **prix**; celui-ci peut varier dans de très grandes proportions entre un capteur résistif monotour et un capteur multitours numérique à code de Gray.

Ces caractéristiques étant rarement conciliables au moindre coût, il s'agit d'effectuer le meilleur **compromis prix/performance**.

Pour des applications plus spécifiques, d'autres critères peuvent devenir déterminants dans le choix :

- le couple ou l'effort exercé sur l'élément sensible;
- la tenue aux vibrations ou aux chocs;
- la vitesse maximale de déplacement;
- la température maximale.

## 6.1 Mesure de positions et de déplacements

Les tableaux 5.2 et 5.3 résument les avantages et les inconvénients comparés de capteurs utilisés pour mesurer une position ou un déplacement.

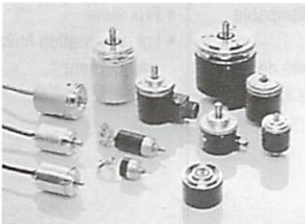
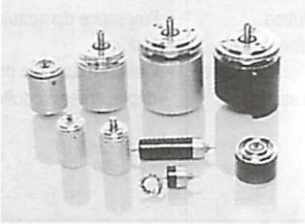
Type de capteur	Caractéristiques
<b>Capteurs numériques optoélectroniques</b>	
Codeurs incrémentaux 	Résolution maximale pouvant atteindre 40 000 périodes par tour Signaux de sortie Totem-pôle, PNP ou NPN Électronique de conditionnement embarquée à la demande Indication du top au tour et du sens de rotation Fréquence maximale élevée Grande durée de vie $10^{10}$ tours Forte vitesse maximale de rotation (6 000 tr/min) Indice de protection IP53 (étanche) Sorties complémentées
Codeurs absolus monotours ou multitours 	Résolution maximale pouvant atteindre $2^{24}$ points Signaux compatibles microcontrôleur avec sorties parallèles ou série (RS 422 ou bus de terrain) Électronique de transcodage intégrée à la demande Vitesse maximale de rotation (6 000 tr/min) Codes de sortie binaire naturel, binaire BCD, code de GRAY Grande durée de vie $10^{10}$ tours

Tableau 5.2 Caractéristiques principales des capteurs numériques optoélectriques


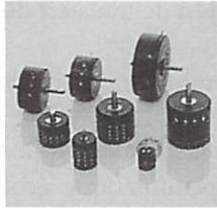
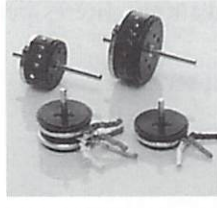

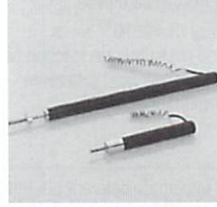

Type de capteur	Avantages	Inconvénients	Applications
<b>Capteur inductif</b>			
Capteur inductif à noyau plongeur (LVDT) 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bande passante élevée</li> <li>• Température de fonctionnement maximale de 600 °C</li> <li>• Supporte des pressions élevées</li> <li>• Aucun contact</li> <li>• Durée de vie élevée</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Électronique de mesure complexe</li> <li>• Prix élevé</li> <li>• Faible course utile</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Milieux radioactifs</li> <li>• Ambiances industrielles</li> <li>• Instrumentation très spécifique de précision</li> </ul>
<b>Capteurs résistifs</b>			
Capteurs monotor de déplacement angulaire à piste résistive 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bonne résolution</li> <li>• Étanche à la poussière</li> <li>• Prix faible</li> <li>• Loi de variation en sinus et cosinus possible</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Course électrique de <math>340 \pm 3^\circ</math></li> <li>• Faible vitesse maximale de rotation (600 tr/mn)</li> <li>• Faible durée de vie</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Usage général grand public</li> <li>• Automobile, robotique</li> <li>• etc.</li> </ul>
Capteurs monotor de déplacement angulaire bobiné 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Puissance dissipable importante</li> <li>• Durée de vie élevée</li> <li>• Étanche à la poussière</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Faible résolution</li> <li>• Loi de variation linéaire uniquement</li> <li>• Prix élevé</li> <li>• Course électrique maximale de <math>360^\circ</math></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Usage général grand public</li> <li>• Appareil de mesure</li> </ul>
Capteurs multitours (N) de déplacement angulaire bobiné 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Course électrique <math>N.360^\circ</math> à <math>\pm 10^\circ</math></li> <li>• Puissance dissipable importante</li> <li>• Durée de vie élevée</li> <li>• Très bonne résolution</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Loi de variation linéaire uniquement</li> <li>• Prix élevé</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Asservissements</li> <li>• Robotique</li> <li>• Nucléaire</li> </ul>
Capteurs de déplacements linéaires bobinés 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Puissance dissipable élevée</li> <li>• Grande variété de taille</li> <li>• Durée de vie élevée</li> <li>• Bonne linéarité</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Prix élevé</li> <li>• Loi de variation linéaire uniquement</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pilotage en position d'un vérin</li> <li>• Manettes de jeu</li> <li>• Enregistreur</li> <li>• Commandes de vol pour avions</li> </ul>
Capteurs de déplacement linéaires à piste résistive 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bonne résolution</li> <li>• Prix relativement faible</li> <li>• Loi de variation contrôlée par dépôt résistif</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Puissance dissipable réduite</li> <li>• Vitesse maximale de déplacement réduite</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Manettes de jeu grand public</li> <li>• Automobile</li> </ul>

Tableau 5.3 Caractéristiques principales des capteurs inductifs et résistifs

## 6.2 Mesure de pressions, d'efforts

Un matériau soumis à une force, un couple ou une pression subit des contraintes mécaniques produisant des déformations.

Les jauges de contraintes à trame pelliculaire (fig. 5.22) constituent le plus souvent l'élément sensible de ce type de capteur passif, elles sont destinées à mesurer une modification dimensionnelle du matériau soumis à la contrainte.

La jauge à trame pelliculaire de la figure 5.22 est obtenue par dépôt d'un film métallique sur un support isolant.

Le motif est conçu pour éliminer les influences parasites.

Les brins sont orientés par rapport à l'effort à mesurer, et conditionnent ainsi la précision de la mesure.

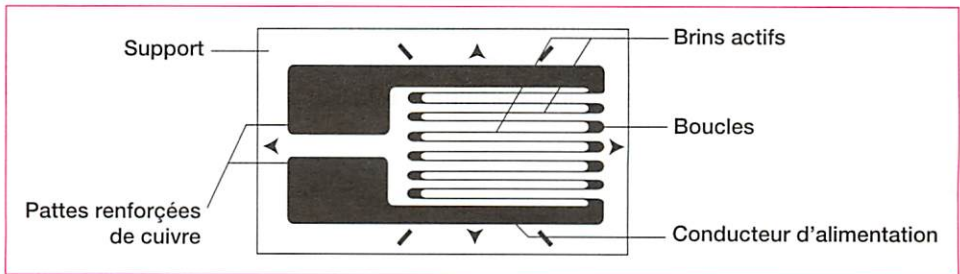


Figure 5.22 Détail d'une jauge à trame pelliculaire

### Principe

La variation dimensionnelle du matériau sur lequel est fixée la jauge, va entraîner une variation de résistance de celle-ci :

$\frac{\Delta R}{R} = K \frac{\Delta l}{l}$  avec  $K$  : facteur de jauge (dépendant du matériau de la jauge),  
et  $\frac{\Delta l}{l}$  correspondant à l'allongement du matériau supportant la jauge.

### Applications

Les capteurs de pression et d'effort (fig. 5.23) sont appliqués dans les domaines tels que : pesage, mesure de couple, surveillance d'ouvrages (ponts, barrages...), aérospatiale (contrôle des déformations), automobile.

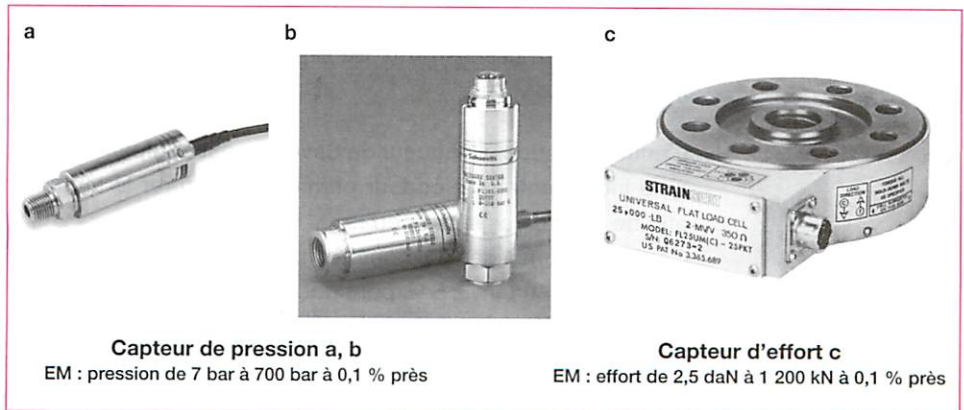


Figure 5.23 Capteurs de pression et d'effort à jauge à trame pelliculaire

Les capteurs à matériaux piézoélectriques permettent également la mesure de pressions et d'efforts.

Ces capteurs actifs sont basés sur l'effet piézoélectrique décrit dans ce chapitre.



La fonction « acquérir l'information » est le premier maillon de la chaîne d'information d'un système technique.

L'acquisition des différents paramètres de contrôle ou de réglage d'un système est indispensable à son bon fonctionnement. Par ailleurs, les nouvelles normes de fiabilité, de sécurité, et de pollution ont conduit les concepteurs à augmenter les points de contrôle et de réglage dans un système.

Parallèlement, l'intégration dans les capteurs et actionneurs des nouvelles techniques de communication s'est concrétisée par l'apparition de nouveaux équipements que l'on qualifie de « communicants », c'est-à-dire dotés d'une certaine « intelli-

gence » afin de dialoguer sur des bus de communication normalisés.

L'information délivrée par un capteur peut être binaire, numérique ou analogique, mais dans tous les cas respecter des standards définis par des normes (de 0 à 10V, boucle de courant (de 4 à 20 mA ou de 0 à 20 mA) RS 232, RS 485, PNP, NPN, Totem-pôle).

*Mots clés : chaîne d'information, bus de communication (de terrain), conditionnement, capteur intelligent, grandeurs d'influence, effet thermoélectrique, effet piézoélectrique, effet photoélectrique, amplification différentielle, pont de mesure, liaison RS 232, liaison RS 485, sortie 0 → 10 V, sorties boucle de courant, Totem-pôle, PNP, NPN, jauges de contraintes.*

## exercices

### EXERCICE 1

Soit un capteur résistif de déplacement angulaire bobiné comportant 50 tours. Ce capteur est destiné à mesurer la hauteur d'un produit chimique dans une cuve à partir d'un filin disposant d'un flotteur à une extrémité, et entraînant en rotation l'axe du capteur. Le retour du filin est assuré par un ressort de rappel.

Sachant que la hauteur maximale à mesurer est de 10 mètres, et que la valeur de la piste résistive du capteur est de  $1\ 000\ \Omega$  :

- Calculer la résistance caractéristique du capteur exprimée en  $\Omega$ /tour.

Sachant que le capteur conditionné délivre en sortie une tension analogique de 0 à 10 V, et que le capteur est capable de détecter au minimum une variation angulaire de  $\pm 5^\circ$  :

- En déduire la sensibilité du capteur exprimée en mm, ainsi que la précision sur la tension de sortie.

### EXERCICE 2

L'unité de coupe à longueur de Savonicc est équipée d'un codeur rotatif numérique de type incrémental. Ce codeur permet de mesurer la longueur des bondons de savon afin de débiter les savonnettes.

Caractéristiques des savonnettes :

- longueur :  $40\ \text{mm} \pm 5\ \%$  pour une savonnette de 25 g ;
- longueur :  $70\ \text{mm} \pm 5\ \%$  pour une savonnette de 60 g.

Le codeur est entraîné en rotation par le tapis supportant les bondons de savon au travers d'une poulie d'entraînement.

1. Calculer le diamètre minimal de la poulie d'entraînement sachant que nous disposons d'un codeur à 500 impulsions par tour.
2. On adoptera par la suite un diamètre de poulie de 50 mm, calculer la résolution du codeur.

3. En déduire la capacité du compteur permettant de déterminer la longueur des savons, préciser le nombre d'étages de ce compteur.

### EXERCICE 3

On se propose d'étudier la chaîne d'acquisition de la grandeur « débit d'air » d'un respirateur artificiel.

Un respirateur artificiel est un appareil utilisé en milieu hospitalier pour l'anesthésie et la réanimation. Il réalise la fonction respiratoire en insufflant un mélange gazeux dans les poumons du malade.

Principe de la mesure :

- un canal de faible diamètre (tuyau de mesure) est placé en dérivation du canal inspiratoire du malade, une partie du flux gazeux y est donc dévié ;
- la circulation du gaz dans le canal de mesure produit une force sur une petite lame supportant 2 jauges de contraintes collées de part et d'autre (fig. 5.24) ; la lame travaille donc en flexion ;
- les jauges  $J_1$  et  $J_2$  sont les éléments d'un capteur dont le conditionnement est conforme à la figure 5.11.

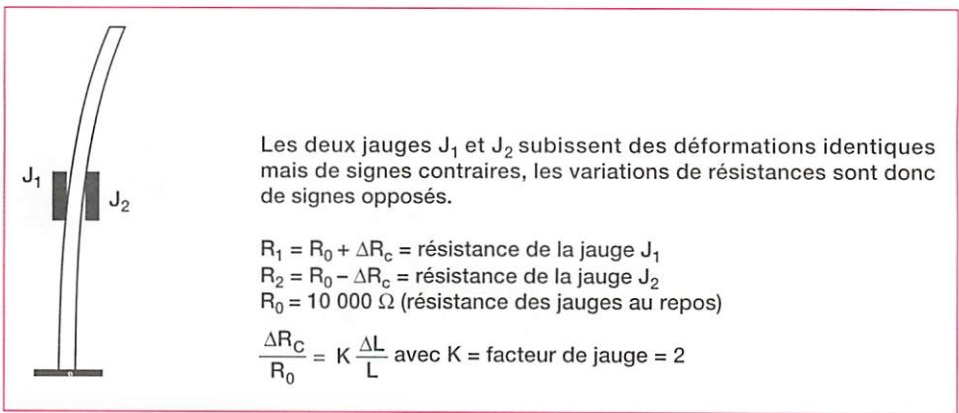


Figure 5.24 Détail du montage des jauges

1. Démontrez qu'en l'absence de débit d'air (aucune déformation), la tension à la sortie du pont de mesure  $V_D$  est nulle.

2. Démontrez qu'en présence d'un débit d'air, la tension de déséquilibre du pont  $V_D$  est exprimée par la relation :

$$V_D = \frac{V_{CC}}{2} K \frac{\Delta L}{L}$$

3. Application numérique : Le débit inspiratoire est réglable entre 0,1 L/s et 1 L/s. La relation entre le débit et la déformation n'est pas linéaire, pour le débit minimal,  $\frac{\Delta L}{L} = 2,10^{-4}$  et pour le débit maximal  $\frac{\Delta L}{L} = 5,10^{-3}$ , calculer la tension  $V_D$  de déséquilibre pour  $Q_{\min}$  et  $Q_{\max}$ .

### EXERCICE 4

La fonction amplification est toujours conforme à la figure 5.11, il s'agit d'un amplificateur différentiel. En considérant les ALI comme parfaits, on peut écrire que la tension  $V_D$  est identique à la différence de potentiel aux bornes de la résistance  $R_2$ , dans ces conditions :

1. Exprimer littéralement la différence de potentiel entre les points A et B en fonction de  $V_D$ .

2. En déduire la relation entre la tension de sortie  $V_S$  et la tension  $V_D$ .

3. On désire pour un débit d'air maximal une tension en  $V_S$  de 2,5 volts, en déduire la valeur de l'amplification souhaitée, et calculer la valeur de la résistance  $R_2$ .



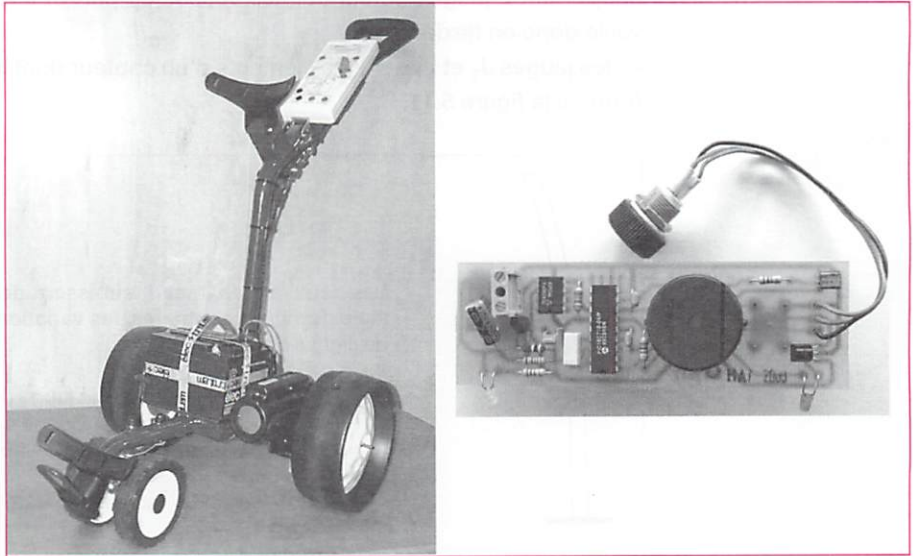


Figure 6.1 Chariot de golf équipé d'une commande à microcontrôleur

Par leur flexibilité, les systèmes programmables de traitement de données ont largement supplanté les commandes câblées.

Dans les systèmes de grande diffusion, le microcontrôleur assure la commande de nombreux matériels : gestion des programmes des appareils électroménagers (four, lave-linge, lave-vaisselle) ; affichage des données des appareils de mesure (pesage, contrôle tension artérielle, rythme cardiaque) ; système de sécurité (serrure électronique, alarme antivol).

Dans les systèmes industriels, l'automate programmable est largement utilisé : pilotage des ascenseurs ; gestion de l'éclairage public ; commande des chaînes de fabrication industrielles.

### Compétences

À partir d'un système mis à disposition et/ou défini par un dossier, des documents techniques correspondants et du cahier des charges de l'application :

- Identifier les différents constituants matériels de la chaîne d'information et les fonctions techniques réalisées.
- Analyser l'organisation fonctionnelle de la chaîne d'information et en établir un schéma-bloc (fonctions assurées, flux de données).

Sur un équipement réel donné, une proposition de modification de fonctionnement de tout ou partie du système étant formulée, le modèle de commande et les frontières de l'étude étant définies :

- Modifier la spécification comportementale à l'aide d'un éditeur (atelier logiciel, interface de développement rapide).
- Générer automatiquement le programme et l'implanter dans le système cible.
- Tester le fonctionnement.



# 1 L'automate programmable industriel

## 1.1 Structure fonctionnelle et matérielle d'un API

 **Un automate programmable est un système de traitement de données spécialisé dans la commande des processus automatisés.**

Un API est programmé par l'utilisateur à partir d'un ordinateur PC équipé d'un *atelier logiciel spécifique* (PL7PRO, SIMATIC S7,...) ou d'une *interface de développement rapide* (Automgen, Cadepa) et de son *post-processeur* ou d'une console de programmation spécialisée :

- La programmation se fait dans un langage évolué proche des outils d'analyse combinatoire (*schéma à contacts, logigramme,...*), séquentiel (*langage orienté grafset*) ou numérique (*bloc fonctionnel*).
- Le programme compilé en langage machine est chargé dans l'automate par une liaison série ou un réseau ou par insertion d'une mémoire EPROM.
- Une mini-console (pocket) permet le réglage sur site des paramètres (valeur de temporisation, de comptage, de données numériques constantes,...).

La figure 6.2 représente l'automate programmable industriel modulaire « Schneider TSX37 ».

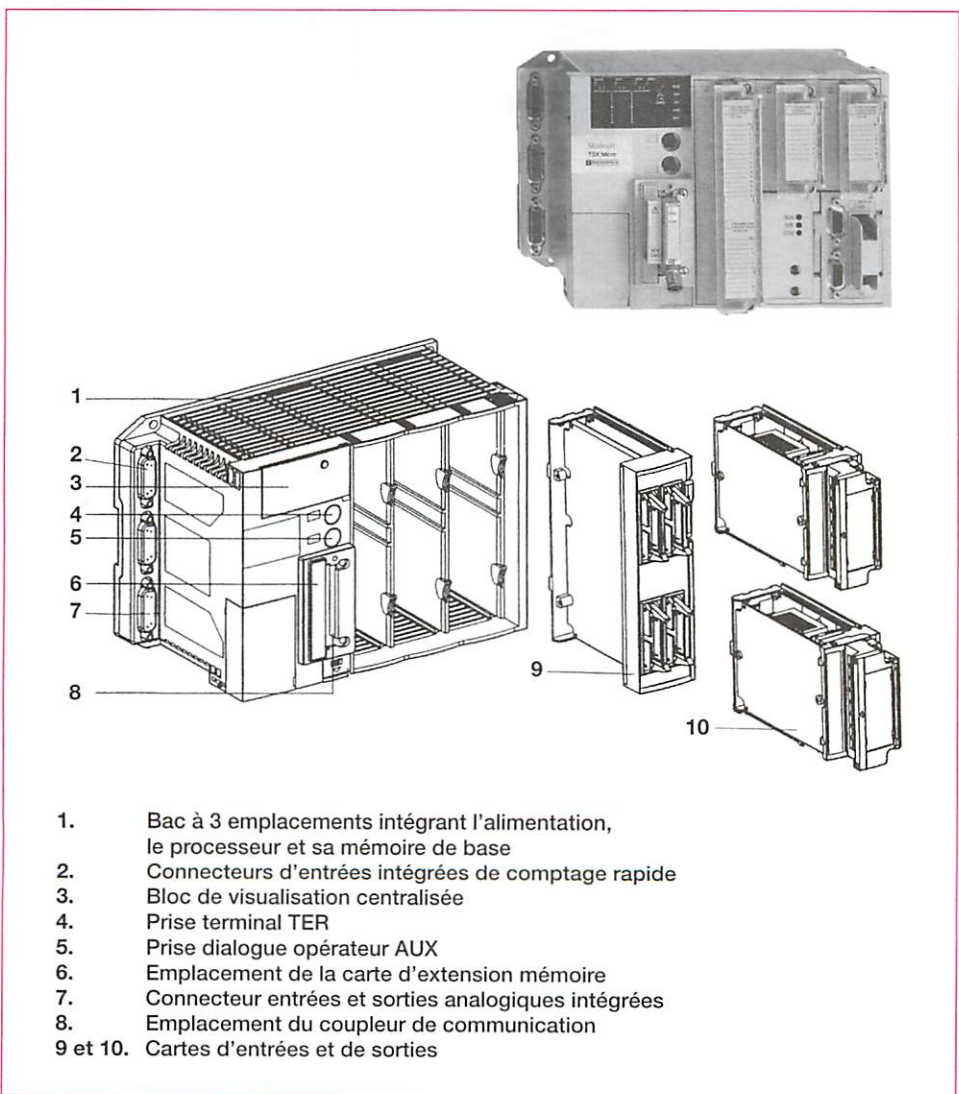


Figure 6.2 Automate programmable Schneider

## 1.2 Architecture matérielle du système « Savonicc »

La description de la ligne de fabrication et de conditionnement de savonnettes « Savonicc » est présentée par la figure 6.3.

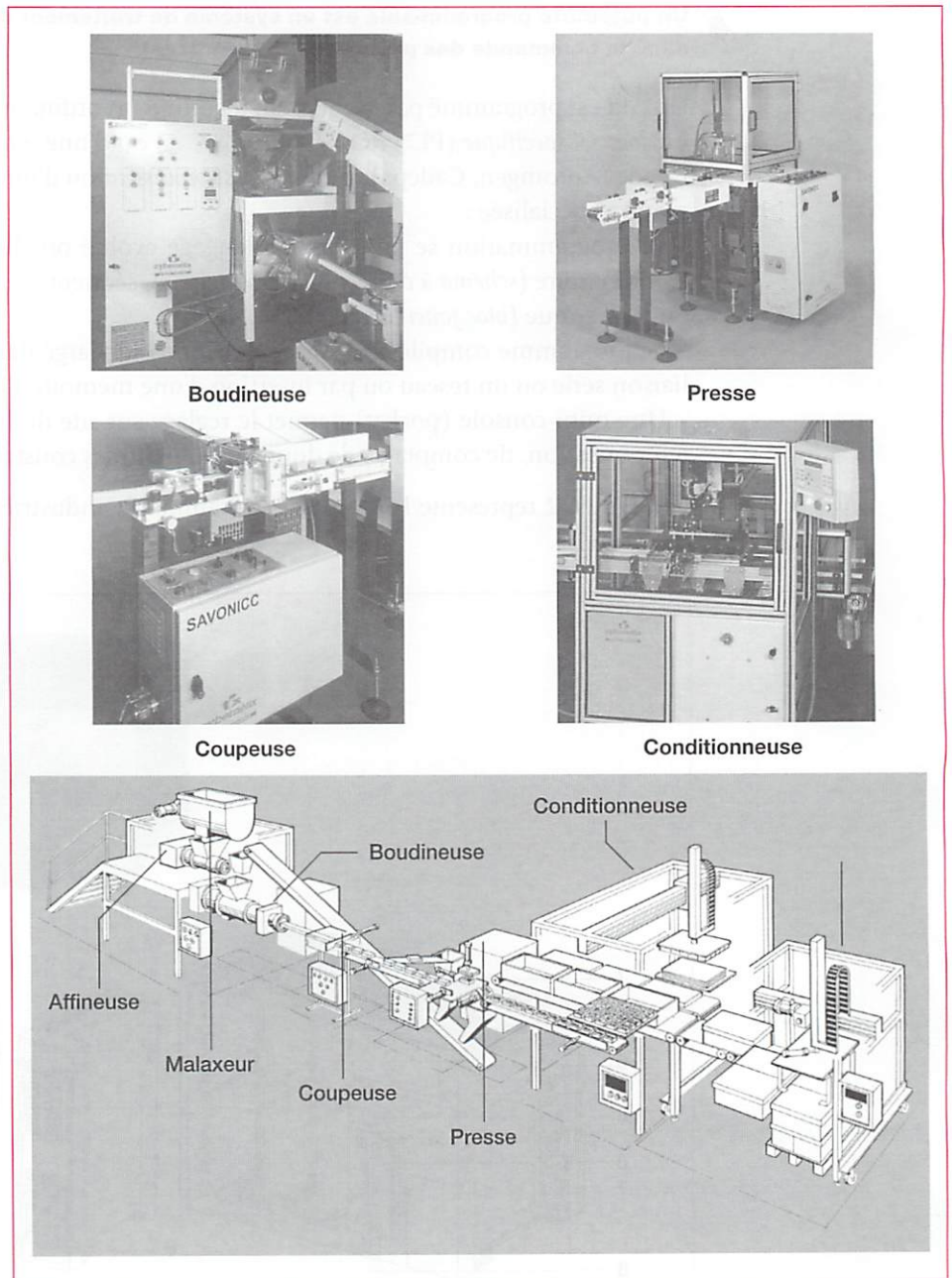


Figure 6.3 Le système Savonicc

Le malaxeur mélange les ingrédients entrants dans la recette : copeaux de savons, huile d'amande douce et parfum. Le mélange homogène est envoyé dans l'affineuse.

L'affineuse constituée d'une vis d'Archimède et d'un couteau rotatif fabrique des granulés de savons qui tombent dans la boudineuse.

La boudineuse est une extrudeuse réglée en température d'où sort un boudin de savon de section carrée.

La coupeuse tranche avec un fil le boudin à la volée pour fabriquer des bondons de savons (parallélépipèdes bruts de savons).



La presse comprime dans un moule refroidi chaque bondon pour lui donner la forme d'une savonnette avec son logo.

Les savonnettes transportées en ligne sur le convoyeur des savonnettes sont positionnées en rangées sur une plate-forme de préparation pour former une couche. Les savonnettes présentant un défaut de poids sont recyclées dans la boudineuse.

Le manipulateur de la conditionneuse équipé d'un préhenseur à ventouses saisit la couche de savonnettes et la positionne dans la caisse. Le manipulateur va chercher une feuille intercalaire et la place au-dessus de la couche emballée. Il recommence plusieurs fois ces opérations jusqu'au remplissage complet. Il amène alors un couvercle sur la caisse qui est évacuée dans le palettiseur.

Le palettiseur empile les caisses en inversant le sens à chaque étage pour former une palette qui est évacuée par un transpalette.

La figure 6.4 montre l'architecture matérielle du système de commande « Savonic » réalisée avec du matériel « Schneider ».

- un automate « TSXMICRO 3721101 » pour la zone boudineuse ;
- deux automates « TSXNANO TSX0731 » utilisés en entrées sorties déportés de l'automate boudineuse ;
- un automate « TSXMICRO 3710128DT1 » pour la zone presse ;
- un automate « TSXPREMIUM 5710M » pour la zone conditionneuse ;
- un automate « TSXMICRO3721001 » pour la zone palettiseur ;
- trois terminaux de dialogue homme/machine « MAGELIS » ;
- un PC de supervision ; un PC de programmation ;
- un réseau « Bus UNI-TELWAY » relie la boudineuse et la presse ;
- un réseau « MODBUS RS 485 » relie les autres zones et la supervision.

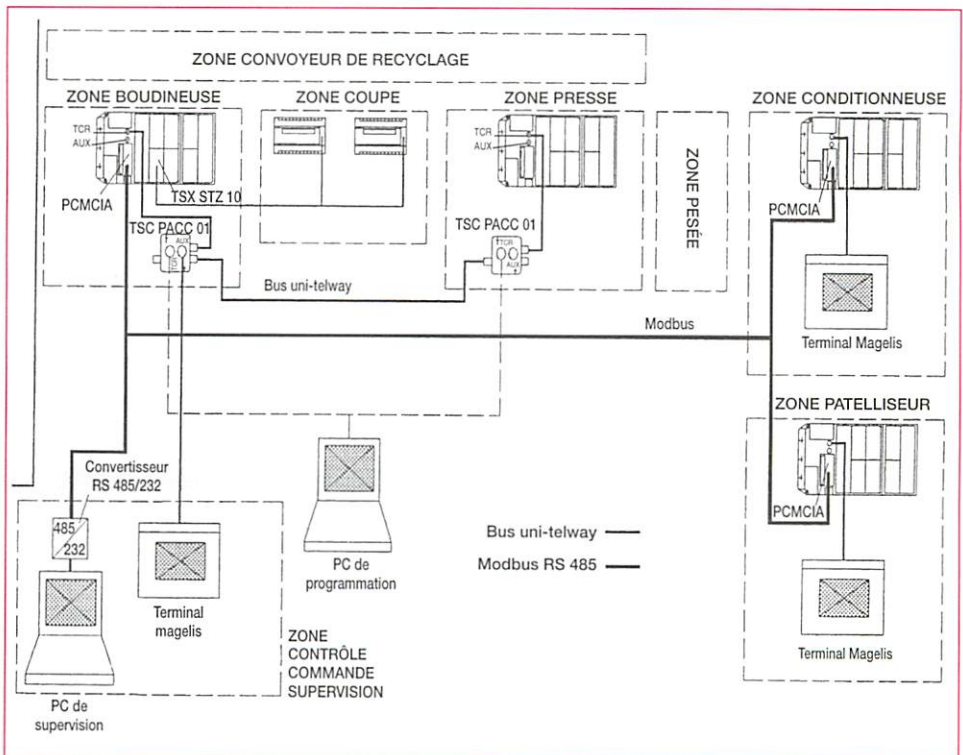


Figure 6.4 Architecture matérielle du système de commande Savonic

### 1.3 Paramètres de configuration

La première étape d'un programme est la configuration de l'automate qui consiste à déplacer les différents composants et définir les paramètres pour obtenir le fonctionnement voulu.

La figure 6.5 montre le *programme de configuration* matérielle de l'automate « PRE-MIUM » de la conditionneuse « Savonicc ».

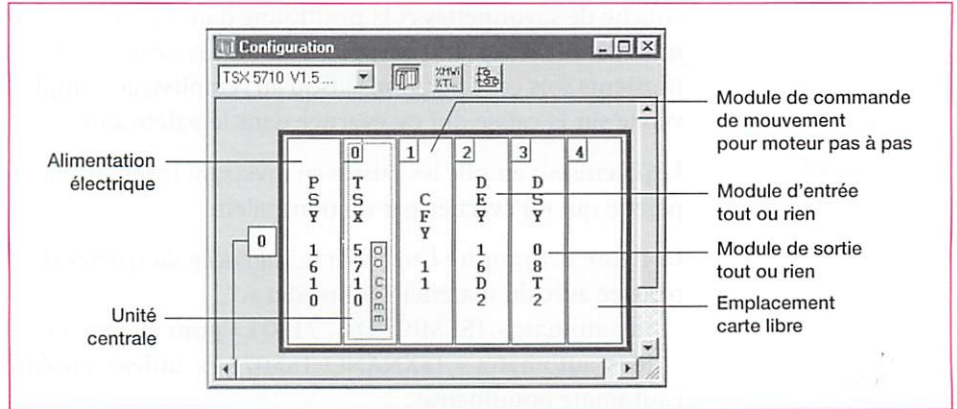


Figure 6.5 Configuration matérielle de l'automate TSX57 de la conditionneuse « Savonicc »

Une alimentation « TSX PSY 1610M » 24 volts/16 watts fournit l'énergie à l'unité centrale.

L'unité centrale équipée du *processeur* « TSX P57 102M » permet le traitement séquentiel et la communication avec les modules de commande d'axe. La prise terminale est reliée à l'ordinateur de programmation. Le module de communication « PcmCIA » permet le dialogue en réseau « MODBUS » avec l'ordinateur dédié à la supervision et les autres automates (fig. 6.4).

Le module de commande et de positionnement d'axe « TSX CFY 11 » pilote, *via* un translateur (interface de puissance), le moteur pas à pas de l'axe numérique du manipulateur.

La carte d'entrées tout ou rien « TSX DEY 16D2 » reçoit les signaux des 16 capteurs de présence et de fin de course.

La carte de 16 sorties tout ou rien statiques « TSX DSY 08T2 » (sorties à transistors) permet le raccordement des préactionneurs (électrovannes et contacteurs).

Chaque composant de l'automate doit être configuré en fonction de l'application. La figure 6.6 montre la configuration de la carte de sorties (définition des paramètres).

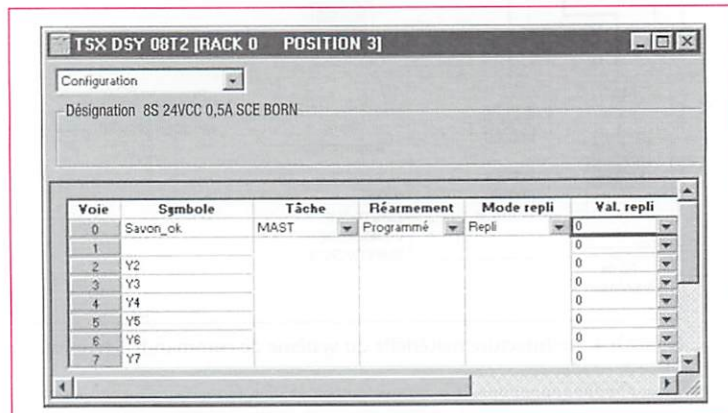


Figure 6.6 Configuration de la carte de sorties



## 1.4 Espace adressable

La mémoire des données est adressable avec des *mnémoniques* propres à l'application ( $y_2, y_3...$ ) ou avec des *adresses absolues* (%Q3.2, %Q3.4...):

- entrées TOR : %Ix,y avec (x = emplacement, y = voie);
- sorties TOR : %Qx,y;
- bits Internes : %Mi ; (i = indice);
- mots Internes : %MBi (octets), %MWi (16 bits), %MDi (32 bits).

### exemple

La figure 6.7 montre une partie de l'adressage (adresses absolues et mnémoniques) des sorties de la « conditionneuse Savonicc ».

Repère	Type	Symbol	Commentaire
%Q3.2	EBOOL	Y2	EV. BLOCAGE BOITE AU REMPLISSAGE
%M3.2.2	WORD		
%I3.3.EPR	BOOL		
%Q3.3	EBOOL	Y3	EV. BLOCAGE BOITE EN ATTENTE
%M3.3.2	WORD		
%I3.4.EPR	BOOL		
%Q3.4	EBOOL	Y4	EV. PREHENSEUR
%M3.4.2	WORD		
%I3.5.EPR	BOOL		
%Q3.5	EBOOL	Y5	EV. POUSSOIR
%M3.5.2	WORD		
%I3.6.EPR	BOOL		
%Q3.6	EBOOL	Y6	EV. VIDE

Figure 6.7 Adressage des sorties de la conditionneuse « Savonicc »

.....

## 1.5 Structure logicielle

Un programme passe par trois phases de développement :

- l'*édition* est la saisie des instructions sources dans un langage évolué graphique ou littéral ;
- la *compilation* est la traduction des programmes source en langage machine (cette phase peut être faite automatiquement par l'atelier logiciel et devenir transparente pour le programmeur) ;
- le *débugage* correspond au contrôle de la validité des instructions et à la mise au point du programme.

### exemple

Un logiciel peut incorporer les trois phases dont les deux dernières sont transparentes.

La figure 6.8 montre l'éditeur du logiciel « Schneider PL7PRO » en langage graphique « Schéma à contacts ou Ladder LD ».

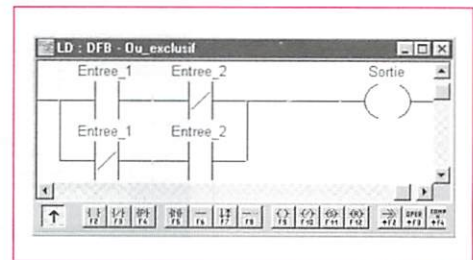


Figure 6.8 Éditeur « Schneider PL7PRO » en ladder (langage à contact)

.....

La compilation et le débogage sont pris en compte au moment de la saisie des instructions.

Certains logiciels de programmation permettent la saisie des programmes en *langage orienté Grafset* (Schneider PL7, Siemens S7Graph,...).

## exemple

La figure 6.9 montre un grafset (étapes, transitions, macroétapes, expansions saisie avec l'éditeur Schneider PL7PRO).

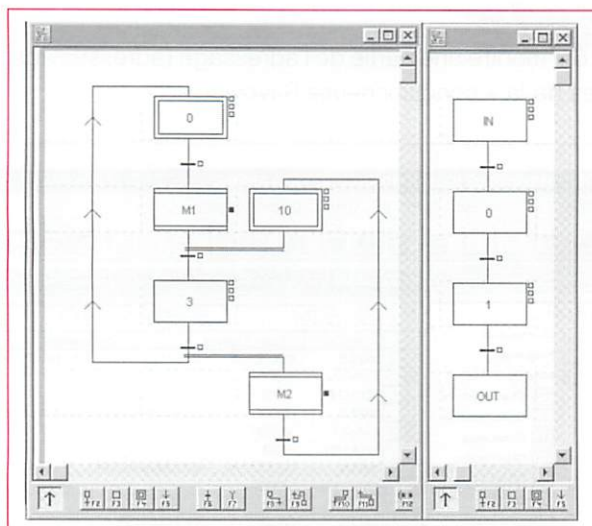


Figure 6.9 Éditeur « Schneider PL7PRO » en langage orienté Grafset



Des logiciels tels que « Cadepa » ou « Automgen » intégrant, en plus de l'éditeur, des compilateurs avec post-processeurs compatibles avec plusieurs marques d'automates permettent la *programmation* sans se soucier du langage automate.

## exemple

La figure 6.10 montre un grafset saisi avec l'atelier « Automgen d'IRAI ».

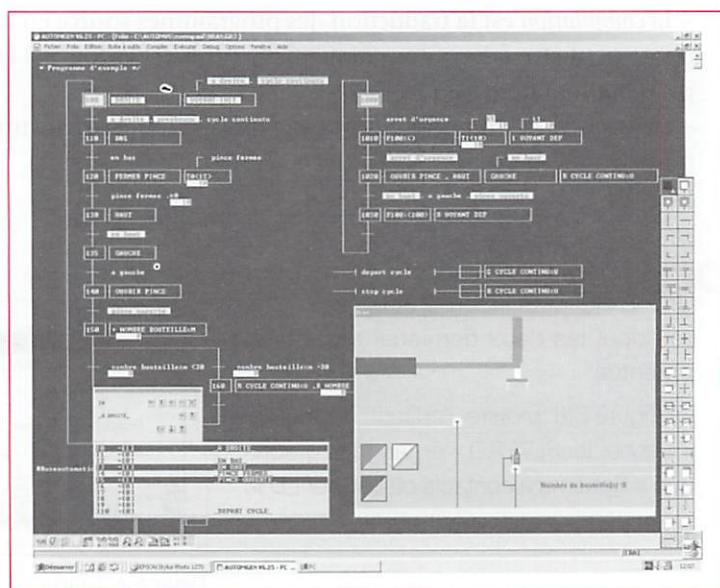


Figure 6.10 Atelier logiciel « Automgen d'IRAI »





Un programme est clair s'il est soigneusement structuré en utilisant des sous-programmes et/ou des *blocs fonctionnels réutilisables*.

## exemple

En encapsulant, c'est-à-dire en faisant du **ou exclusif** de la figure 6.8 un bloc fonctionnel, la fonction définie par le schéma à contacts de la figure 6.8 (ou exclusif à 2 entrées), on crée un bloc fonctionnel utilisateur qui est réutilisé deux fois dans le schéma à contacts de la figure 6.11.

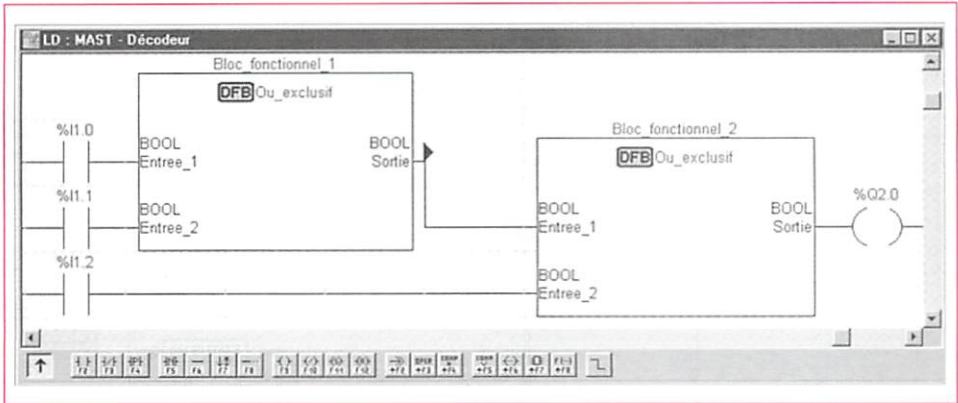


Figure 6.11 Utilisation de blocs fonctionnels créés par l'utilisateur

.....

Des blocs fonctionnels standard sont proposés par le constructeur qui laisse également le choix à l'utilisateur la possibilité d'en élaborer d'autres. On peut créer ainsi une bibliothèque de blocs fonctionnels réutilisable.

## 2 Le microcontrôleur

 **Le microcontrôleur est un circuit intégré programmable de traitement des données qui réunit dans un même boîtier (puce) un microprocesseur, des mémoires, des interfaces de données d'entrées et de sorties numériques et/ou analogiques.**

### 2.1 Structure fonctionnelle et matérielle

La figure 6.12 montre la carte de commande du « chariot motorisé de golf » intégrant un microcontrôleur « Microchip PIC 16C710 ».

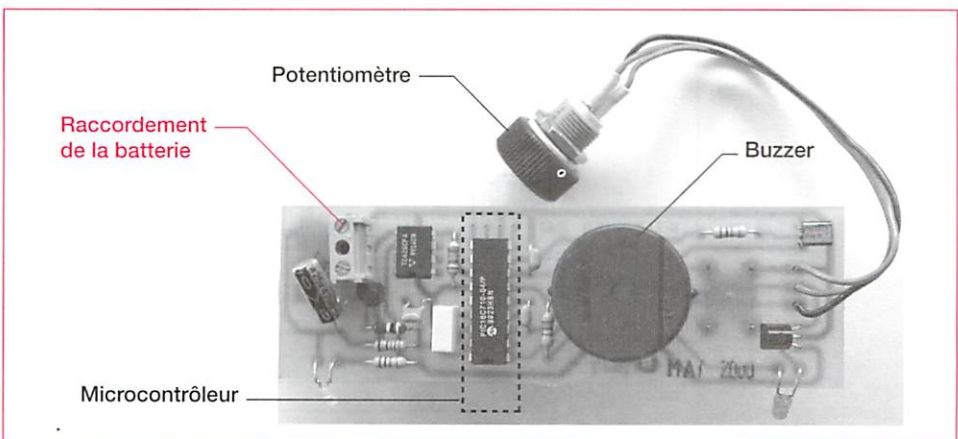


Figure 6.12 Carte de commande microcontrôleur du « chariot de golf motorisé »

La figure 6.13 décrit la structure interne et le brochage du microcontrôleur « PIC16C710 » qui a plusieurs caractéristiques :

- La « Mémoire programme EPROM » (program memory) est effaçable et reprogrammable. Elle a une capacité de 512 mots d'un format de 14 bits.
- La Mémoire données « RAM » (data memory) a une capacité de 36 octets (8 bits).
- L'interface d'entrées/sorties PORTA & PORTB est configurée par le programme d'initialisation (Rax ou RBx entrées/sorties numériques, Anx entrées/sorties analogiques).
- Les 35 instructions de commande sont toutes interprétées en un cycle d'horloge (fréquence maxi = 20 MHz).

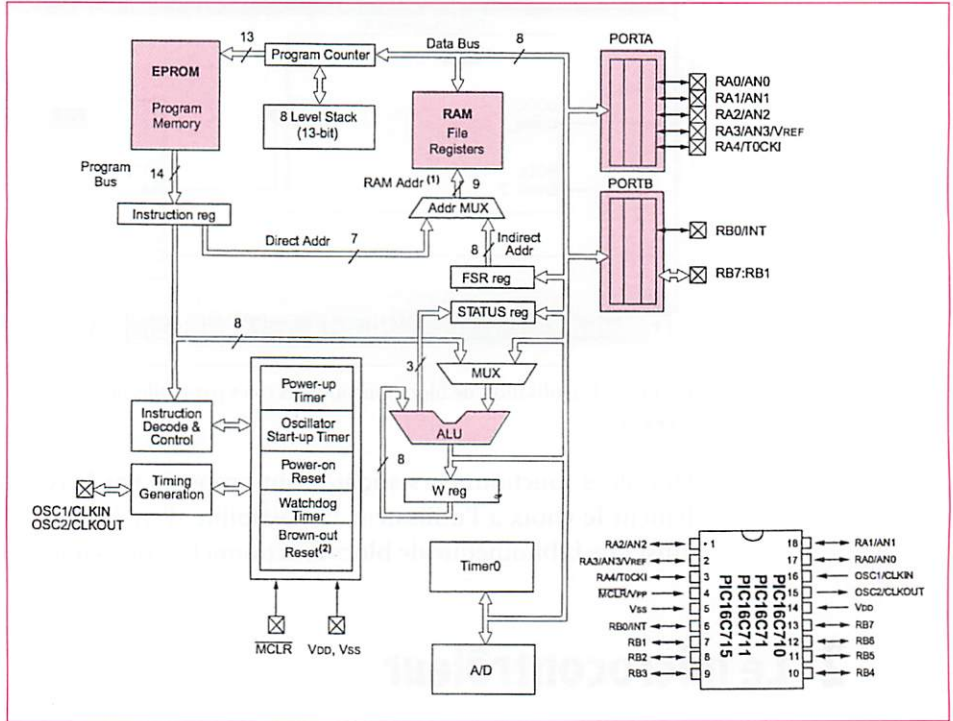


Figure 6.13 Structure interne et brochage du microcontrôleur PIC16C710 (source : Microship Technology Inc.)

La figure 6.14 représente le raccordement des différents constituants matériels de la carte de commande du chariot de golf.

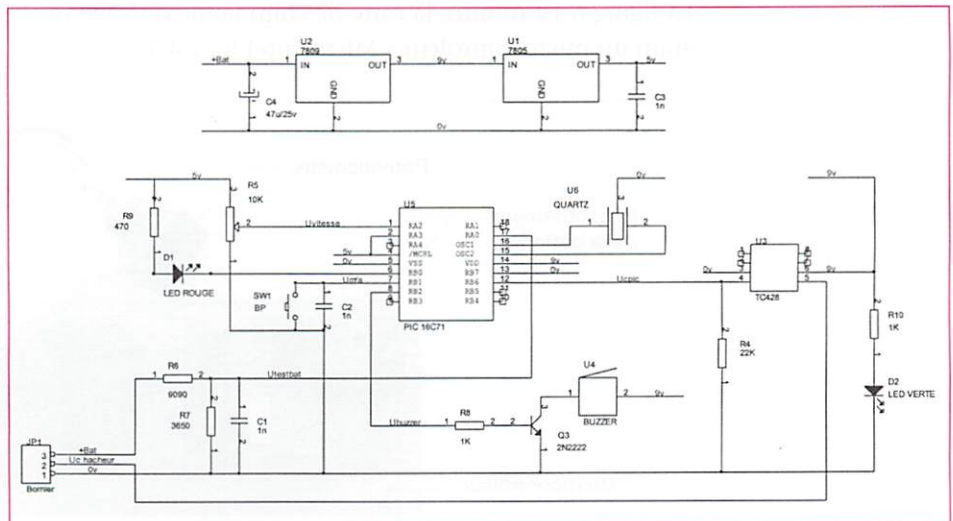


Figure 6.14 Schéma de la carte du chariot de golf à base du « microcontrôleur PIC16C710 »

Le tableau 6.1 décrit l'affectation des entrées et sorties du PORTA et du PORTB du microcontrôleur du chariot de golf.

PORT A					PORT B							
RA4	VREF	AN2	AN1	AN0	RB7	RB6	RB5	RB4	RB3	RB2	RB1	RB0
Non raccordé	Référence 5 volts	Entrée analogique consigne	Non raccordé	Entrée Tension batterie	Référence 0 volt	Sortie analogique Commande	Non raccordé	Non raccordé	Non raccordé	Sortie TOR Commande Buzzer	Entrée TOR Marche/Arrêt	Non raccordé

Tableau 6.1 Affectation des entrées et sorties sur les ports du microcontrôleur du chariot de golf

## 2.2 Structure logicielle

Comme tout système programmable de traitement des données, il est nécessaire d'implémenter le programme de commande propre à chaque utilisation dans la mémoire du microcontrôleur. Le programme source est édité dans un langage évolué (Basic, Pascal, C...) ou en langage assembleur avant d'être compilé par un logiciel spécifique (compilateur) en langage machine. Le programme objet débogué (deboggeur) et testé est ensuite transmis par une liaison série dans la mémoire programme du microcontrôleur.

### exemple

La figure 6.15 décrit le sous-programme en langage assembleur du test de la tension de la batterie du chariot de golf (Algorithme présenté figure 9.37).

```

NMIN      equ    D'160'      ;Ubat = 11v
NMAX      equ    D'176'      ;Ubat = 12v

DUREE1    equ    D'100'      ;durée du bip 100ms dans sous-programme bip
DUREE2    equ    D'100'      ;durée entre 2 bips 100ms

; sous programme de test du niveau de charge de la batterie

testbat

        movlw   B'11000001'   ; horloge RC interne, AN0 sélectionnée
        movwf   ADC ON0      ;
        call    conversionan   ; Appel S/Prog. Conversion Analogique/Numérique
        movwf   NTEST        ; résultat de la conversion dans NTEST

        movlw   NMAX          ;
        subwf   NTEST,W       ; w = NTEST - NMAX
        btfsc  STA TUS,C      ;
        goto   biper1        ; si NTEST > NMAX
        movlw   NMIN          ;
        subwf   NTEST,W       ; w = NTEST - NMIN
        btfsc  STA TUS,C      ;
        goto   biper2        ; si NMAX > NTEST > NMIN
        call    bip           ; Appel S/Prog. Commande Buzzer pendant 0,1 s
biper2   call    bip
biper1   call    bip
        return

```

Figure 6.15 Programme assembleur du test de la tension de la batterie du chariot de golf





Les systèmes de commande programmés ont pratiquement totalement remplacé les systèmes câblés.

Les *automates programmables industriels* (API) sont universellement utilisés pour la commande des processus industriels. La mise en œuvre est simple et rapide (matériel modulaire, raccordement par cartes d'Entrées/Sorties ou coupleurs réseaux de terrain directement reliés aux capteurs et préactionneurs). La programmation à l'aide d'ateliers logiciels est directe à partir de l'analyse logique sous forme de schéma à contacts, de logigrammes, de grafcet ou d'algorigrammes.

Les **microcontrôleurs** trouvent leur utilisation dans les systèmes de grande diffusion.

Le coût matériel est très faible mais la mise en œuvre sur des cartes de circuits électroniques imprimés est plus complexe. Un système à base de microcontrôleur occupe un volume très réduit, il permet une implantation facile avec une faible consommation énergétique. Le développement des programmes se fait à partir d'ateliers logiciels intégrant un éditeur, un compilateur et un débogueur.

**Mots clés :** *adresses absolues, architecture matérielle d'un système, automate programmable (API), bloc fonctionnel, compilateur, débogueur, éditeur, Grafcet, mémoire, mnémoniques, programme de configuration, programme source, schéma à contact.*

## exercices

### EXERCICE 1

Caractéristiques d'un automate programmable

À partir du catalogue constructeur « Contrôle industriel Schneider », rechercher les caractéristiques principales de l'automate pilotant la conditionneuse « Savonicc » dont la configuration est donnée à la figure 6.4 ;

1. Puissances et tensions disponibles pour le module alimentation.
2. Capacité entrée/sortie, mémoire intégrée et mémoire avec extension, nombre de coupleurs et de bus réseaux pour le processeur.
3. Tension, nature du courant, nombre de voies, type de raccordement pour les modules d'entrées/sorties « TOR ».
4. Nombre d'axes, raccordement, type de translateur pour le module de mouvement pour moteur pas à pas.

### EXERCICE 2

Caractéristiques d'un microcontrôleur

À partir du schéma de la carte à microcontrôleur de commande du chariot de golf figure 6.14.

1. Identifier les différents constituants matériels en précisant leur fonction technique.
2. Déterminer le type « TOR » ou « analogique » de chaque entrée ou sortie raccordée.
3. Donner les caractéristiques principales du microcontrôleur « microchip PIC16C710 » (documentation disponible sur Internet <http://www.microchip.com>).

### EXERCICE 3

Modifier une spécification comportementale

- Modifier le sous-programme assembleur du test de la batterie du chariot de golf figure 6.15 (algorigramme (fig. 9.34)) pour que le système fasse au démarrage uniquement deux bips de 0,3 seconde espacés de 0,2 seconde quand la tension est inférieure à un minimum de 11,5 volts.

# 7

# Communiquer les informations

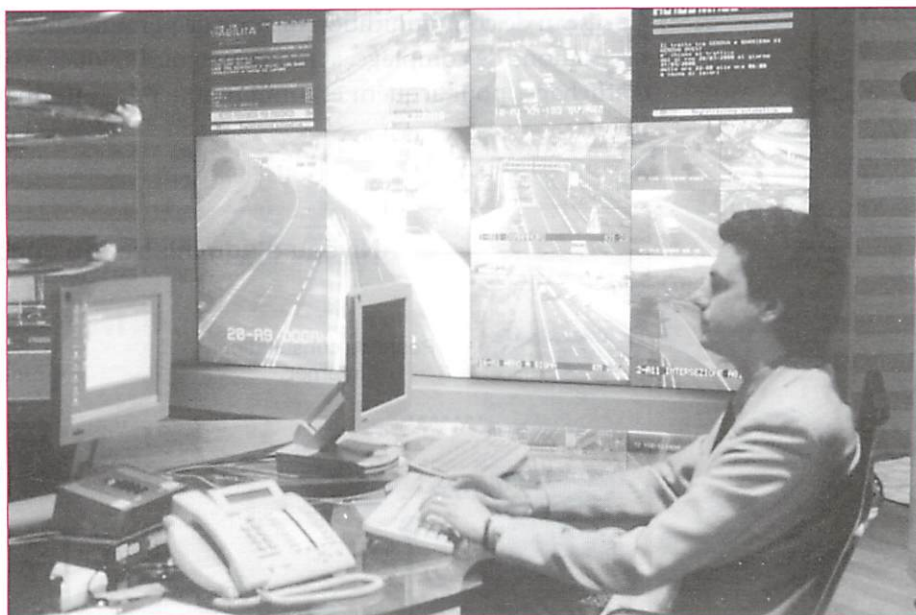


Figure 7.1 Centre de gestion d'un réseau autoroutier

Pour communiquer avec la machine, l'homme dispose de périphériques de dialogues tels que claviers, écrans, afficheurs, imprimantes, scanners,...

La communication entre les machines et, au-delà, entre les hommes a pris un nouvel essor grâce à la mise en place de réseaux de communications informatiques : le réseau local pour une communication des informations dans le cadre d'un environnement restreint, le réseau étendu pour une communication vers le monde extérieur.

## Compétences

Un système de dialogue et de communication étant à disposition et/ou défini par un dossier, la documentation technique étant fournie :

- Identifier la nature de l'information à communiquer.
- Reconnaître le type d'interface d'E/S.

En présence de postes équipés d'une carte réseau, une procédure détaillée de mise en œuvre d'un réseau local étant fournie :

- Établir les liaisons physiques entre les différents postes et les périphériques.
- Configurer les logiciels de façon à établir la communication.

En présence d'un poste d'accès au réseau internet :

- Énoncer d'un point de vue utilisateur, les éléments caractéristiques du réseau (architectures matérielles, services...).
- Paramétrer une suite de protocole TCP-IP.



# 1 Présentation générale du système de gestion « temps réel » du réseau autoroutier français

## 1.1 Architecture générale du système

Sur une autoroute, le moindre incident, le moindre ralentissement peut entraîner des perturbations importantes pour la sécurité et le confort des automobilistes.

Pour répondre aux attentes des utilisateurs, les 9 sociétés gérant le réseau autoroutier français ont mis en place un réseau de communication permettant de gérer le trafic en temps réel et en tout point de ce réseau (fig. 7.2).

Ce réseau de communication dispose de périphériques performants tels que caméras, stations de comptage, stations météorologiques, stations de pesage, panneaux d'affichages pour acquérir et communiquer des informations et ainsi réguler le trafic.

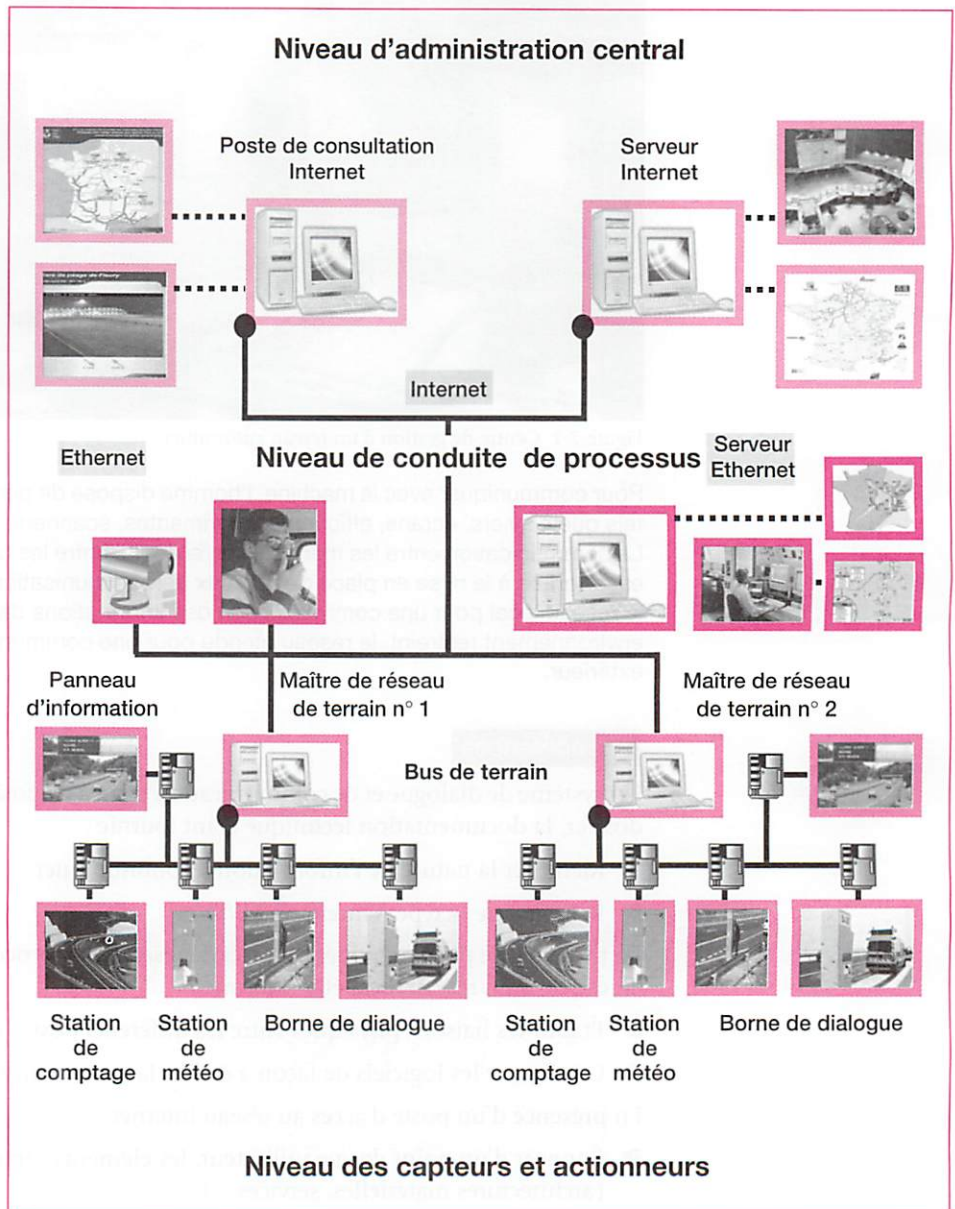


Figure 7.2 Architecture générale du système de gestion « temps réel » du réseau autoroutier français



L'architecture générale de ce système met en évidence trois niveaux de commande et de contrôle.

– Le **niveau d'administration central**. Les décisions reposent sur une chaîne de commandement organisée en réseau. À partir d'une vision globale de la situation courante du réseau autoroutier, la gestion du trafic consiste à répartir de la meilleure façon les flux de circulation grâce au maillage autoroutier.

Le média de communication de l'information est, dans l'exemple présenté, le réseau étendu *internet*.

– Le **niveau de conduite de processus**. Les informations sont collectées, analysées, centralisées, pour être ensuite transmises au niveau supérieur. Les informations sont traitées en « temps réel », le volume de données échangées se situe dans la gamme des méga-octets.

Le média de communication est, dans l'exemple présenté, le réseau *ethernet*.

– Le **niveau des actionneurs et des capteurs**. C'est la base de la pyramide. Les capteurs et actionneurs sont reliés dans l'exemple par un *bus* ou *réseau de terrain* afin de simplifier et minimiser le câblage. La quantité de données requises peut être faible, mais la vitesse de transmission nécessaire est, elle, très élevée.

## 1.2 Les éléments constitutifs de la chaîne d'information

La collecte des données de contrôle relatives au système est réalisée grâce à un réseau de communication par bus de terrain reliant entre eux les différents constituants de la chaîne d'information.

Les informations sont communiquées au poste maître de réseau de terrain qui, après traitement, les communique au PC de supervision *via* le réseau ethernet (fig. 7.2).

L'utilisateur du réseau autoroutier sera informé de la situation par les panneaux d'informations tout au long de son parcours.

Les constituants de dialogue et de communication principaux de ce système effectuent plusieurs opérations : déterminer le trafic, collecter des informations, dialoguer avec les usagers et leur communiquer les informations.

### 1.2.1 Déterminer le trafic en différents points du réseau

240 stations de comptage des usagers sont disposées environ tous les 20 kilomètres, ainsi qu'aux gares d'entrée et sortie de péages.

Elles permettent de compter les véhicules. Les solutions constructives associées à cette fonction sont multiples, on peut citer la boucle de détection magnétique, ou la caméra (fig. 7.3).



Figure 7.3 Caméra de comptage

### 1.2.2 Collecter les conditions météorologiques en des points stratégiques du réseau

78 stations météorologiques informent en « temps réel » des conditions climatiques. Chaque station dispose de capteurs de niveau d'eau (pluviomètre), de température (thermomètre), de taux d'humidité (hygromètre) ainsi que d'une girouette/anémomètre indiquant à tout instant la vitesse et la direction du vent (fig. 7.4).

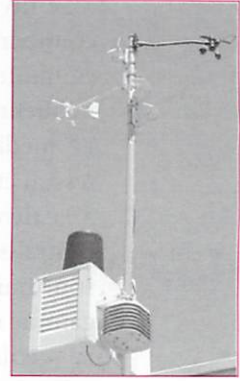


Figure 7.4 Station météorologique

### 1.2.3 Dialoguer avec les usagers du réseau

Sur le réseau autoroutier français, l'utilisateur dispose de bornes d'appel réparties tous les kilomètres environ (fig. 7.5).

Ces bornes permettent d'établir un dialogue avec le poste central de conduite en charge du tronçon autoroutier concerné.



Figure 7.5 Borne d'appel

### 1.2.4 Communiquer les informations aux usagers du réseau

Les usagers sont informés tout au long du réseau autoroutier par des panneaux d'affichage gérés (fig. 7.6) depuis le poste de conduite.

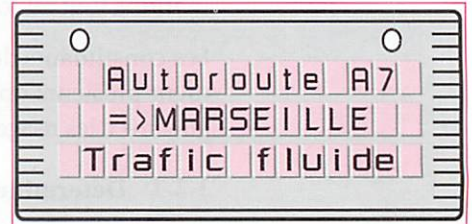


Figure 7.6 Panneau d'affichage

## 2 Les périphériques



**Les périphériques représentent les organes de dialogue entre la machine et le monde extérieur identifié par l'homme ou par une autre machine.**

**Ils servent à stocker, à entrer ou à sortir des informations.**

Le terme de périphérique englobe donc les unités de stockage de données (mémoires, disques durs, disques compacts...), mais aussi les constituants électroniques ou électromécaniques destinés à favoriser le dialogue entre l'homme et la machine, ou entre machines (claviers, afficheurs, écrans, imprimantes, traceurs...).

Sous le terme de machines, on comprend, en sciences de l'ingénieur, tous les systèmes de traitement de l'information tels qu'ordinateurs, automates programmables ou les cartes électroniques à base de microcontrôleurs.



## 2.1 Dialogue homme/machine

L'homme dispose de constituants matériels et logiciels pour dialoguer avec la machine, ce dialogue peut être proche ou distant.

### exemple

Dans le système de gestion du réseau autoroutier français présenté, on distingue au niveau du poste de conduite, des écrans de supervision (fig. 7.7) permettant à l'opérateur d'avoir une vision globale du réseau.

À partir de périphériques tels que claviers, écrans ou souris, l'opérateur peut ainsi dialoguer *via* le réseau internet avec le niveau d'administration central.

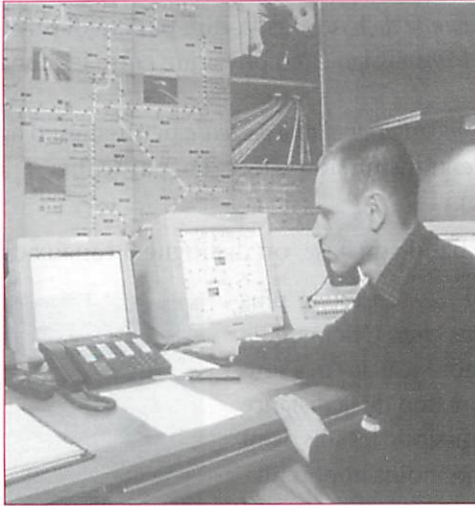


Figure 7.7 Points de dialogues répartis sur le réseau autoroutier



### 2.1.1 Nature des informations échangées entre l'homme et la machine

Les périphériques de dialogue dont dispose l'homme ont pour fonction de faciliter la communication (touches d'un clavier alphanumérique, transmission de messages sous forme textuelle ou sonore), mais également de *codifier l'information* sous forme numérique afin de la rendre compréhensible par la machine (fig. 7.8).

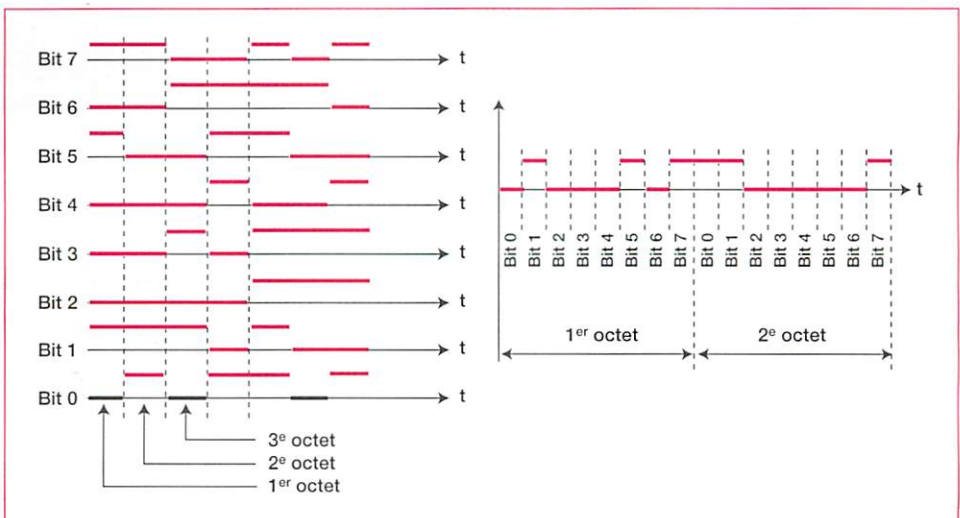


Figure 7.8 Transmission numérique parallèle et série de l'information (transmission par octet)

Suivant la nature du périphérique, et son éloignement par rapport à la machine, on utilise 2 modes de transmission.

- Le mode de *transmission numérique parallèle* pour un éloignement inférieur à 2 mètres.
- Le mode de *transmission numérique série synchrone ou asynchrone* pour un éloignement supérieur à quelques mètres.

Dans le mode de transmission numérique série, il peut s'agir d'une liaison série « classique » c'est-à-dire concernant des transmissions sur quelques dizaines de mètres, mais aussi la mise en *réseau* ou en *bus*.

### 2.1.2 Transmission d'une information numérique à distance

Le mode série est le standard pour des transmissions à distance, on dispose de deux méthodes :

- la *transmission en bande de base*, c'est-à-dire par envoi direct du signal numérique série sur le *canal de transmission* (lien physique entre les constituants concernés par la transmission) ;
- la *transmission par modulation d'une porteuse* permettant d'adapter le signal à transmettre au canal de transmission grâce en particulier à un modem (Modulateur/Démodulateur).

En transmission en bande de base, on distingue 3 canaux de transmission.

Le *câble bifilaire* (fig. 7.9) : c'est le plus simple, donc le moins cher. L'élément de base est la paire torsadée réalisée très souvent en cuivre. En fonction de la distance du canal de transmission, les fils sont d'un diamètre plus ou moins important.

La **bande passante** obtenue avec ce type de canal est faible, le **débit maximal possible** est de quelques Mbits/s sur 100 mètres maximum.

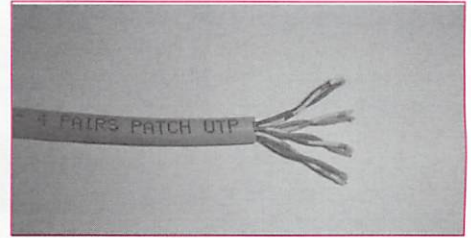


Figure 7.9 Câble composé de 4 paires torsadées

Le *câble coaxial* (fig. 7.10), composé de deux conducteurs concentriques séparés par un isolant. Il utilise uniquement des prises de type BNC.

La **bande passante** obtenue avec ce type de canal est importante, le **débit maximal possible** est de quelques centaines de Mbits/s sur 500 mètres maximum.

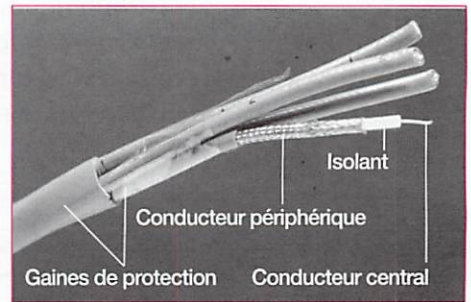


Figure 7.10 Câble coaxial

La  *fibre optique* (fig. 7.11), est le canal de transmission le plus cher. Elle est composée d'un cylindre de verre mince (le noyau) qui est entouré d'une couche concentrique également de verre (gaine optique). L'ensemble est entouré d'une gaine protectrice.

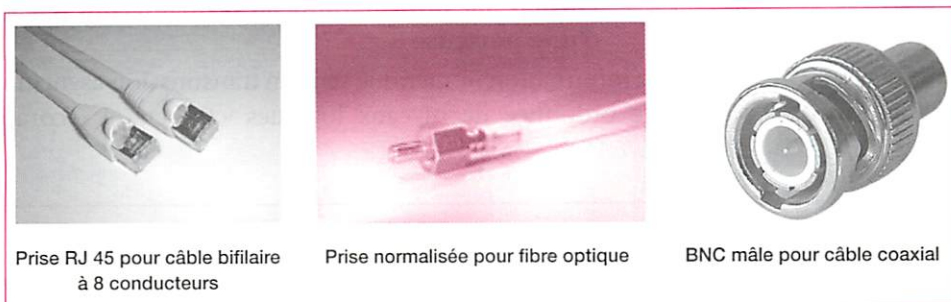


Figure 7.11 Fibre optique à deux conducteurs

La **bande passante** obtenue avec ce type de canal est importante, le **débit maximal possible** est de quelques Gbits/s sur 2 000 mètres maximum.

Ces trois canaux de transmission nécessitent une connectique adaptée (fig. 7.12).





Prise RJ 45 pour câble bifilaire à 8 conducteurs

Prise normalisée pour fibre optique

BNC mâle pour câble coaxial

Figure 7.12 Connecteurs normalisés

### 2.1.3 Format de transmission des informations en bande de base

 **Le format de transmission est la représentation physique du signal émis sur le canal de transmission (c'est le chronogramme observé sur un oscillogramme).**

Le tableau 7.1 résume les différentes normes en application pour une transmission série.

EIA CCITT	RS232 V24/V28	RS422 V11/X27	RS485 V11/X27
<b>Type d'interface</b>	Unipolaire	Différentiel	Différentiel
<b>Niveaux</b>	± 25 V max	± 5 V	± 5 V
<b>Sensibilité</b>	± 3 V	± 0,2 V	± 0,2 V
<b>Distance</b>	10 à 20 m	1 200 m	1 200 m
<b>Débit maximal</b>	19 200 bauds	10 Mbauds	10 Mbauds
<b>Multipoint</b>	non	oui	oui
<b>Nombre d'émetteurs</b>	1	1	32
<b>Nombre de récepteurs</b>	1	10	32

Tableau 7.1 Différentes normes pour une transmission série

Les caractéristiques électriques représentatives des niveaux logiques « 0 » et « 1 » diffèrent suivant la norme. Nous avons déjà présenté dans cet ouvrage les niveaux de tension autorisés dans les normes RS232, RS422, et RS485 (chapitre 5/ paragraphes 5.5.1 et 5.5.2).

On dispose d'interfaces permettant de changer de norme, on distingue particulièrement les convertisseurs RS232/RS485 (fig. 7.13), ainsi que l'interface au bus PCI des ordinateurs disposant d'une sortie RS485 (fig. 7.14).

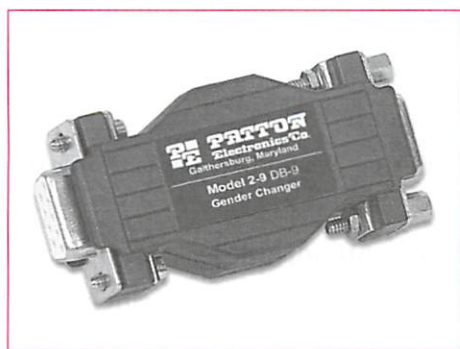


Figure 7.13 Convertisseur RS232/RS485 avec connecteurs BB9 (RS232) et DB15 (RS485)

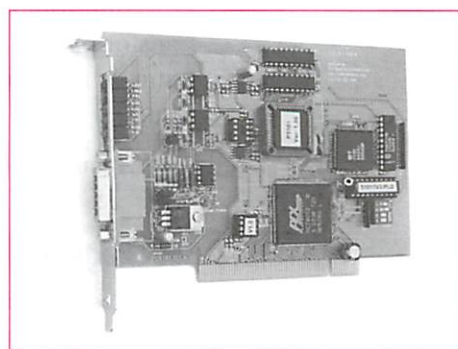


Figure 7.14 Carte interface au bus PCI avec sortie RS485

### 2.1.4 Format des informations en transmission par modulation d'une porteuse

Une information numérique série en transmission asynchrone, est constituée d'une suite ordonnée de niveaux logiques « 0 » et « 1 » composant ainsi une *trame* (fig. 7.15).

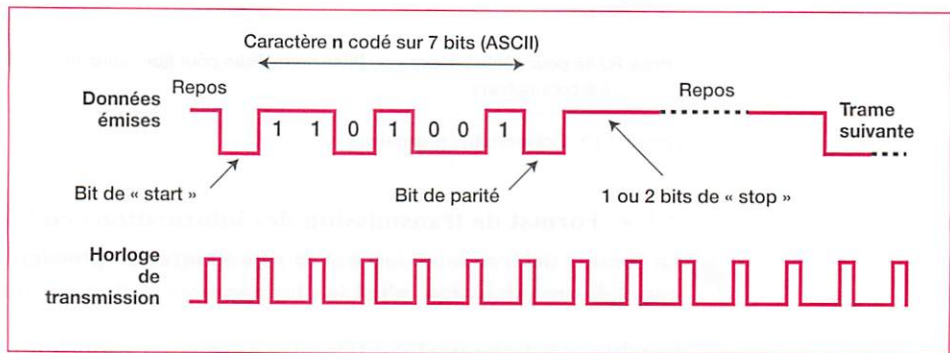


Figure 7.15 Constitution d'une trame en transmission série asynchrone

Le signal électrique émis sur le canal de transmission va se propager à travers un milieu possédant des caractéristiques électriques et mécaniques qui lui sont propres (câble coaxial, paires torsadées et fibre optique) mais aussi par voie hertzienne (liaisons non filaire).

Afin de minimiser les distorsions induites lors de la transmission, il est nécessaire de coder l'information à transmettre.

Les codages de trame les plus utilisés sont les *codes RZ* (Return to Zéro), *NRZ* (Non Return to Zéro) et le *codage Manchester* encore nommé biphasé (fig. 7.16).

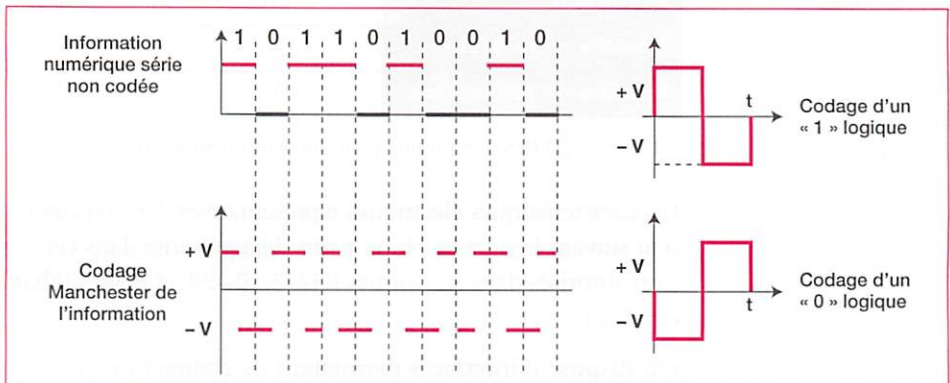


Figure 7.16 Codage Manchester d'une information numérique série

Le codage Manchester est le plus utilisé, il présente l'avantage d'avoir une tension moyenne toujours nulle (transmission de l'information facilitée au travers des transformateurs de ligne mis en œuvre dans un modem). Ce codage permet en outre de récupérer l'horloge de transmission par détection des « fronts » du signal reçu.

Les niveaux de tension  $+V$  et  $-V$  sont fixés par la norme de transmission.

## 2.2 Stockage des données numériques

Dans les systèmes de traitement de l'information, qu'il s'agisse d'ordinateurs, d'automates programmables ou de cartes électroniques à microcontrôleurs, il devient indispensable de disposer de constituants de stockage numérique de données.



Dans la suite de ce paragraphe, on s'intéresse au stockage de données par procédé magnétique et optique.

### 2.2.1 Stockage de données numériques par procédé magnétique

On distingue deux types de support magnétiques : les *disques durs* qui sont le plus souvent fixés dans la machine, et les *disques souples* (disquettes) qui s'utilisent avec un lecteur et qui sont amovibles.

 **Dans les deux cas, l'enregistrement et la lecture des données font appel à des techniques similaires à celles qui sont utilisées en audio ou en vidéo (bandes magnétiques).**

Le critère de choix entre ces deux supports est avant tout la capacité de stockage des données et la transportabilité ; on dispose actuellement de lecteur de disquettes amovibles de forte capacité (lecteurs ZIP).

Le disque dur est en fait un ensemble de disques empilés conformément à la figure 7.17.

#### – Principe de fonctionnement

Chaque disque est recouvert d'un matériau magnétique permanent et tourne à vitesse constante devant un transducteur fixe appelé « tête de lecture » (fig. 7.17).

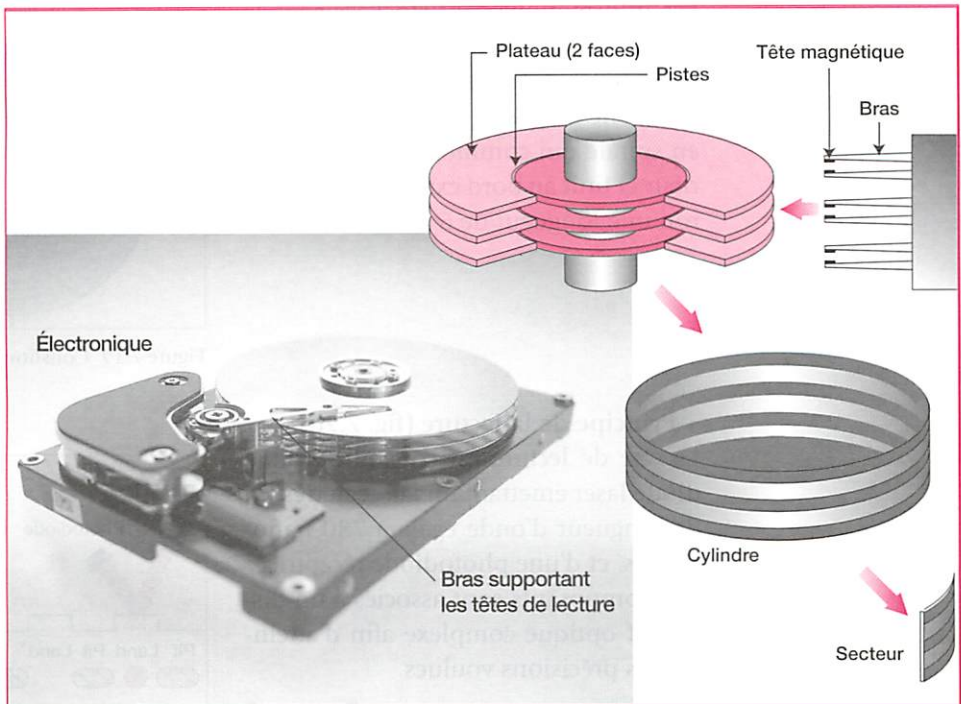


Figure 7.17 Le disque dur, présentation et constitution

La tête magnétique comporte un noyau réalisé en matériau magnétique doux (pas de rémanence) supportant un bobinage.

À l'écriture, un courant électrique porteur de l'information est envoyé dans ce bobinage, induisant alors un champ magnétique reçu par le disque.

À la lecture, le bobinage est le siège d'une force électromotrice induite par le disque se déplaçant devant sa tête de lecture.

#### – Organisation des données sur un disque (fig. 7.18)

Chaque face d'un disque dispose d'une tête de lecture, une face est constituée d'un certain nombre de pistes concentriques. Chaque piste est subdivisée en secteur. Chaque secteur permet de stocker 512 octets.

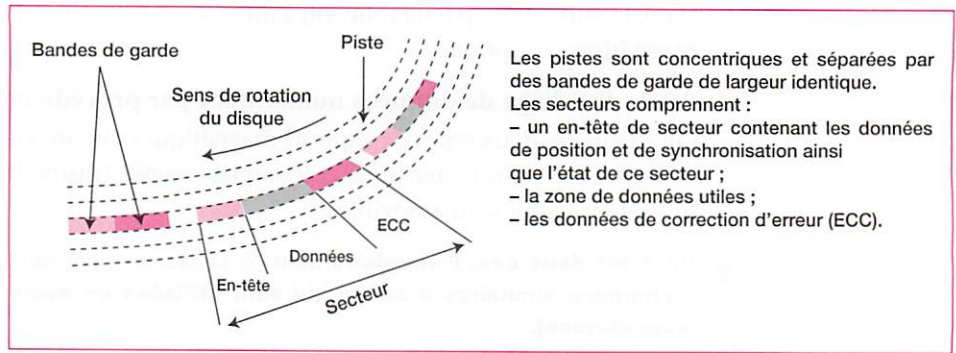


Figure 7.18 Organisation des données sur un disque

### 2.2.2 Stockage de données numériques par procédé optique



**Les informations sont stockées par un procédé optique sur des disques de 12 centimètres de diamètre en matière plastique recouverts d'un vernis protecteur.**

**Le cédérom (disque compact à lecture seule) est le support de base de ce type de stockage de données, il permet de stocker jusqu'à 700 méga-octets d'informations.**

- Constitution d'un disque compact (fig. 7.19)

Les informations sont stockées sous la forme de « pits » (cuvettes de 0,1 mm de largeur) et de « lands » (plats).

Le CD ne dispose que d'une seule piste en spirale qui commence au bord intérieur et finit au bord extérieur, soit environ une longueur de 6 km.

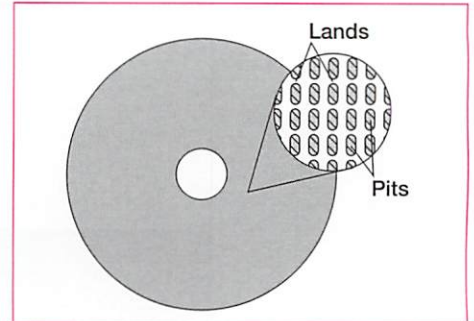


Figure 7.19 Constitution d'un cédérom

- Principe de la lecture (fig. 7.20)

La tête de lecture est constituée d'une diode laser émettant un faisceau très fin de longueur d'onde égale à 780 nanomètres, et d'une photodiode réceptrice. Ces composants sont associés à un dispositif optique complexe afin d'atteindre les précisions voulues.

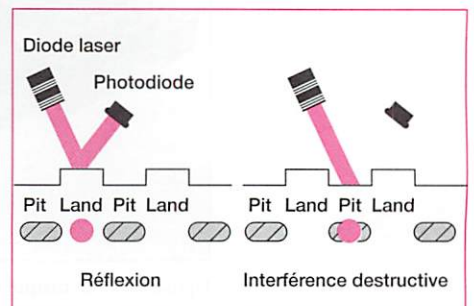


Figure 7.20 La lecture des données sur un CD

Lors de la détection d'un « land », la lumière émise par le laser est réfléchiée en totalité par la photodiode qui transmet alors un signal électrique à la carte électronique de décodage.

Lors de la détection d'un « pit », le rayon laser est réfléchi en partie par la surface du disque et en partie par le fond du « pit ». La lumière réfléchiée par le fond du « pit » parcourt une distance supérieure à la distance parcourue par celle réfléchiée par le « land ». L'écart entre les deux trajets correspond exactement au 1/4 de la longueur d'onde du rayon laser. Dans ces conditions, par interférence, les deux rayons s'annulent et la photodiode ne détecte aucune information lumineuse.



La gravure des données (enregistrement) est réalisée par la diode laser qui par effet thermique modifie la structure plastique en surface et crée donc les cuvettes ou « pits ».

– Évolutions du cédérom vers le DVD (disque à lecture et écriture)

Afin d'augmenter les capacités de stockage, on agit sur deux paramètres :

- la longueur d'onde du rayon laser (actuellement 635 nm) ;
- l'ouverture des objectifs de focalisation.

Ceci a conduit à diminuer l'entraxe des spires (de 1,6 mm à 0,74 mm) et à diminuer la longueur minimale des cuvettes (de 0,8 mm à 0,4 mm). Il en résulte une capacité de stockage 4 à 5 fois plus importante. Avec ce gain, combiné à des méthodes de compression de données, on arrive actuellement à des capacités de stockage de 4,7 giga-octets pour le DVD.

## 3 Les réseaux

### 3.1 Fonction globale d'un réseau



**Un réseau est un ensemble de constituants électroniques et informatiques (ordinateurs, automates programmables, cartes électroniques programmables, constituants d'acquisition ou de commande informatisés...) interconnectés, qui communiquent pour pouvoir partager des informations (voix, données, images...).**

Le terme « réseau » par extension est très souvent employé pour désigner un ensemble de machines associé à l'infrastructure informatique utilisée, c'est le cas par exemple du *réseau internet*, ou du *réseau ethernet*.

Le *réseau local*, représenté figure 7.21 (LAN : Local Area Network), correspond à une communication en réseau entre machines sur un périmètre réduit (laboratoire, bâtiment, ensemble de bâtiments).

Le *réseau étendu* (WAN : Wide Area Network) correspond à une communication en réseau entre machines distantes d'au moins un kilomètre. On distingue les réseaux étendus privés, et les réseaux étendus publics (internet est un réseau étendu public).

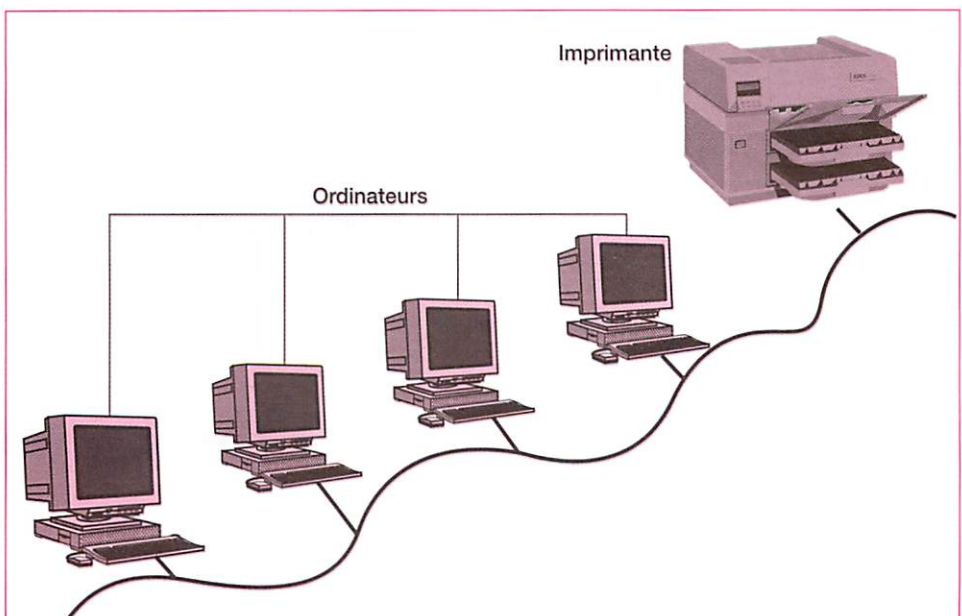


Figure 7.21 Vision générale d'un réseau local (réseau de laboratoires par exemple)

## 3.2 Architecture matérielle et logicielle d'un réseau

Pour constituer un réseau, il faut mettre en œuvre un certain nombre de composants matériels et logiciels.

Il y a lieu de distinguer, les *réseaux postes à postes* dans le cas d'une architecture matérielle disposant de peu de machines, et les *réseaux organisés* autour de *serveurs* et devant présenter un certain degré de sécurité.

– les *réseaux poste à poste* : dans ce type de réseau, la gestion logicielle consiste à partager des imprimantes et des fichiers. La sécurité et les droits d'accès sont fixés sur chacune des machines. Une machine plus performante fait office de serveur en offrant plus de ressources au réseau. On peut citer Windows pour workgroup, Windows 95...

– les *réseaux organisés autour de serveurs* : ils sont employés pour des structures comportant un grand nombre de machines ou relevant d'une sécurité importante. Les ressources sont centralisées sur un ou plusieurs serveurs. On peut citer les systèmes d'exploitation Novell, ou Windows NT...

### 3.2.1 Les composants matériels d'un réseau

Un réseau devient accessible à toute machine si celle-ci dispose d'interfaces et du système physique de câblage. Il s'agit des *canaux de transmission* de l'information, et des *organes de connexions et d'interconnexions* des machines.

 **Les canaux de transmission ont pour fonction d'acheminer les informations d'une machine à l'autre le plus rapidement possible.**

On utilise généralement les trois canaux déjà présentés au paragraphe 7.2.1.2, à savoir : le câble bifilaire, le câble coaxial, et la fibre optique.

 **Pour constituer un réseau, les différentes machines sont reliées aux canaux de transmission par des interfaces de connexion.**

Dans le cas d'un réseau local, on utilise une électronique de communication directement implantée dans la machine (carte réseau, figure 7.22) pour PC ou API, ou directement intégrée dans la structure micro-électronique (cas des capteurs intelligents ou de certains actionneurs).

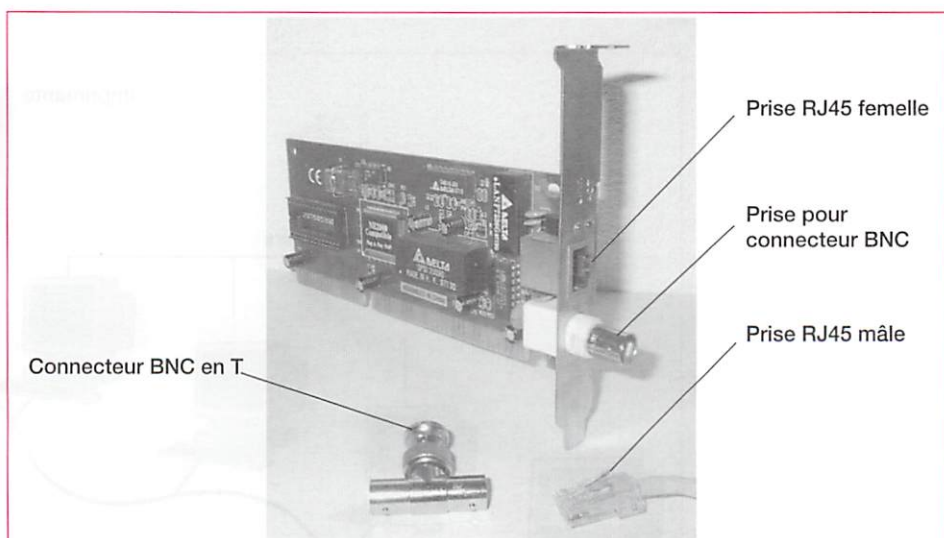


Figure 7.22 Carte réseau ethernet pour PC

 **Les interfaces d'interconnexion permettent de relier une machine ou un ensemble de machines (organisées en réseau local), à une autre machine ou à un autre réseau local, via un canal de transmission.**



Il existe différentes interfaces d'interconnexion :

- Le *modem* (fig. 7.23) est l'interface de communication lorsque la ligne téléphonique est utilisée.
- Le *routeur* doit être utilisé lorsque la communication s'établit au travers d'une ligne spécialisée (LS des PTT ou ADSL) ou par le média de communication appelé « câble ».
- Le *hub* (fig. 7.24) a une fonction essentiellement électrique. Le hub/répétiteur positionné entre deux tronçons d'un réseau local a pour fonction de régénérer le signal transmis en le reconditionnant (amplification et mise en forme). Le hub/concentrateur est un *répétiteur multipoint*, inséré dans un réseau local, il permet son extension à moindre coût.
- Le *switch* est un hub/concentrateur « intelligent ». Outre les fonctions du hub, il assure la gestion des postes en communication.

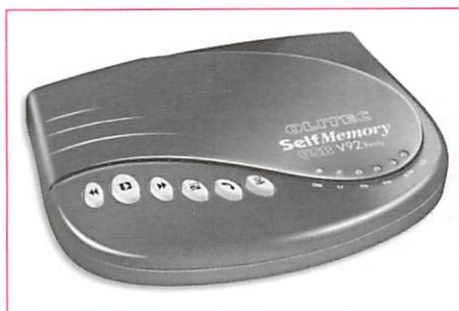


Figure 7.23 Modem

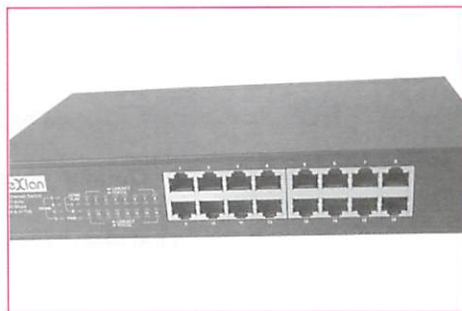



Figure 7.24 Hub/concentrateur

### 3.2.2 Les composants logiciels d'un réseau

Afin d'établir le réseau au niveau logique, il est nécessaire de mettre en place dans la machine un certain nombre de logiciels qui dépend de l'importance du réseau (réseau postes à postes ou réseaux organisés).


Il s'agit en particulier des *logiciels réseau*, des *systèmes d'exploitation* en réseau et des *protocoles de communication*.

 **Les logiciels réseau.** Dans le cas d'un réseau internet par exemple, ces logiciels ont pour rôle de traduire les données traitées par la machine (fichiers, documents Word...) en informations adaptées au protocole de communication utilisé. Les navigateurs (Internet Explorer, Netscape...) sont des logiciels pour réseaux locaux ou étendus.

Les systèmes d'exploitation réseau. Le système d'exploitation de la machine intégrée au réseau doit disposer de fonctionnalités permettant à cette machine d'utiliser les ressources des autres machines du réseau.

 **Ce système d'exploitation réseau gère les accès aux données par identification des utilisateurs qui possèdent des droits, des permissions et des privilèges.**

On peut citer le système d'exploitation UNIX ou Windows NT4 qui intègrent de telles fonctionnalités.

 **Les protocoles de communication.** Ces protocoles ont pour fonction de standardiser la forme des informations transmises indépendamment du type de machines constituant le réseau (réseau hétérogène). Ils déterminent les stratégies d'acheminement des informations et les procédures à effectuer en cas d'erreur.

Il existe plusieurs protocoles normalisés, TCP/IP par exemple pour internet ou ethernet.

### 3.3 Les réseaux locaux (LAN) : application au réseau ethernet



**Un réseau local se caractérise par une mise en relation de machines implantées sur une zone géographique limitée. La mise en place d'un réseau suppose l'utilisation de composants matériels et logiciels définis précédemment.**

La figure 7.25 résume le parcours de l'information, depuis les logiciels de service mis à la disposition de l'utilisateur, jusqu'à la liaison physique d'accès au réseau.

Chaque couche possède sa propre fonctionnalité.

<p align="center"><b>Couche application</b></p> <p>FTP (File Transport Protocol) : échange direct de fichiers            HTTP (HyperText Transfer Protocol) : échange de pages Web au format HTML            SMTP (Simple Network Management Protocole) : courrier électronique            Telnet : connexion à un ordinateur distant</p>	<p align="center">Programmes accessibles à l'utilisateur par une simple commande</p>
<p align="center"><b>Couche transport</b></p> <p align="center">TCP (Transport Control Protocol)</p>	<p align="center">Logiciels dans le système</p>
<p align="center"><b>Couche réseau</b></p> <p align="center">IP (Internet Protocol) Routage des paquets d'informations</p>	<p align="center">Adressage IP</p>
<p align="center"><b>Couche physique et interface d'accès au réseau</b></p> <p align="center">Accès à ETHERNET</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• topologie en bus sur câble coaxial (10 Mbits.s<sup>-1</sup>) ,</li> <li>• topologie en étoile sur paires torsadées (10 Mbits.s<sup>-1</sup> et 100 Mbits.s<sup>-1</sup> pour Fast Ethernet),</li> <li>• sous-couche LCC (Ethernet ISO 8802-2) : encapsulation des données dans des trames,</li> <li>• sous-couche MAC (Ethernet ISO 8802-3) : accès direct au support de transmission non déterministe avec détection de collision CSMA/CD.</li> </ul>	<p align="center">Adressage matériel Carte réseau ETHERNET</p>

Figure 7.25 Architecture matérielle et logiciel du réseau local ethernet

#### 3.3.1 La couche physique : topologies d'un réseau local ethernet

On distingue trois topologies pour les réseaux locaux (voir *Sciences de l'ingénieur première S*). La plus simple, la plus traditionnelle et la plus utilisée pour ethernet est la topologie en bus (fig. 7.26).



**Toutes les machines connectées sur le bus « voient » passer les informations, le destinataire se reconnaît par son adresse contenue dans le message.**

Le principal inconvénient de cette topologie est qu'il est très difficile de repérer un nœud défaillant.

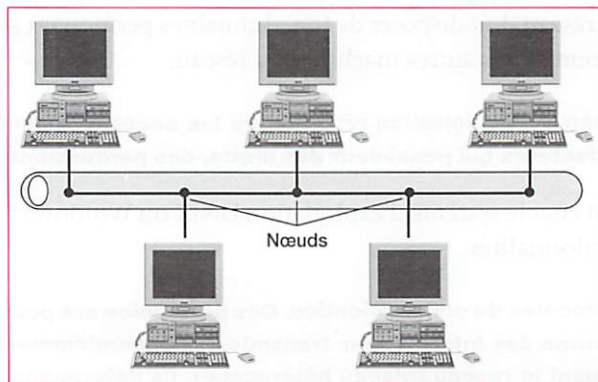


Figure 7.26 Topologie en bus d'un réseau local

Deux machines ne peuvent envoyer des données simultanément sur un réseau en bus ; les performances globales dépendent donc du nombre d'ordinateurs connectés. Plus ce nombre est élevé, plus le réseau sera lent.



Dans le cas d'un réseau ethernet comportant un nombre important de machines séparées par des distances relativement grandes, on adopte une topologie en étoile de sous-réseaux reliés par un bus (fig. 7.27).

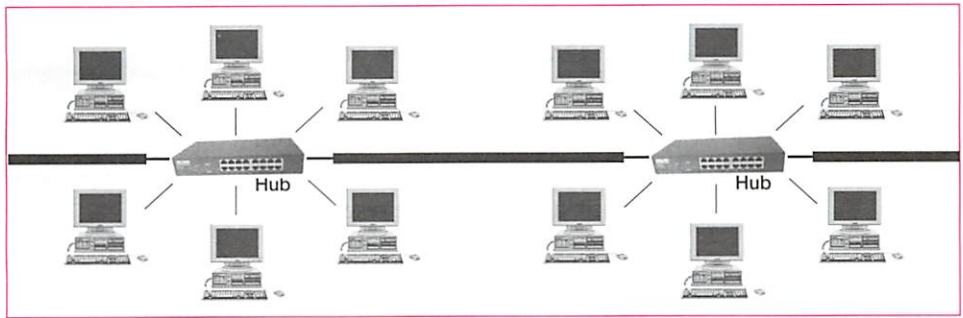


Figure 7.27 Les sous-réseaux en étoile sont reliés par un bus. Les ordinateurs de chaque sous-réseau échangent des données *via* un hub/concentrateur

### 3.3.2 La couche physique : liaisons dans un réseau local ethernet

Le canal de transmission et la topologie adoptée conditionnent les contraintes de débits et de distances entre machines.

Le tableau 7.2 récapitule les performances attendues en fonction de ces différents critères dans la norme.

Référence dans la norme	Signification	Caractéristiques	Utilisation
<b>10B5</b>	10 : 10 Mbits/s B : Bande de base 5 : segments de 500 mètres maximum	Topologie en bus Utilisation du câble coaxial Connexions par prises ou té 100 nœuds par segment de 500 mètres	Encore utilisé en tant que réseau fédérateur (interconnexions de sous-réseaux)
<b>10BT</b>	10 : 10 Mbits/s B : Bande de base T : Twisted (torsadés)	Topologie en étoile Utilisation de paires torsadées Connexion par RJ45 100 mètres par branche	La forme la plus répandue actuellement pour ethernet
<b>10BFL</b>	10 : 10 Mbits/s FL : Fiber Link (lien par fibre optique)	Topologie en étoile Utilisation de la fibre optique Connexion par connecteurs SC (pour fibres) 1 000 mètres entre deux stations	La version fibre optique du réseau ethernet

Tableau 7.2 Performance des canaux de transmission et de leur topologie


Remarque : On dispose actuellement de débits de 1 Gbit/s en utilisant la fibre optique (référence 1000 BF dans la norme).

### 3.3.3 La couche physique : contrôle des échanges de données en réseau local ethernet

Dans une machine en réseau ethernet, le système d'exploitation a pour fonction, outre d'assurer la gestion des ressources internes, d'organiser les échanges d'informations avec les autres machines du réseau.

Sachant que deux machines ne peuvent envoyer simultanément des informations sur le réseau, une méthode d'accès au canal de transmission est nécessaire.

La méthode utilisée se nomme CSMA/CD (*Carrier Sense Multiple Access/Collision Détection*).

 **La méthode CSMA/CD est une technique de gestion des conflits. Le principe est que lorsqu'une machine a de l'information à transmettre, elle doit attendre que le canal soit libre pour utiliser le réseau.**

Méthode dite **probabiliste**, elle ne garantit en aucun cas que la station arrivera à émettre. Le nombre de collisions augmente en fonction du nombre de nœuds actifs sur le réseau.

### 3.3.4 La couche réseau : adressage IP en réseau local ethernet



**L'adressage permet de distinguer une machine à l'intérieur d'un réseau, mais aussi de distinguer un réseau en particulier.**

Une adresse IP est un nombre codé sur 4 octets. On le représente dans une notation décimale pointée (fig. 7.28).

Cette adresse codée sur 32 bits comporte l'adresse du réseau et l'adresse de la machine à l'intérieur du réseau.

Il existe 5 classes d'adresses différentes (classes A à E). La classe est indiquée par le masque de sous-réseau.

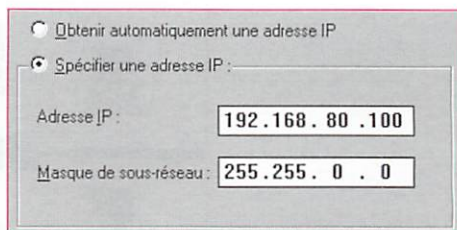


Figure 7.28 Adresse IP d'une machine

Le tableau 7.3 résume les possibilités offertes par les trois premières classes (classes A, B, C).

Classe	Identifiants réseau	Identifiants machine	Valeurs haute et basse des adresses IP des machines
<b>A</b>	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">0      7 bits pour les réseaux</div> <p>7 bits : soit 128 réseaux possibles</p>	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">24 bits pour les machines</div> <p>24 bits : soit 16 777 216 machines possibles par réseau</p>	<p>0.0.0.0 127.255.255.255</p>
<b>B</b>	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">1 0      14 bits pour les réseaux</div> <p>14 bits : soit 16 384 réseaux possibles</p>	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">16 bits pour les machines</div> <p>16 bits : soit 65 536 machines possibles par réseau</p>	<p>128.0.0.0 191.255.255.255</p>
<b>C</b>	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">1 1 0      21 bits pour les réseaux</div> <p>21 bits : soit 2 097 152 réseaux possibles</p>	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">8 bits pour les machines</div> <p>8 bits : soit 256 machines possibles par réseau</p>	<p>192.0.0.0 223.255.255.255</p>

Tableau 7.3 Principales caractéristiques des classes d'adresses A, B et C

### 3.3.5 Les couches transport et réseau : le protocole de communication en réseau local ethernet



**TCP/IP est un jeu de protocole de transmission d'informations employé avec les réseaux ethernet.**

Ce protocole assure le transfert des données ou fichiers de la machine source vers les autres machines du réseau. Il dispose des fonctionnalités de mise en forme, transport et routage des paquets de données.

## 3.4 Les réseaux industriels

Le système présenté en début de ce chapitre est caractéristique des réseaux industriels.

Les réseaux industriels sont apparus peu de temps après les réseaux bureautiques. Leur besoin est né de la demande croissante de productivité et de fiabilité dans le domaine industriel, mais aussi de la nécessité d'interconnecter divers équipements de contrôle et de mesure afin de leur permettre d'échanger des informations le plus rapidement possible en vue de leur exploitation.



### 3.4.1 Les réseaux de terrain



**Un réseau de terrain est un réseau de capteurs et d'actionneurs. Les composants de ce réseau doivent disposer d'interfaces adaptés au monde industriel.**

Les réseaux de terrain doivent satisfaire des contraintes particulières :

- ils doivent tolérer les pannes ;
- ils doivent être capables d'écouler les pointes de trafic en un **temps minimal garanti** (tous les capteurs et actionneurs peuvent communiquer en même temps) ;
- ils doivent admettre des *niveaux de priorité* afin de privilégier certains capteurs plus « sensibles ».

Ces réseaux sont actuellement dits « propriétaires », c'est-à-dire que les protocoles de communication sont dépendants du fabricant. On peut citer Modbus, Profibus en applications industrielles, et Can en applications automobiles.

Certains API intègrent l'interface de communication pour réseau (fig. 7.29).

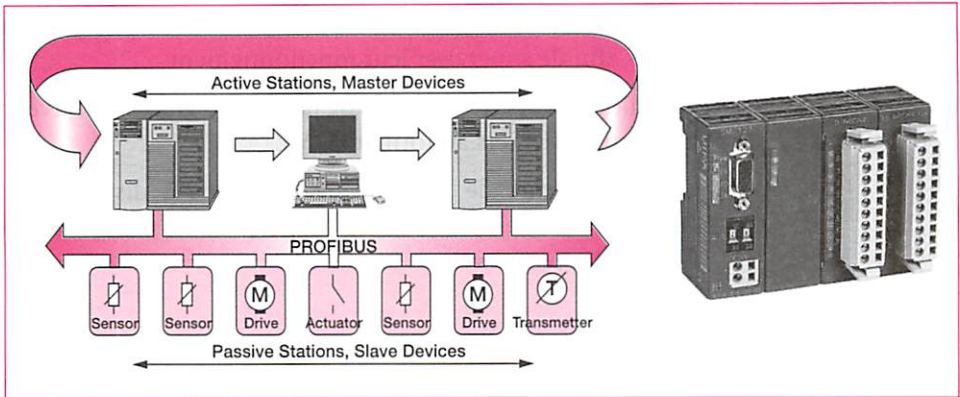


Figure 7.29 Configuration Profibus et automate avec coupleur Profibus

### 3.4.2 Les évolutions actuelles des réseaux industriels

Le modèle pyramidal à trois niveaux adopté dans le système présenté au début de ce chapitre reflète bien ces évolutions (fig. 7.30).

Les composants d'automatismes deviennent de plus en plus « intelligents », c'est-à-dire qu'ils disposent, dans leur structure, des interfaces et des ressources nécessaires pour être organisés en réseaux.

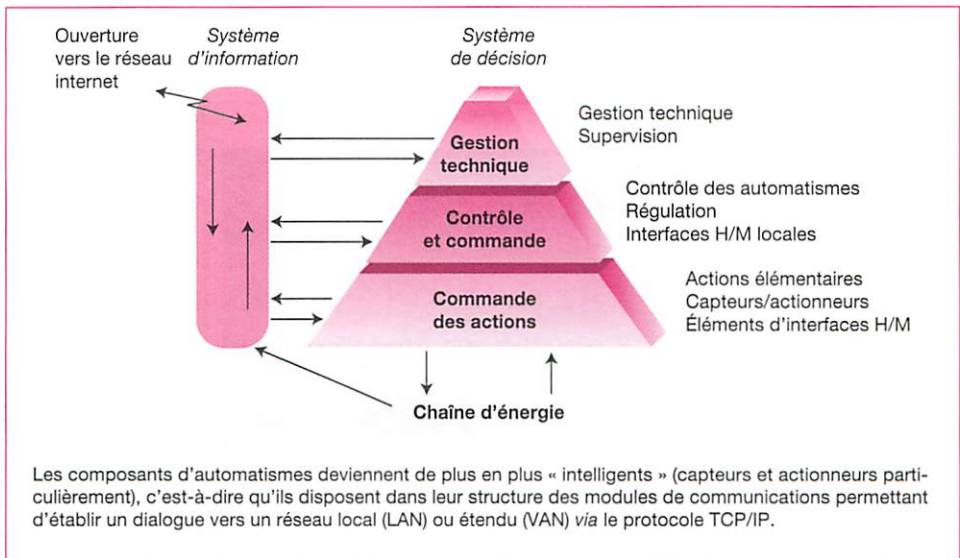


Figure 7.30 Modèle pyramidal à trois niveaux

Les évolutions à prévoir dans les prochaines années portent sur :

- la **standardisation** des réseaux ou bus de terrain ;
- l'**interopérabilité** des équipements, c'est-à-dire la capacité de faire fonctionner des équipements de constructeurs différents dans un même réseau de terrain sans dégradation des performances.

### 3.4.3 Le WEB, les capteurs et les actionneurs

Ethernet et TCP/IP sont actuellement les *standards* dans les réseaux de transport de l'information (en réseaux locaux ou en réseaux étendus).

Certains constructeurs préparent un réseau ethernet industriel, l'objectif serait que ce réseau d'un nouveau type prenne en charge la circulation des informations des capteurs jusqu'au niveau décisionnel.

On assiste également à une nouvelle génération de composants d'automatismes : actionneurs, variateurs de vitesse, terminaux de dialogue, API,... qui sont dotés de serveur web.

L'opérateur peut ainsi à distance, *via* le réseau internet, agir au plus près des constituants afin de superviser leur fonctionnement.

Le dialogue s'opère au travers de pages web grâce aux serveurs HTTP qui assurent le transfert de fichiers au format HTML.

Cette procédure de contrôle de processus à distance est appelée la *télégestion* (fig. 7.31) : chaque constituant est perçu sur le réseau internet comme un site fournissant des pages web au format HTML.

## exemple

Sur l'île de Lesbos en Grèce, la société en charge du réseau électrique a choisi Tbox pour le contrôle complet de la gestion de deux génératrices éoliennes.

Le poste central situé à Mytilène, à 15 kilomètres des sites, utilise un navigateur internet Explorer pour la visualisation et la commande des deux stations.

Les principales fonctions de l'automate Tbox sont :

- contrôler le fonctionnement des éoliennes (mise en marche/arrêt des turbines, changement des consignes) ;
- enregistrer les événements et les données statistiques ;
- réaliser la visualisation dynamique du process (on peut connaître par exemple à tout instant le cosinus  $\varphi$  des deux turbines, ainsi que la production énergétique instantanée (fig. 7.31)) ;
- générer les rapports périodiques envoyés et émettre par e-mails.

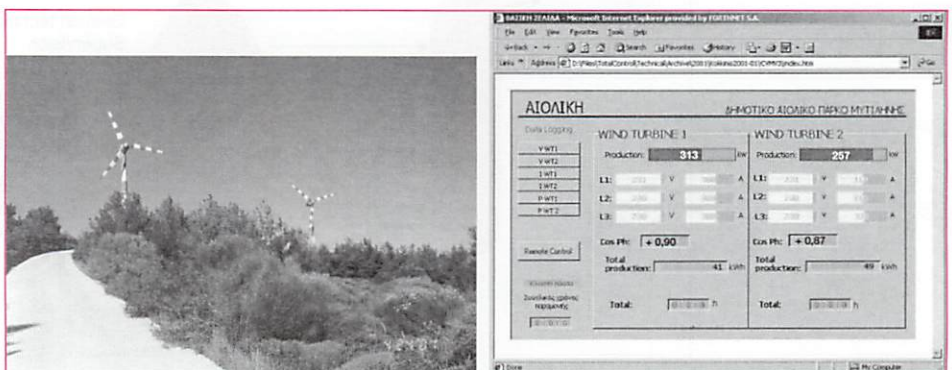


Figure 7.31 Génératrices éoliennes contrôlées *via* le réseau internet par un automate de la société Tbox





L'homme dispose de constituants matériels et logiciels pour dialoguer avec la machine. Ce dialogue peut être proche ou distant.

Le canal de transmission supporte physiquement l'information série transmise. En transmission en bande de base, on distingue trois canaux de transmission : le câble bifilaire, le câble coaxial, la fibre optique. En transmission par modulation de porteuse, il est nécessaire de codifier l'information transmise, c'est le code Manchester qui est le plus utilisé.

On distingue les réseaux locaux (LAN), et les réseaux étendus (WAN).

Le réseau local ethernet associé au protocole TCP/IP est en passe de devenir le standard en réseau industriel.

Les réseaux de terrain mis en œuvre au niveau des capteurs et des actionneurs

doivent satisfaire certaines contraintes (tolérance des pannes, disposer de vitesses de transmissions élevées, admettre des niveaux de priorité).

Une nouvelle génération de composants d'automatismes est apparue disposant dans leur structure de serveurs web, c'est-à-dire qu'ils sont capables de communiquer directement *via* le réseau internet. Ce dialogue s'opère au travers de pages web par une procédure de contrôle à distance nommée télégestion.

**Mots clés :** bande de base, modulation d'une porteuse, canal de transmission, câble bifilaire, câble coaxial, fibre optique, code Manchester, disque dur, disque compact, modem, routeur, hub, switch, méthode CSMA/CD, adressage IP, protocole de communication.

## exercices

### EXERCICE 1

1. Représenter la trame émise sur une liaison série asynchrone à 19 200 bauds comportant les caractéristiques suivantes : émission du caractère « 1011001 », un bit de parité paire, un bit de stop.
2. Calculer la durée minimale de transmission d'un fichier contenant 32 koctets à transmettre.

### EXERCICE 2

- Représenter la trame de l'exercice 7.1 en codage Manchester.

### EXERCICE 3

- Les caractéristiques d'une liaison série asynchrone (norme RS232) sont les suivantes : 7 bits de données, 1 bit de parité paire, 1 bit de stop, 9 600 bauds. Au niveau du récepteur, on reçoit l'information présentée par la figure 7.32.



Figure 7.32 Information reçue au niveau du récepteur

- Vérifier si une erreur de transmission s'est produite, justifier votre réponse.

### EXERCICE 4

- Calculer la capacité d'un disque dur comportant 5 têtes de lecture et 977 pistes de 17 secteurs chacune.

### EXERCICE 5

- On donne l'adressage IP suivant en classe B : 161.3.1.5 ; identifier l'adresse du réseau, et le rang de la machine dans ce réseau.



# Principes et comportement





Figure 8.1 Avion supersonique « Concorde »

Les performances d'un système sont tributaires de la chaîne de conversion de l'énergie, et bien sûr, de l'excellence de son comportement. La recherche du rendement optimal, la maîtrise de la puissance développée, sous-entendent une analyse approfondie du comportement mécanique des structures et une analyse approfondie du comportement énergétique de la chaîne. L'étude des efforts qui sollicitent les mécanismes, l'étude des mouvements, de la résistance des composants, des contraintes d'implantation, la recherche d'une commande adaptée, sont autant de tâches à mener à bien pour aboutir à un produit de qualité.

### Compétences

Un système avec conversion et transmission d'énergie étant défini par son dossier et les documentations techniques des constituants de la chaîne :

- ▶ Déterminer les actions mécaniques transmises, par une résolution graphique, pour un solide ou un ensemble de solides soumis à 3 forces concourantes.
- ▶ Déterminer les grandeurs cinématiques caractéristiques associées à la fonction réalisée (vitesse linéaire et/ou angulaire d'entrée et de sortie).
- ▶ Appliquer le principe fondamental de la dynamique à l'élément réalisant la fonction mécanique étudiée.
- ▶ Identifier la sollicitation subie par un solide de type poutre.
- ▶ Analyser et déterminer les modes de fonctionnement, en déduire le sens de circulation des flux d'énergie.
- ▶ Déterminer les grandeurs énergétiques des éléments fonctionnels de la chaîne d'énergie.
- ▶ Reconnaître la réversibilité de la chaîne
- ▶ Tracer la relation entrée/sortie dans le quadrant correspondant.

# 1 Comportement mécanique des structures et des mécanismes

## 1.1 Modélisation des mécanismes

Le *modèle* permet l'application de méthodes de résolution au réel considéré. La fidélité du modèle par rapport au réel est un gage de réussite de l'analyse du comportement mécanique des structures.

### 1.1.1 Graphe de liaisons

Différents outils permettent d'aboutir à la modélisation cinématique d'un mécanisme, à commencer par le *graphe de liaisons*, ou graphe de structure.

## exemple

La figure 8.2 représente le train d'atterrissage avant d'un avion de tourisme de grand trafic (représentation partielle). Hors phases d'atterrissage (fig. 8.3) et de décollage (fig. 8.4), les trains sont repliés dans des soutes (fig. 8.5 et 8.6), pour ne pas nuire à l'aérodynamisme de l'avion en vol. Un vérin permet le passage de la position active du train à la position repliée ou inversement. Un amortisseur, logé dans le fût du train, encaisse les chocs au contact avec le sol. Un ensemble de pièces articulées (tirant, levier et biellette) permet la rétraction des roues lors de la rentrée en soute, afin de limiter l'encombrement de cette dernière (considérée comme un affaiblissement de la carlingue). Les compas interdisent enfin la rotation des roues autour de l'axe principal du fût.

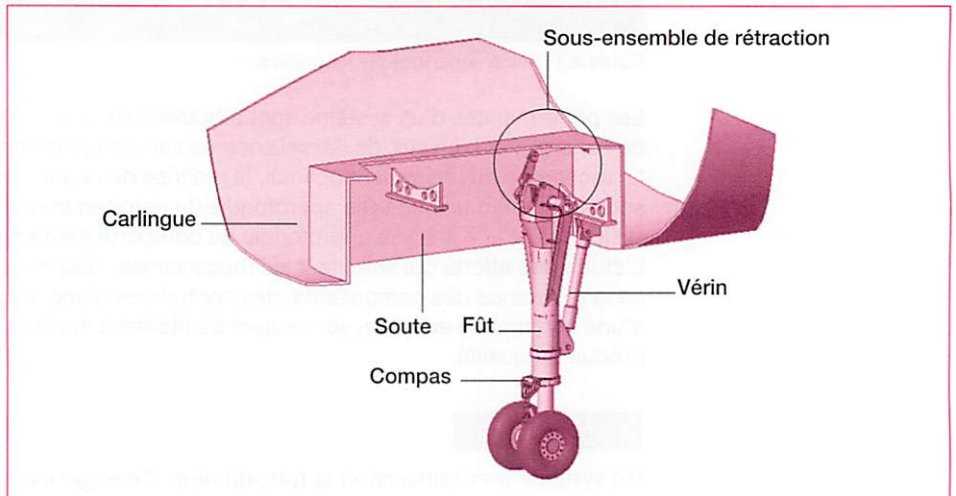


Figure 8.2 Train d'atterrissage

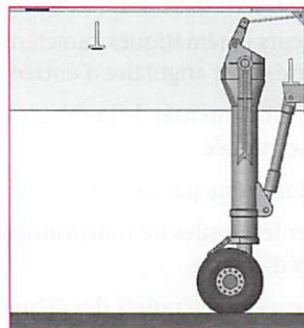


Figure 8.3 Avion au sol, amortisseur sollicité

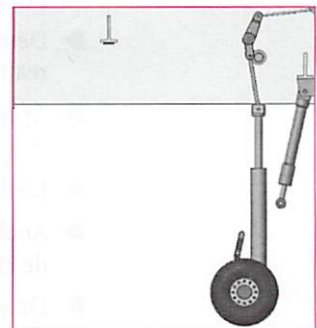


Figure 8.4 Décollage, amortisseur libéré (fût caché)



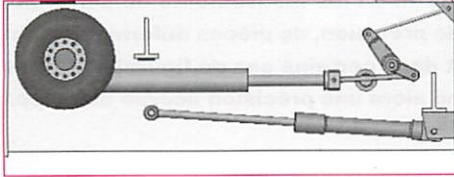


Figure 8.5 Avion en vol, train replié dans la soute (fût caché)

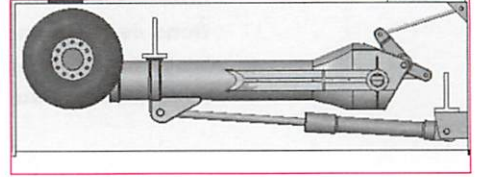


Figure 8.6 Avion en vol, train complet replié dans la soute

.....

Le train d'atterrissage est composé de plusieurs chaînes cinématiques fermées. Après avoir observé les contacts des pièces mobiles les unes par rapport aux autres, et les formes géométriques qui les réalisent, on peut modéliser chaque chaîne simple (et *a fortiori* la chaîne complexe représentant l'ensemble du mécanisme) à l'aide de graphes de liaisons ; ainsi la chaîne simple fermée « carlingue – corps de vérin – tige de vérin – fût – carlingue » représentée (fig. 8.7) peut être modélisée à l'aide du graphe de liaisons proposé (fig. 8.8).

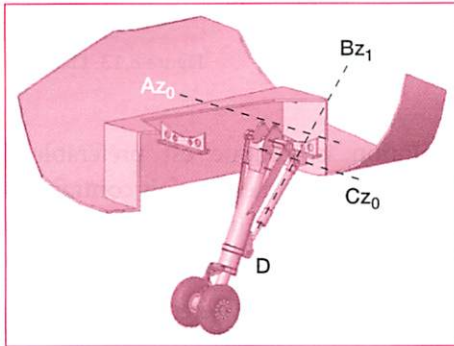


Figure 8.7 Repérage des axes de liaison

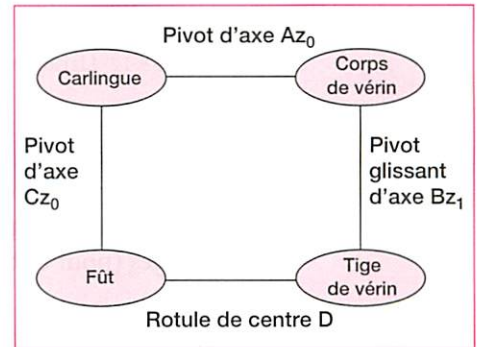


Figure 8.8 Graphe de liaisons

On appelle *chaîne simple ouverte* une chaîne cinématique constituée de différentes classes d'équivalence, sans bouclage (fig. 8.9).

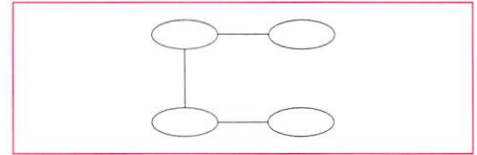


Figure 8.9 Chaîne simple ouverte

On appelle *chaîne simple fermée* une chaîne cinématique constituée de différentes classes d'équivalence, avec bouclage (fig. 8.10).

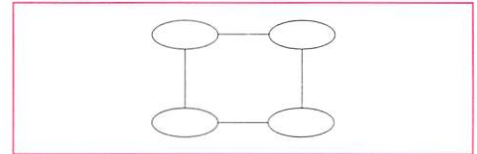


Figure 8.10 Chaîne simple fermée

On appelle *chaîne complexe* un ensemble de chaînes simples (ouvertes ou fermées), dépendant les unes des autres (fig. 8.11).

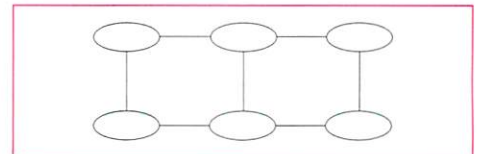


Figure 8.11 Chaîne complexe

### 1.1.2 Isostatisme et hyperstatisme



**Un mécanisme est dit isostatique lorsque l'ensemble des liaisons mécaniques entre pièces qui le constituent interdit de façon optimale (sans surabondance) certains degrés de liberté, en vue d'obtenir le ou les mouvements de sortie attendus.**

**Un mécanisme est dit hyperstatique lorsque l'ensemble des liaisons mécaniques entre pièces qui le constituent interdit de façon surabondante certains degrés de**

liberté en vue d'obtenir le ou les mouvements de sortie attendus (pour des questions de résistance, de précision, de pièces déformables notamment, pour permettre le fonctionnement dans certains cas de figure). L'assemblage d'un mécanisme hyperstatique suppose alors une précision accrue des pièces qui le constituent.

## exemple

Les figures 8.12 et 8.13 illustrent la justification de certaines solutions hyperstatiques.

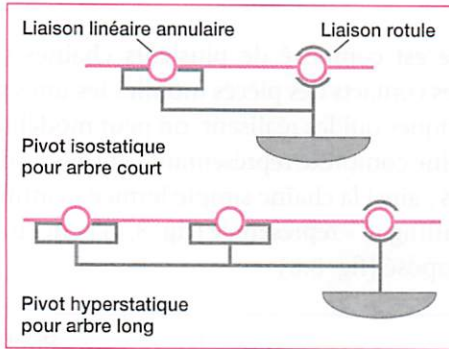


Figure 8.12 Liaison pivot

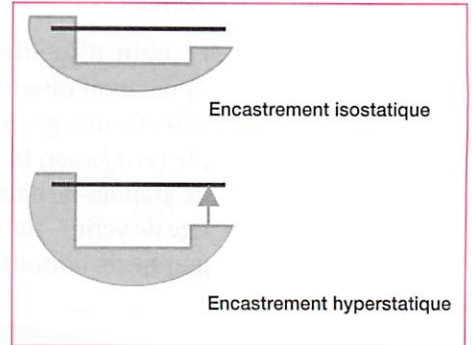


Figure 8.13 Liaison pont/sol

La recherche d'une solution isostatique est préférable (simplicité, facilité de réalisation, économie). Cependant, on est parfois contraint (souvent !) de concevoir « hyperstatique » pour répondre à la qualité de produit développée dans le cahier des charges (pour obtenir une certaine rigidité du produit considéré par exemple).

La « théorie des mécanismes » permet de déterminer le degré d'hyperstatisme d'une chaîne cinématique :

$$h = m_u + m_i + \sum n_s - 6(n - 1)$$

avec  $h$  = degré d'hyperstatisme du mécanisme

$m_u$  = mobilités du mécanisme ou mobilités utiles

$m_i$  = mobilités internes

$\sum n_s$  = nombre des inconnues statiques (on peut assimiler le nombre d'inconnues statiques, pour une liaison donnée, au nombre de degrés de liberté éliminés par cette liaison) dues aux liaisons

$n$  = nombre de solides du mécanisme, bâti compris

## exemple

Application au train d'atterrissage (chaîne « carlingue – corps de vérin – tige de vérin – fût – carlingue » considérée précédemment) :

$$h = 1 + 0 + 5 + 5 + 4 + 3 - 6(4 - 1) = 0 \dots \text{la chaîne cinématique est déclarée isostatique.}$$

$$\begin{array}{cccc} m_u & | & & | & n \\ m_i & | & & | & \sum n_s \text{ (rotule)} \\ \sum n_s \text{ (pivots)} & | & & | & \sum n_s \text{ (pivot glissant)} \end{array}$$

Graphe de liaisons et notions d'isostatisme sont des outils incontournables pour mener à bien une étude de mécanisme, notamment à l'aide de progiciels adaptés.

## 1.2 Transmission des efforts, statique des mécanismes

Parmi différentes méthodes de résolution, la méthode graphique, pour un système matériel soumis à un ensemble de 3 forces coplanaires, est une méthode simple, rapide et sûre (exigeant néanmoins une précision de tracé). Elle se limite à l'étude



de quelques positions d'un mécanisme à géométrie variable (on lui préférera l'utilisation d'un progiciel pour couvrir l'ensemble des configurations d'un même mécanisme).

### 1.2.1 Problème posé

Considérant la chaîne « carlingue – corps de vérin – tige de vérin – fût – carlingue » citée précédemment, on souhaite par exemple déterminer les efforts encaissés par le fût du train d'atterrissage, pour une position donnée (afin notamment de quantifier la pression d'alimentation du vérin qui permettra de manœuvrer le fût).

Les données du problème posé (fig. 8.14) sont les suivantes : la masse du vérin est négligée, les frottements dans les liaisons sont négligés, la masse du sous-ensemble fût + roues + amortisseur + compas est estimée à 350 kg.

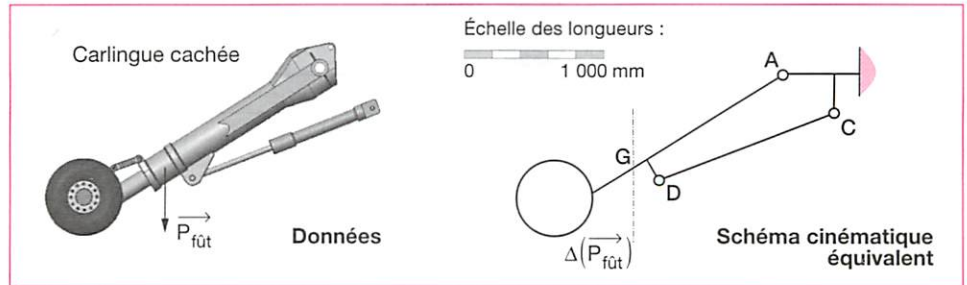


Figure 8.14 Problème posé

### 1.2.2 Méthode de résolution

L'ensemble des représentations de la figure 8.15 détaille progressivement les résolutions du problème posé au paragraphe 8.1.2.1.

Le vérin isolé, en équilibre, étant soumis à 2 forces, celles-ci sont donc directement opposées, de support passant par les points C et D.

Le théorème relatif à la réciprocité des actions mécaniques  $\Delta(D_{\text{tige/fût}}) = \Delta(D_{\text{fût/tige}})$

$(\overrightarrow{D_{\text{fût/tige}}}) = -(\overrightarrow{D_{\text{tige/fût}}})$

permet alors de déterminer le support de la force  $\overrightarrow{D_{\text{tige/fût}}}$ .

La liaison pivot entre fût et carlingue se faisant sans frottement, l'action mécanique  $\overrightarrow{A_{\text{carlingue/fût}}}$  est appliquée au point A.

Le système matériel, en équilibre, étant soumis à 3 forces coplanaires, les supports de ces forces sont concourants en un même point.

Le triangle des forces représenté ci-contre traduit l'équilibre du système matériel, autrement dit :  $\sum \text{forces ext.} = \vec{0}$ .

Il suffit d'adopter une échelle des forces pour représenter le vecteur force donné  $(\overrightarrow{P_{\text{fût}}})$  et d'en déduire par mesurage et interprétation les inconnues recherchées.

$P_{\text{fût}} = 3\,433\text{ N}$   
 $D_{\text{tige/fût}} = 9\,600\text{ N}$   
 $A_{\text{carlingue/fût}} = 11\,200\text{ N}$

Figure 8.15 Résolution du problème posé

### 1.2.3 Résolution par progiciel

Une étude similaire traitée par progiciel aurait abouti à des résultats sensiblement équivalents, mais plus précis, et montrant par ailleurs l'évolution des efforts en jeu sur l'ensemble des positions géométriques adoptées par le mécanisme (fig. 8.16).

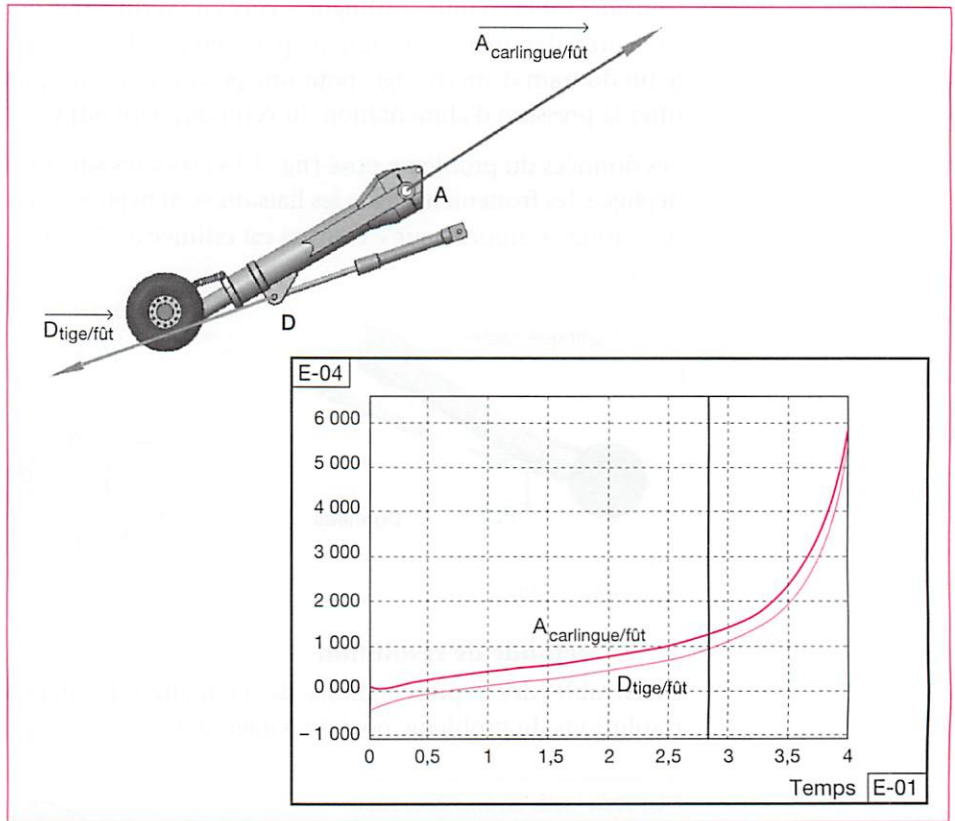


Figure 8.16 Problème de statique proposé au paragraphe 8.1.2.1 traité par progiciel

## 1.3 Transmission des mouvements, cinématique des mécanismes

Comme pour la statique des mécanismes, un problème de cinématique peut être aisément résolu par méthode graphique, si les conditions d'usage sont réunies : problème plan, nombre de pièces limité et nombre de configurations géométriques d'étude limitées.

**Un solide est animé d'un mouvement plan si les trajectoires des points qui lui sont rattachés se trouvent contenues dans des plans parallèles.**

### 1.3.1 Problème posé

Le problème consiste à déterminer la vitesse d'accostage du fût sur sa butée ( $\vec{V}_{\text{fût/carlingue}}$ ) en fin de mouvement (phase de rentrée en soute), pour une vitesse de sortie de tige donnée (fig. 8.17).

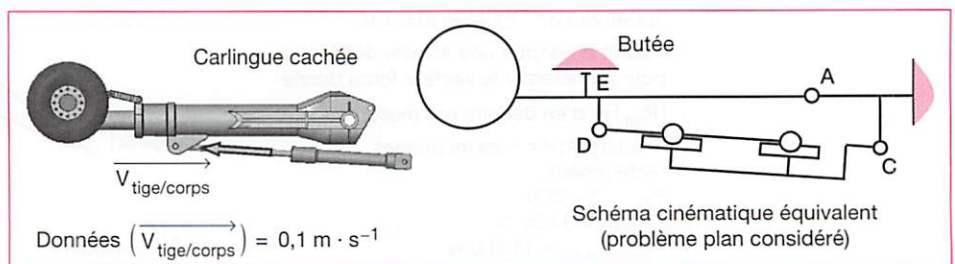


Figure 8.17 Problème posé



### 1.3.2 Méthode de résolution

La logique veut que l'on parte d'un point du mécanisme, de données cinématiques fournies (le mouvement moteur en l'occurrence  $(\vec{V}_{\text{tige}/\text{corps}})$ ) et que l'on traduise à l'aide de théorèmes la transmission du mouvement (du mouvement d'entrée au mouvement de sortie identifié (fig. 8.18)).

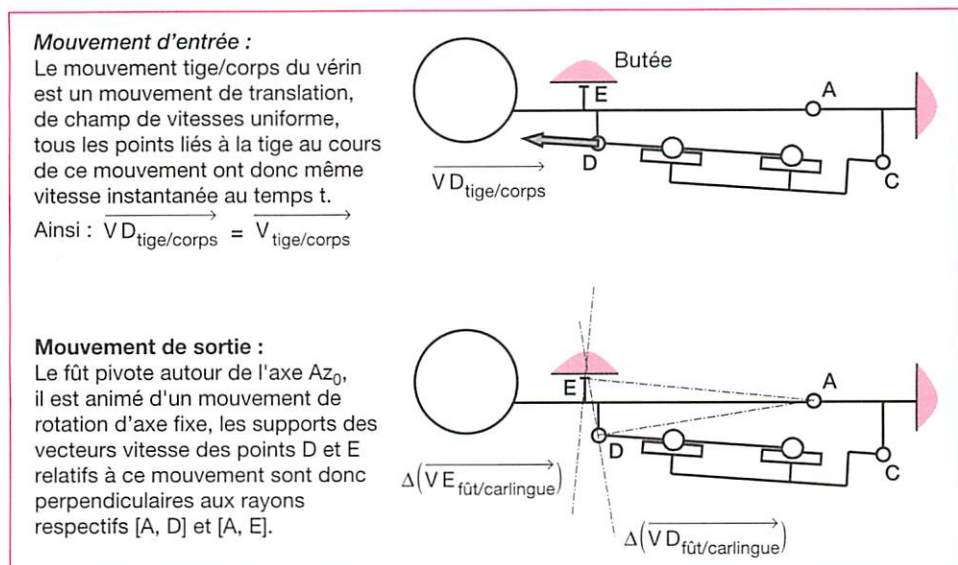


Figure 8.18 Paramétrage des mouvements d'entrée et de sortie

Le point D lie l'organe moteur (le vérin : mouvement d'entrée), à l'organe récepteur (le fût : mouvement de sortie).

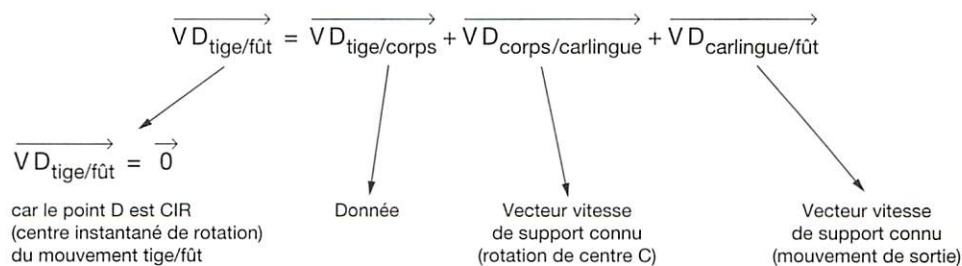
Il faut alors exprimer cette transmission de mouvement sous forme d'une composition de vitesses intégrant mouvement d'entrée et mouvement de sortie.

**On appelle composition de mouvements, la somme de mouvements d'entraînement et de mouvements relatifs, constituant alors un mouvement absolu.**

Cette considération s'applique aux différentes grandeurs liées à ces mouvements (vitesse linéaire, vitesse angulaire, accélérations,...), on parle ainsi de *composition de vitesses* qui se traduit par une écriture de la forme :

$$\vec{V}_{\text{absolue}} = \vec{V}_{\text{d'entraînement}} + \vec{V}_{\text{relatives}}$$

Ainsi, la vitesse du point D, lié au fût, dans son mouvement par rapport à la tige, peut-elle être composée de la manière suivante :



**On appelle centre instantané de rotation d'un mouvement considéré, le seul point de vitesse nulle, au temps  $t$ , lié à ce mouvement.**

La représentation graphique de la composition de vitesse permet alors de résoudre le problème plan proposé (fig. 8.19).

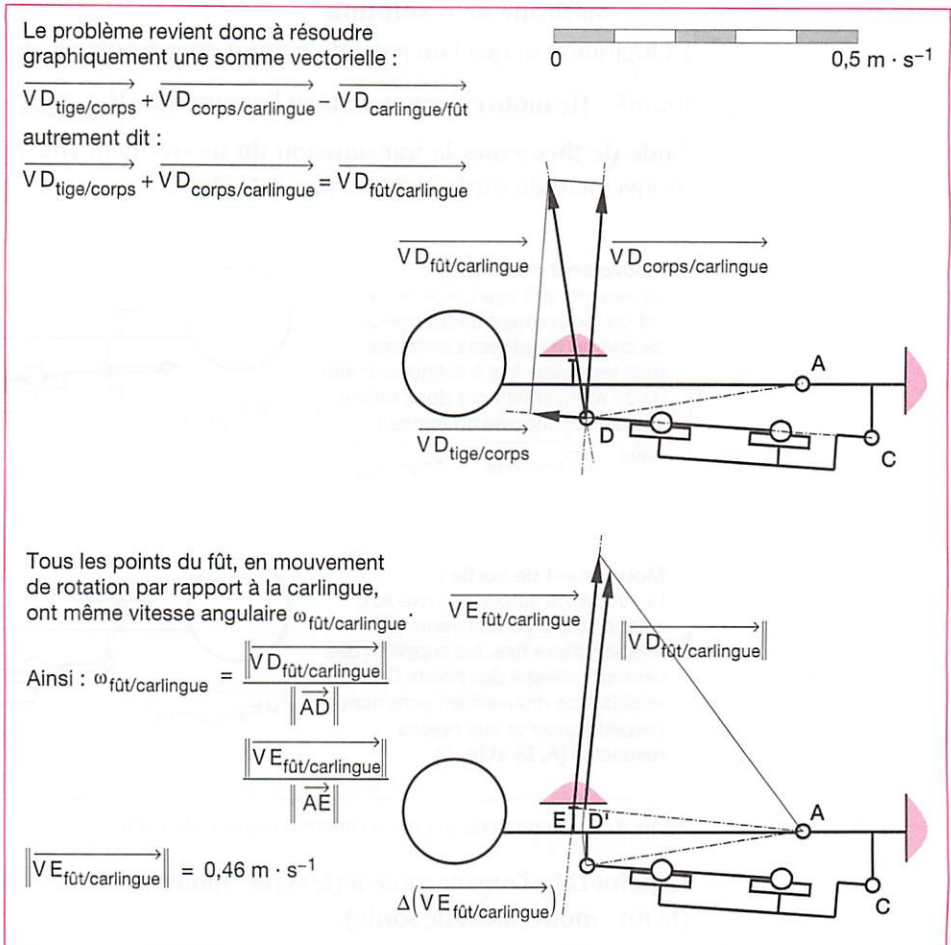


Figure 8.19 Résolution du problème posé

La dernière phase de résolution aurait pu être envisagée différemment, en utilisant par exemple le *théorème de l'équiprojectivité* des vecteurs vitesse (fig. 8.20).

**D et E étant deux points distincts d'un solide, la projection algébrique du vecteur vitesse du point D sur la droite (DE) est égale à la projection algébrique du vecteur vitesse du point E sur cette même droite, pour un même mouvement considéré (fût/carlingue).**

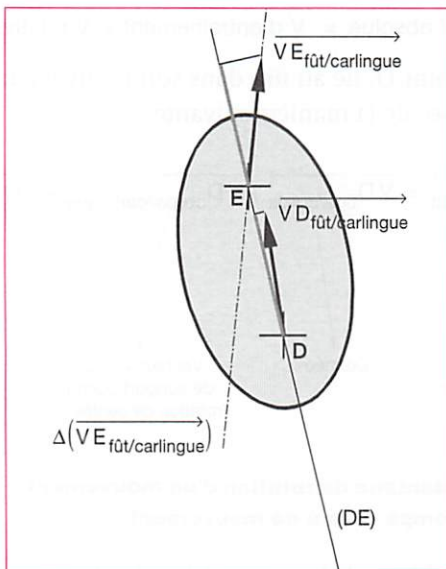


Figure 8.20 Équiprojectivité des vecteurs vitesse

Conséquence : connaissant

$\vec{V}_{D_{\text{fût/carlingue}}}$  et  $\Delta(\vec{V}_{E_{\text{fût/carlingue}}})$ ,  
on peut déterminer  $\vec{V}_{E_{\text{fût/carlingue}}}$ .



### 1.3.3 Résolution par progiciel

Comme précédemment, et à partir du même modèle cinématique, cette étude pourrait être traitée par progiciel avec des possibilités de configuration très évolutives, tenant compte par exemple des variations de vitesse de tige du vérin hydraulique (fig. 8.21).

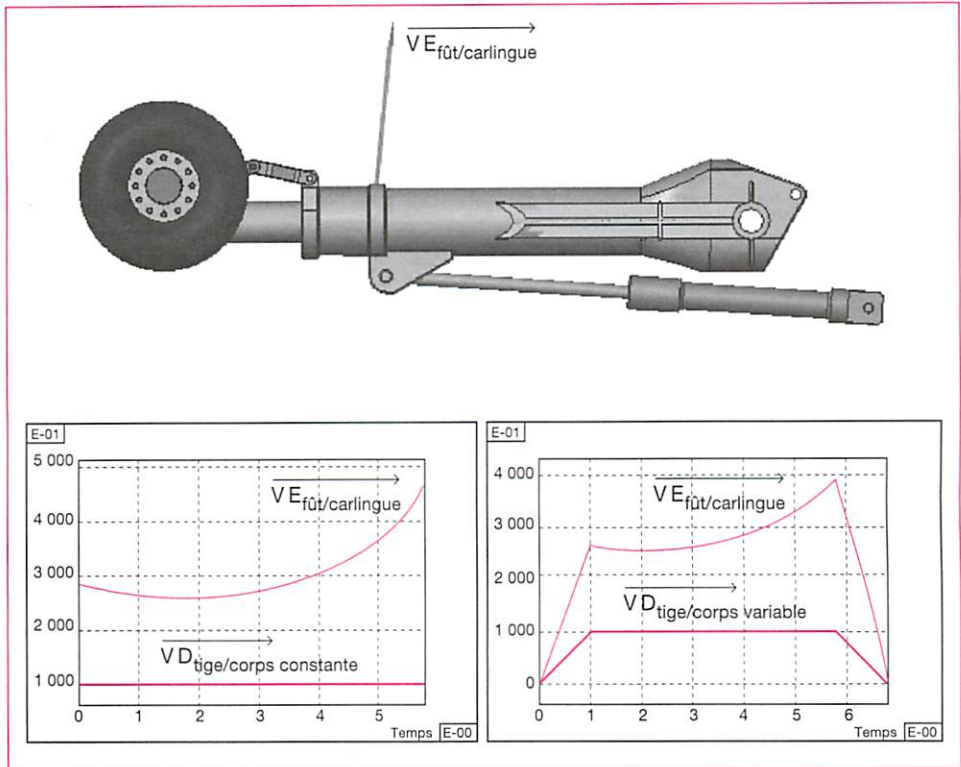


Figure 8.21 Problème de cinématique proposé au paragraphe 8.1.3.1 traité par progiciel

## 1.4 Frottement entre solides, résistance au mouvement

Tenir compte des *frottements* lors d'une analyse statique ou dynamique d'un mécanisme, c'est affiner la détermination des efforts en jeu, ajuster le *dimensionnement* des pièces qui en résultent, ajuster le dimensionnement des organes moteurs (devant vaincre ces résistances au mouvement), et finalement tendre vers une conception de qualité du produit envisagé.

### 1.4.1 Paramétrage du frottement – cas général

Le frottement considéré, au contact entre deux solides animés d'une tendance au mouvement relatif, provoque un effort parasite qui tend à s'opposer au mouvement. Les figures 8.22 et 8.24 précisent le paramétrage du frottement au contact entre tige et corps de vérin du train d'atterrissage abordé précédemment. La *loi de Coulomb* modélise les différentes configurations à retenir.

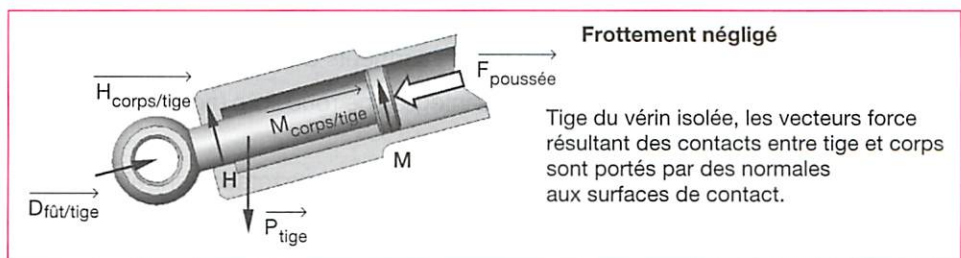


Figure 8.22 Frottement négligé

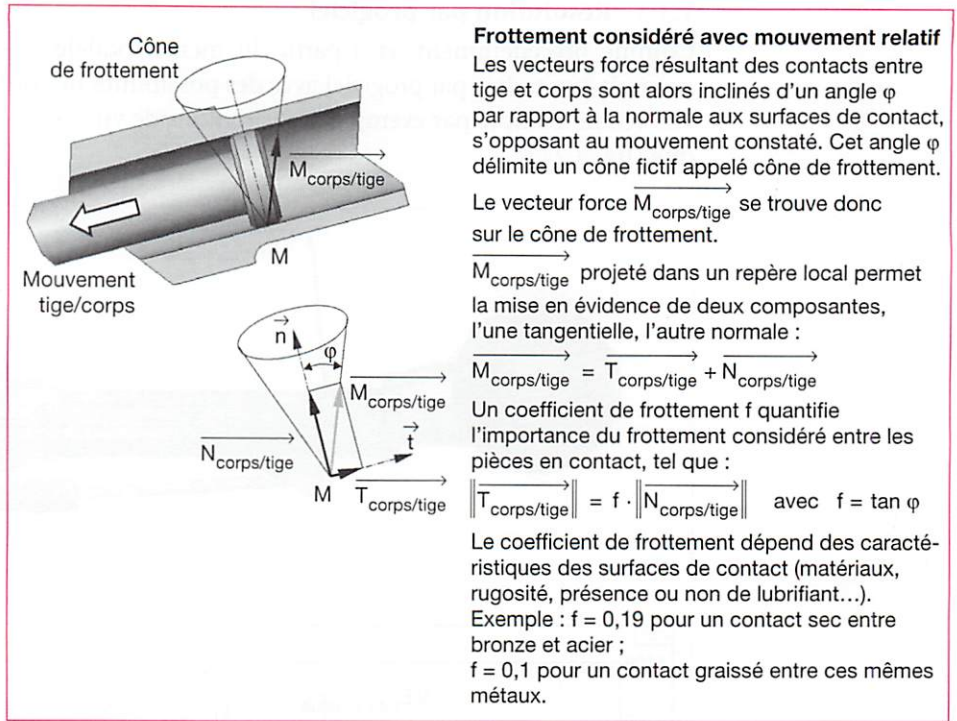


Figure 8.23 Frottement considéré, avec mouvement relatif entre tige et corps

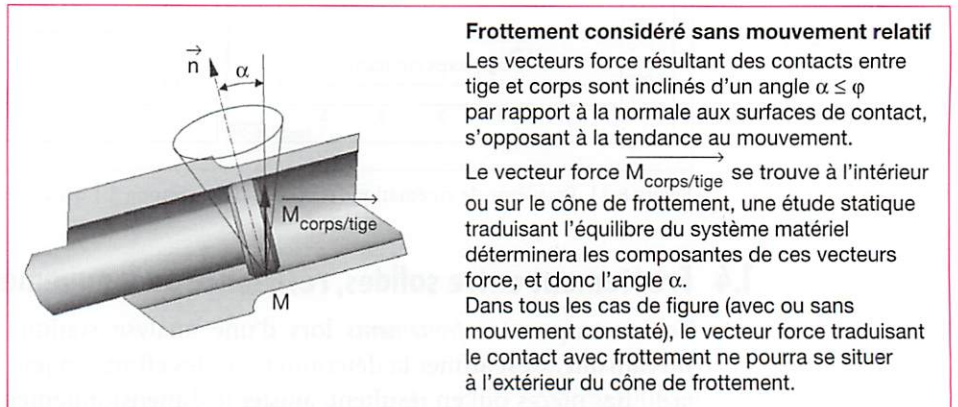


Figure 8.24 Frottement considéré, sans mouvement relatif entre tige et corps

### 1.4.2 Phénomènes de frottement et d'adhérence

Le frottement sous-entend mouvement relatif entre les pièces en contact, contrairement à l'adhérence.

L'adhérence est souvent utilisée comme phénomène mécanique permettant notamment la *transmission de mouvement* (embrayages, limiteurs de couple, roues libres, ...).

## exemple

L'attacheur de liens (fig. 8.25) réalise automatiquement l'opération qui consistait manuellement à lier les sarments de vignes sur des tuteurs.

L'attacheur de liens intègre une roue libre (fig. 8.25 à 8.27) exploitant ce phénomène d'adhérence.

Un moteur électrique à deux sens de rotation entraîne l'une ou l'autre des deux roues libres du mécanisme (selon le sens de rotation), provoquant alternativement la réalisation de deux fonctions de service à l'aide d'un seul actionneur (la figure 8.25 illustre la chaîne cinématique liée à l'une de ces fonctions).



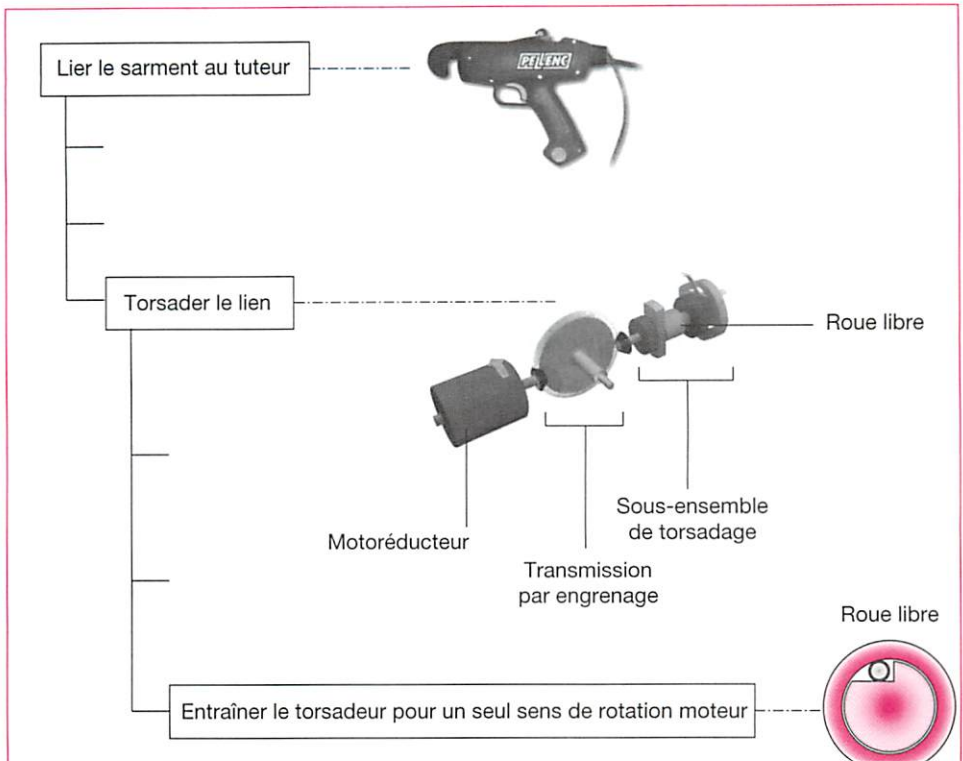


Figure 8.25 Chaîne cinématique permettant le torsadage

Le moyeu, tournant dans le sens horaire par rapport au tambour, entraîne ce dernier par adhérence (on parle aussi d'arc-boutement). Le sens de rotation opposé ne permet pas l'entraînement ; le fonctionnement est dit en roue libre (fig. 8.26).

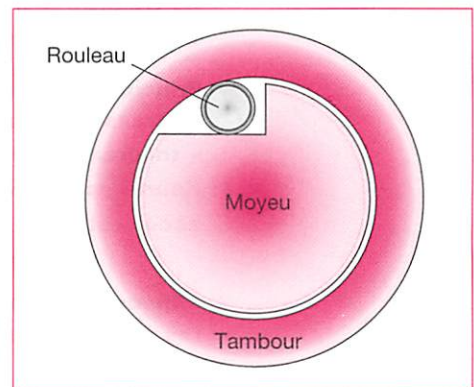


Figure 8.26 Principe de roue libre

Le rouleau isolé étant soumis à deux forces (son poids est négligeable par rapport à l'intensité des forces de contact), elles sont directement opposées, et l'on constate alors, pour la configuration géométrique proposée (dimensions des pièces) et pour le coefficient de frottement retenu, qu'elles se trouvent à l'intérieur du cône de frottement, ce qui signifie adhérence et donc entraînement en rotation du tambour par le moyeu (fig. 8.27).

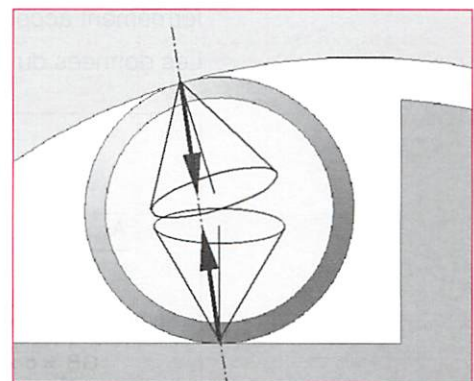


Figure 8.27 Entraînement en rotation par adhérence



## 1.5 Mouvement d'un solide indéformable

La mécanique fait appel à nombre de domaines d'étude plus ou moins indépendants les uns des autres, ainsi la *cinématique* traite du mouvement des solides, la *statique* permet la détermination des forces appliquées à une pièce ou un ensemble de pièces immobiles, ou mobiles en considérant une position géométrique particulière.

La *dynamique* complète ces études en considérant l'inertie des pièces en mouvement nécessaire à la détermination des actionneurs et processeurs permettant la transmission de puissance.

### 1.5.1 Inertie d'un solide



L'inertie d'un solide tend à préserver son état de repos ou de mouvement ; plus l'inertie d'un solide est importante, plus grande est la force à lui appliquer pour provoquer ou modifier son mouvement (cette force est proportionnelle à sa masse et à son accélération).

## exemple

Il ne suffit pas d'arrêter le moteur (permettant le déplacement) pour stopper un véhicule, encore faut-il provoquer une force, qui s'oppose au déplacement, pour vaincre le phénomène d'inertie (freins disposés sur les moyeux, aérofreins, parachute, inversion du fonctionnement moteur, etc.).

.....

### 1.5.2 Principe fondamental de la dynamique appliqué au mouvement de translation rectiligne

Ce chapitre se limite à l'application des théorèmes généraux de la dynamique, ou *principe fondamental de la dynamique*.



**Principe fondamental de la dynamique : un solide S étant animé d'un mouvement de translation dans un repère galiléen R :**

- **théorème de la résultante dynamique : la somme vectorielle des forces extérieures appliquées au solide S est égale au produit de sa masse m par son vecteur accélération  $\vec{a}$ .**

$$\sum \vec{F}_{\text{ext}/S} = m \cdot \vec{a}_{S/R}$$

- **théorème du moment dynamique : la somme des moments des forces extérieures appliquées au solide S, définis au centre de gravité G, est nulle.**

$$\sum \vec{M}_G(\vec{F}_{\text{ext}/S}) = \vec{0}$$

## exemple

Le **problème posé** consiste à déterminer la poussée nécessaire au mouvement uniformément accéléré de translation d'un avion sur sa piste de décollage.

Les données du problème sont fournies par la figure 8.28 et le tableau 8.1.

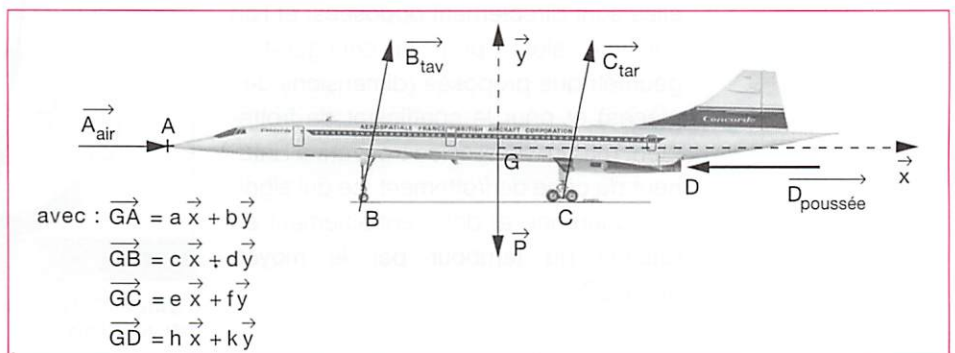


Figure 8.28 Paramétrage du problème



Point d'application	Désignation	Données
A	$\vec{A}_{\text{air}}$ : résistance à la pénétration dans l'air	33 000 N (appelée aussi traînée de l'appareil, dépend du gaz ambiant, de la vitesse de déplacement, de la surface projetée de l'avion, et du coefficient de traînée $C_x$ ), valeur donnée pour une vitesse de 402 km.h <sup>-1</sup> . (A air = 1/2.p.v <sup>2</sup> .S.Cx pour information)
B	$\vec{B}_{\text{tav}}$ : action du sol sur le train avant	considérée avec résistance au roulement on retiendra $\vec{B}_{\text{tav}} = \vec{B}_x + \vec{B}_y$ ; $\frac{B_x}{B_y} = \tan \alpha = 0,06$
C	$\vec{C}_{\text{tar}}$ : action du sol sur les trains arrière	même considération $\vec{C}_{\text{tar}} = \vec{C}_x + \vec{C}_y$ ; $\frac{C_x}{C_y} = \tan \alpha = 0,06$
D	$\vec{D}_{\text{poussée}}$ : poussée provoquée par les réacteurs	inconnue recherchée
G	$\vec{P}$ : poids de l'avion	m (masse de l'avion) = 18.10 <sup>4</sup> kg

Tableau 8.1 Bilan des forces appliquées à l'avion

Le confort des passagers limite l'accélération de l'avion à 0,4 fois l'accélération de la pesanteur (g), ce qui équivaut à une accélération sur piste de 4 m · s<sup>-2</sup>.

Les vecteurs forces sont supposés contenus dans le plan de symétrie de l'avion, le problème sera donc traité comme problème plan.

**Résolution** : premièrement isoler le système (fig. 8.28), deuxièmement faire le bilan des actions ultérieures (tableau 8.1), troisièmement appliquer le principe fondamental de la dynamique. On recense 5 inconnues :  $B_x$ ,  $B_y$ ,  $C_x$ ,  $C_y$  et  $D_x$ .

Considérant l'avion isolé, le principe fondamental de la dynamique appliqué au problème plan considéré donne 3 équations d'équilibre :

$$\sum \vec{F}_{\text{ext}/\text{avion}} = m \cdot \vec{a}_{\text{avion/sol}}$$

en projetant sur les axes  $\vec{G}_x$  et  $\vec{G}_y$ , on obtient :

$$(1) A_x + B_x + C_x + D_x + 0 = m \cdot a \quad (\text{avec } a = -4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}).$$

$$(2) 0 + B_y + C_y + 0 + p = 0 \quad (\text{avec } p = -18 \cdot 10^5 \text{ N}).$$

$\sum \vec{M}_G(\vec{F}_{\text{ext}/\text{avion}}) = \vec{0}$ , donnant une équation (3) de projection des composantes de moments sur l'axe  $\vec{G}_z$ .

Le modèle « résistance au roulement » retenu pour paramétrer les actions de la piste sur les trains avant et arrière fournit 2 équations supplémentaires (le problème est donc résoluble) :

$$(3) \frac{B_x}{B_y} = \tan \alpha \quad \text{et} \quad \frac{C_x}{C_y} = \tan \alpha.$$

La détermination de l'inconnue principale ( $\vec{D}_{\text{poussée}}$ ) se limite à l'utilisation des équations (1), (2), (4) et (5), et mène au résultat :

$$D_x = m \cdot a + p \cdot \tan \alpha - A_x = 18 \cdot 10^4 \times (-4) - 18 \cdot 10^5 \times 0,06 - 33\,000 = -861\,000 \text{ N}$$

(en bout de piste, à vitesse maxi et donc traînée maxi).

.....

### 1.5.3 Moment d'inertie d'un solide par rapport à son axe de rotation (l'axe de rotation passant par le centre de gravité du solide animé)

Un solide étant composé de masses élémentaires  $m$ , de centres de gravité respectifs éloignés de l'axe de rotation d'une distance  $r$ , le moment d'inertie  $J_\Delta$  du solide  $S$  par rapport à un axe  $\Delta$  vaut :  $J_\Delta = \sum m \cdot r^2$ . ( $J_\Delta$  en kg · m<sup>2</sup>,  $m$  en kg et  $r$  en m)

Pour un cylindre tournant autour de son axe principal :  $J_\Delta = \frac{m \cdot r^2}{2}$ .

### 1.5.4 Principe fondamental de la dynamique appliqué au mouvement de rotation autour d'un axe fixe central d'inertie



**Théorème du moment cinétique : un solide S étant animé d'un mouvement de rotation autour d'un axe fixe dans un repère galiléen R, la somme des moments des forces extérieures (appliquées au solide) par rapport à cet axe, est égale au produit du moment d'inertie du solide par rapport à cet axe par son accélération angulaire.**

La relation suivante traduit le théorème du moment cinétique :

$$\sum \overrightarrow{M_{\Delta}}(\overrightarrow{F}_{\text{ext}/S}) = J_{\Delta} \cdot \overrightarrow{\omega}' \quad (J \text{ en } \text{kg} \cdot \text{m}^2, \quad \omega' \text{ en } \text{rad} \cdot \text{s}^{-1})$$

## exemple

– La **chaîne cinématique** donnée (fig. 8.29) représente la transmission de puissance classique « moteur – embrayage – récepteur » rencontrée dans de nombreux mécanismes (le lancement d'un turboréacteur par l'intermédiaire d'un démarreur par exemple).

Le moteur fournit au disque moteur un couple moteur  $C_m$  de valeur constante.

Le récepteur (d'inertie considérée  $J_{\Delta}$ ) oppose à la partie motrice un couple résistant  $C_r$  (intégrant les résistances passives dues aux frottements), de valeur constante.

La mise en fonctionnement du moteur provoque l'entraînement en rotation du récepteur (embrayage actif), d'un mouvement uniformément accéléré, jusqu'à atteindre la fréquence de rotation envisagée  $n$ .

On souhaite déterminer la durée ( $t_1$ ) de la phase d'accélération du récepteur, et la durée ( $t_3 - t_2$ ) de la phase de décélération en configuration débrayage (fig. 8.30).

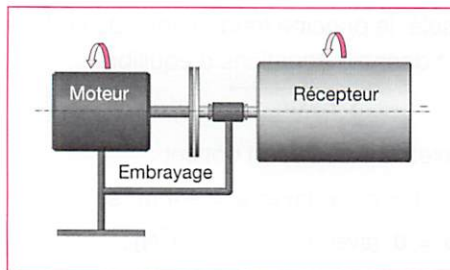


Figure 8.29 Chaîne cinématique « moteur – embrayage – récepteur »

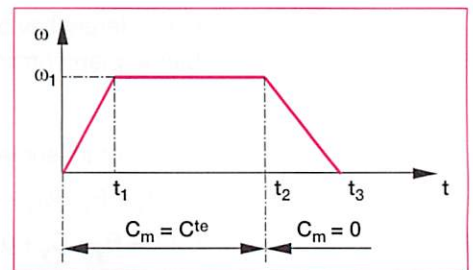


Figure 8.30 Évolution souhaitée de la vitesse angulaire du récepteur

– **Résolution :**

On peut appliquer le *théorème de l'énergie cinétique* à l'ensemble des parties tournantes :

$$\overrightarrow{C}_m + \overrightarrow{C}_r = J_{\Delta} \cdot \overrightarrow{\omega}'$$

En projections algébriques sur l'axe  $\Delta$ , on obtient (avec  $C$  en  $\text{N} \cdot \text{m}$ ,  $J_{\Delta}$  en  $\text{kg} \cdot \text{m}^2$  et  $\omega'$  en  $\text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$ ) :  $C_m - C_r = J_{\Delta} \cdot \omega'$  d'où l'on tire  $\omega' = \frac{C_m - C_r}{J_{\Delta}}$ .

Cet ensemble est animé d'un mouvement uniformément accéléré :

$\omega = \omega'(t - t_0) + \omega_0$  devient  $\omega = \omega' \cdot t$  en considérant les origines du mouvement  $\omega_0 = 0$  et  $t_0 = 0$ .

Le temps  $t_1$  correspond au terme de la phase d'accélération, lorsque la fréquence de rotation  $n$  est atteinte :  $t_1 = \frac{\omega_1}{\omega'} = \frac{\pi \cdot n}{30 \cdot \omega'}$ .

Le débrayage annule la transmission du couple moteur, le théorème de l'énergie cinétique, en projections algébriques sur l'axe  $\Delta$  s'écrit alors :

$$0 - C_r = J_{\Delta} \cdot \omega' \quad \text{d'où l'on tire } \omega' = \frac{-C_r}{J_{\Delta}}$$



L'ensemble est alors animé d'un mouvement uniformément retardé :

$\omega = \omega'(t - t_0) + \omega_0$  devient  $\omega = \omega'(t - t_2) + \omega_1$  en considérant les origines du mouvement  $\omega_0 = \omega_1$  et  $t_0 = t_2$ .

En appliquant cette relation au temps particulier  $t_3$ , on obtient la durée de la phase de décélération :  $0 = \omega'(t_3 - t_2) + \omega$ .

$$t_3 - t_2 = \frac{-\omega_1}{\omega'} = -\frac{\pi \cdot n}{30 \cdot \omega'}$$

.....

## 1.6 Comportement du solide déformable

Le bon comportement d'un mécanisme sur une durée de vie donnée dépend notamment du choix des matériaux dont sont faites les pièces qui le constituent, mais aussi du dimensionnement des pièces sollicitées durant le fonctionnement.

La *résistance des matériaux* permet d'ajuster la correspondance sollicitation/matériau/dimensionnement, elle s'appuie notamment sur les *essais mécaniques* (essai de traction, torsion, flexion, dureté, ...) qui révèlent les aptitudes des alliages à résister à différents types de *sollicitations*.

### 1.6.1 Sollicitations

Dimensionner une pièce, c'est d'abord identifier la sollicitation à laquelle elle est soumise. Une étude statique des pièces considérées permet de diagnostiquer ces sollicitations, de façon évidente dans certains cas de figure (fig. 8.31), après étude approfondie pour des cas plus complexes.

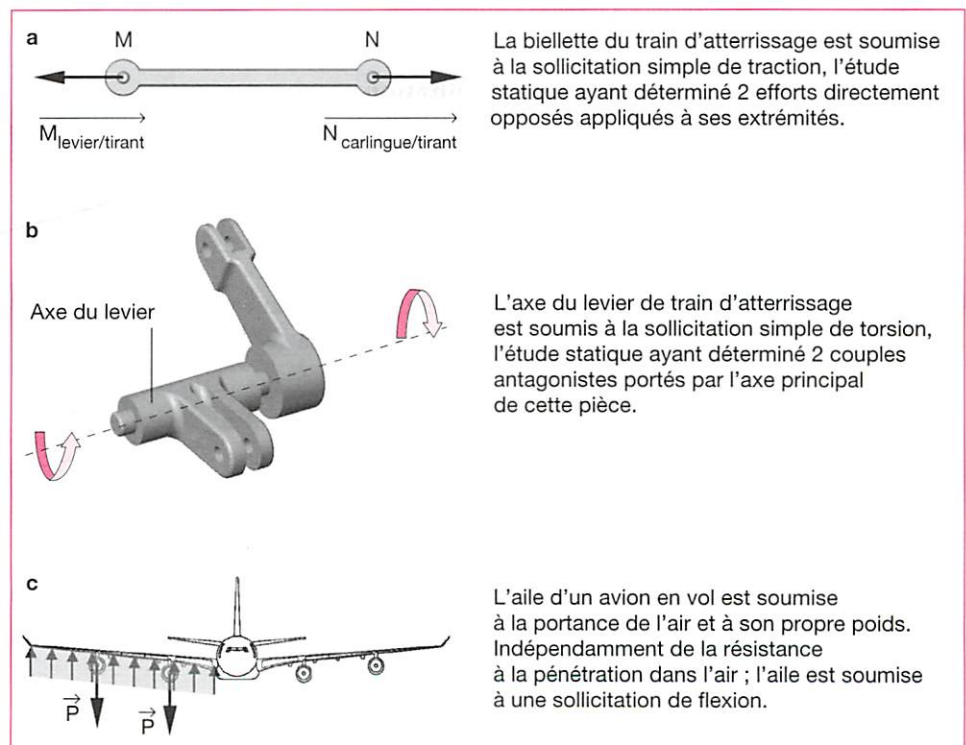


Figure 8.31 Exemples de sollicitations simples

D'autres modèles de sollicitations ont été définis pour répondre à des comportements spécifiques : *cisaillement*, *compression*, *flambage*, *sollicitations composées*, etc.

Quel que soit le cas de figure traité, l'étude des *forces de cohésion* dans une section droite de *poutre* permet de conclure quant à la, ou les, sollicitation(s) existante(s).

### 1.6.2 Notion de poutre

- Les principes généraux de la résistance des matériaux s'appliquent sur des solides en forme de poutre (fig. 8.32), dont une dimension est largement supérieure aux deux autres, de grand rayon de courbure pour cette dimension, sans variation brusque de section et dont on peut définir une ligne moyenne (passant par les barycentres des sections droites).
- On appelle forces de cohésion les actions mécaniques intérieures (à la poutre), permettant la cohésion entre particules de matériau.
- Les matériaux sont considérés *isotropes* (de même propriétés mécaniques dans toutes les directions en un point donné), *homogènes* (de même composition en tous points) et *continus* (sans fissure, creux, ...).
- Les déformations résultant des sollicitations restent faibles par rapport aux dimensions de la poutre considérée.

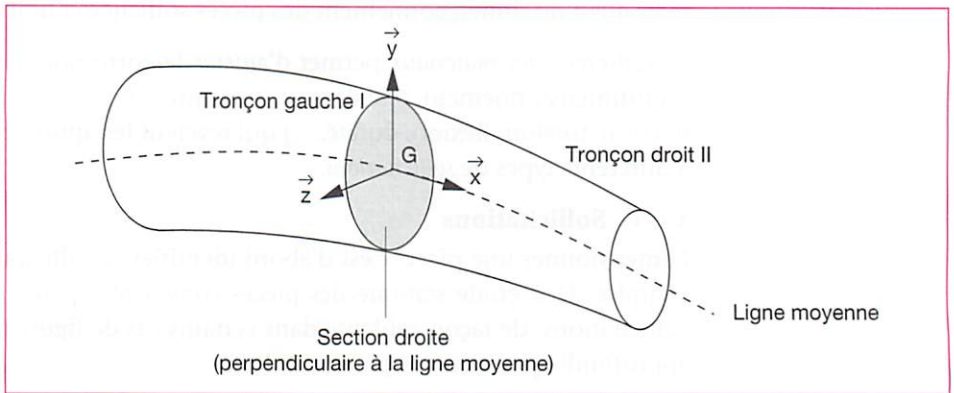


Figure 8.32 Solide « poutre »

### 1.6.3 Torseur de cohésion

Isolant le tronçon gauche de la poutre représentée par la figure 8.33, nous pouvons modéliser les actions mécaniques que le tronçon droit (II) exerce sur la section droite à l'aide d'un torseur de cohésion,  $\{\text{Coh II/I}\}$ , d'éléments de réduction définis au point G, barycentre de la section droite.

Le principe fondamental de la statique appliqué au tronçon gauche permet de déterminer les composantes du *torseur de cohésion*, tenant compte des actions mécaniques extérieures appliquées à la poutre (fig. 8.33).

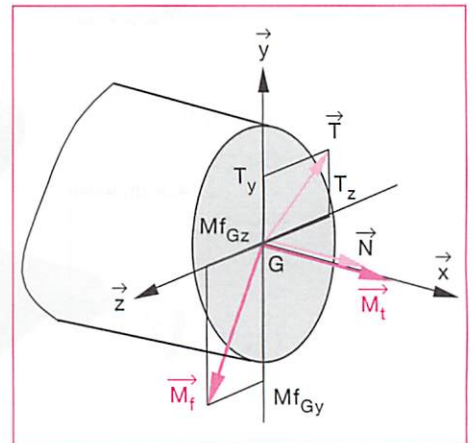


Figure 8.33 Composantes du torseur de cohésion

$$\{\text{Coh II/I}\} = \left\{ \begin{array}{c} \vec{R}_G \\ \vec{M}_G \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{c} N \quad M_t \\ T_y \quad M_{f_{Gy}} \\ T_z \quad M_{f_{Gz}} \end{array} \right\}$$

avec les conventions d'écriture suivantes :

- N : effort normal (à la section droite) ;
- T : effort tranchant ;
- $M_t$  : moment de torsion ;
- $M_f$  : moment fléchissant.



La forme du torseur de cohésion permet de conclure quant à la forme de sollicitation à laquelle la poutre est soumise.

Un torseur de cohésion comprenant une seule composante non nulle ( $N$ ,  $T$ ,  $M_t$  ou  $M_f$ ) correspond à une sollicitation simple (ou pure). Dans le cas contraire, on parle de sollicitation composée. Le tableau 8.2 recense les principaux cas de figure rencontrés.

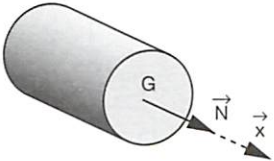
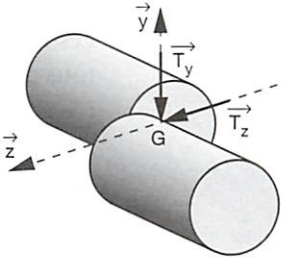
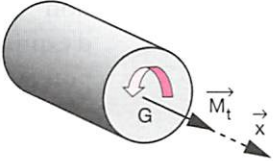
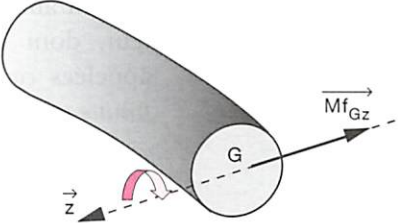
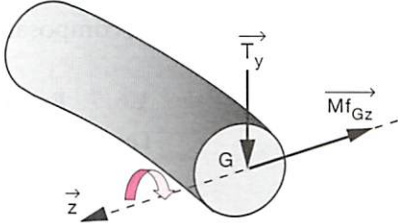
Torseur de cohésion	Sollicitation correspondante	Illustration
$\begin{Bmatrix} N & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{Bmatrix}$	Sollicitation de traction simple (ou compression selon le signe de la résultante)	
$\begin{Bmatrix} 0 & 0 \\ T_y & 0 \\ T_z & 0 \end{Bmatrix}$	Sollicitation de cisaillement simple	
$\begin{Bmatrix} 0 & M_t \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{Bmatrix}$	Sollicitation de torsion pure	
$\begin{Bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & Mf_z \end{Bmatrix}$	Sollicitation de flexion pure	
$\begin{Bmatrix} 0 & 0 \\ T_y & 0 \\ 0 & Mf_z \end{Bmatrix}$	Sollicitation de flexion simple	

Tableau 8.2 Interprétation du torseur de cohésion

Lors d'études approfondies, pour répondre à des cahiers des charges exigeants, ou pour des cas de figure complexes, on a souvent recours à des méthodes de travail plus élaborées, telles que l'extensométrie par exemple. Des jauges de contrainte ou « capteurs de déformation » (fig. 8.34) collées de façon judicieuse sur l'élément sollicité (existant alors) permettent de quantifier les déformations, d'apprécier le comportement, pour remédier éventuellement aux problèmes rencontrés.

La jauge se présente sous la forme d'un conducteur collé sur l'élément sollicité, dans une direction privilégiée, dont on enregistre la déformation longitudinale en observant sa variation de résistance électrique (la résistance électrique d'un conducteur étant proportionnelle à sa longueur).

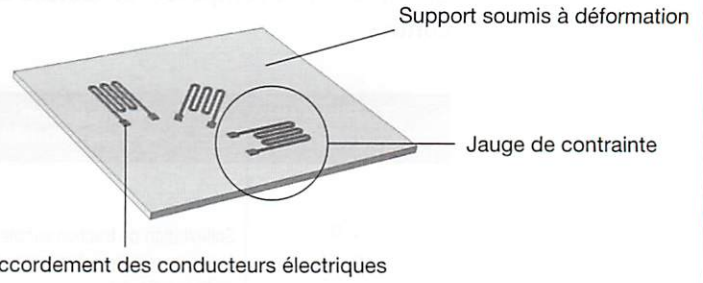


Figure 8.34 Mesure de déformation par jauges de contrainte

### 1.6.4 Notion de contrainte

Les forces de cohésion sont réparties en tous points de la section droite considérée sous forme d'un champ de vecteurs  $\vec{\Delta F}_{\parallel/l}$ , appliqués sur de petits éléments de surface  $\Delta S$  (fig. 8.35).

La notion de *contrainte*  $\vec{CM}_x$  (exprimée en un point M, appartenant à une section droite de normale  $\vec{x}$ ) permet d'exprimer ces forces de cohésion en rapport avec la section droite considérée :

$$\vec{CM}_x = \lim_{\Delta S \rightarrow 0} \frac{\vec{\Delta F}_{\parallel/l}}{\Delta S}.$$

La contrainte est représentée par un vecteur, dont on utilise les projections appelées *contrainte normale*  $\sigma$  et *contrainte tangentielle*  $\tau$ .

La contrainte est homogène à une pression ; l'unité de contrainte équivaut au rapport d'une force par unité de surface (MPa ou  $N \cdot mm^{-2}$ ).

Ainsi, et dans le cas d'une sollicitation de traction simple, la contrainte se limite à sa composante normale  $\vec{\sigma}$ , de norme :  $\sigma = \frac{F}{S}$ .

### 1.6.5 Essai mécanique de traction

Les essais mécaniques réalisés sur des *éprouvettes* de matériaux divers permettent de quantifier leur aptitude à résister à différentes sollicitations. Ces aptitudes, ou *caractéristiques mécaniques*, sont utilisées en bureau d'étude pour dimensionner les pièces en cours de conception.

Ainsi, l'essai de traction, simple à réaliser, économique, permet-il de déterminer la *limite élastique* d'un matériau, paramètre d'importance dans les calculs élaborés.

– **Principe :**

On applique aux extrémités d'une éprouvette de formes et dimensions spécifiques un effort de valeur croissante jusqu'à rupture. L'appareil testeur est composé d'une unité hydraulique, pour développer et contrôler l'effort de traction, et de processeurs permettant l'enregistrement (sous forme de courbe notamment) des paramètres liés à l'essai (fig. 8.36).

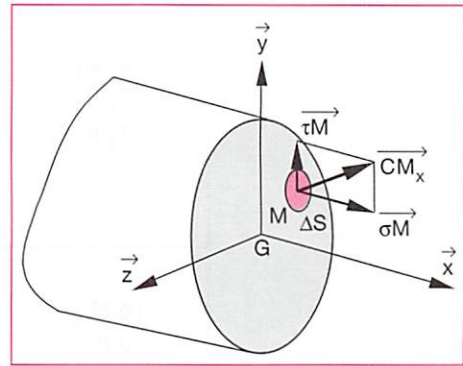


Figure 8.35 Contrainte normale et contrainte tangentielle



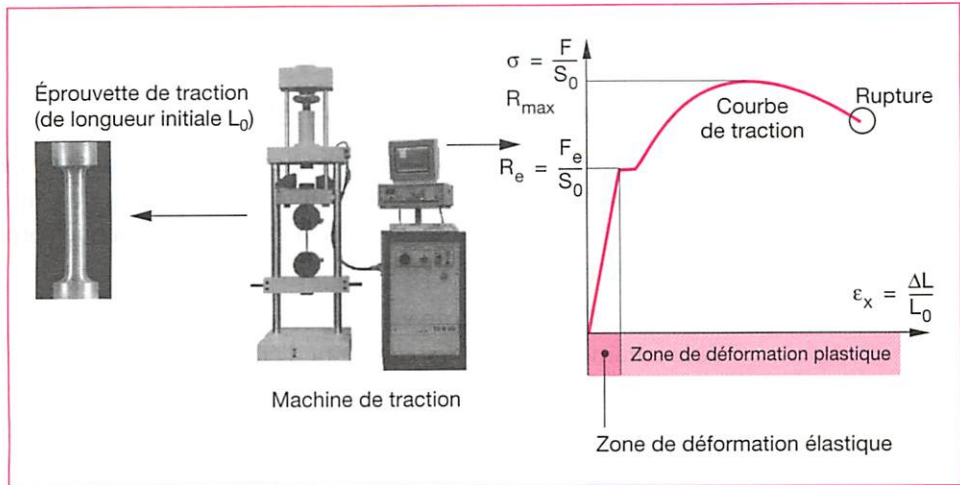


Figure 8.36 Principe d'essai de traction

– Résultats :

$$A\% = \text{allongement après rupture} = \frac{(L - L_0) \cdot 100}{L_0} = (\text{en } \%)$$

$R_e = \text{limite élastique} = \frac{F_e}{S_0}$  (en Mpa) ; l'effort  $F_e$  représente le seuil au-delà duquel l'éprouvette subira des déformations résiduelles irréversibles.

$E = \text{module d'élasticité longitudinal ou module d'Young}$  (environ  $2 \cdot 10^5$  MPa pour les aciers) ; dans le domaine élastique, la contrainte normale  $\sigma$  est proportionnelle à l'allongement  $\epsilon_x$  ( $E$  représente la pente de la courbe de traction), la loi de Hooke traduit ce comportement :  $\sigma = E \cdot \epsilon_x$ .

### 1.6.6 Condition de résistance

Le bon comportement d'une pièce soumise à une sollicitation de traction impose de rester dans le *domaine élastique*.

Par ailleurs, le comportement réel de la pièce ne pouvant correspondre totalement au modèle de sollicitation retenu, les résultats des calculs effectués sont affectés d'un *coefficient de sécurité* (qui dépend notamment du contexte de fonctionnement du mécanisme).

$N$  : effort normal (appliqué à la pièce qui fait l'objet du dimensionnement)

$S$  : section de la pièce soumise à la traction, en  $\text{mm}^2$

$R_e$  : limite élastique du matériau, en MPa

$s$  : coefficient de sécurité, sans unité

$$\text{Condition de résistance : } \frac{N}{S} \leq \frac{R_e}{s}.$$

## exemple

La biellette du train d'atterrissage (voir paragraphe 8.1.6.1), réalisée en acier faiblement allié de limite élastique 615 MPa, est soumise à un effort de traction de 10 500 N. Les coefficients de sécurité retenus dans le domaine aéronautique varient entre 1,5 et 3.

La section de biellette recherchée vaudra donc :  $S \geq \frac{N \cdot s}{R_e} = \frac{10\,500 \times 3}{615} = 51,2 \text{ mm}^2$ , ce qui correspond à un diamètre minimal de 8 mm.

•••••

## 2 Comportement énergétique des systèmes

### 2.1 Chaîne d'énergie du scooter électrique

Le scooter électrique, dont les principales caractéristiques sont données au chapitre 3, présente une chaîne réversible de conversion de l'énergie. Le scooter dispose d'un freinage électrique avec récupération de l'énergie (produite par les phases de freinage et de ralentissement).

#### 2.1.1 Chaîne de conversion directe

La chaîne de *conversion directe* de l'énergie est illustrée par la figure 3.4. L'énergie électrique, fournie par la batterie, est modulée en tension par le *hacheur*, puis convertie en énergie mécanique par le moteur. Cette énergie caractérisée par une fréquence de rotation variable est transmise à la roue du scooter.

##### – Circulation du flux de l'énergie

La figure 8.37 représente l'essentiel de la structure assurant la conversion de l'énergie lors du fonctionnement en configuration moteur. Le schéma électrique complet est donné dans le chapitre 10.

Le transistor *Mosfet*  $TR_1$  et la diode  $D_1$  constituent le *hacheur d'induit*, la diode  $D_3$  n'intervient pas lors du fonctionnement en moteur.

Le transistor *Mosfet*  $TR_2$  et la diode  $D_2$  composent le hacheur d'inducteur.

La batterie débite les courants  $i_a$  et  $i_e$  respectivement dans l'induit et l'inducteur du moteur électrique.

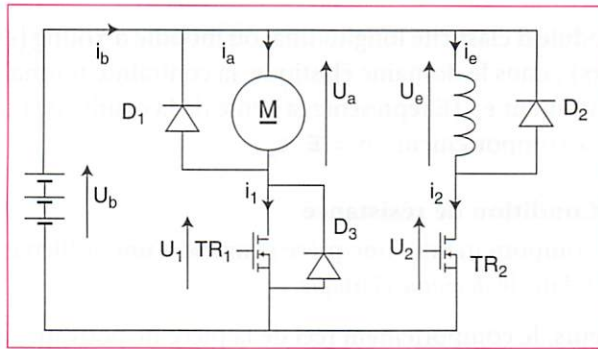


Figure 8.37 Hacheurs d'induit et d'inducteur du scooter

##### – Principe et structure simplifiée d'un hacheur série (fig. 8.38)

La variation de vitesse par l'action sur l'induit est obtenue en hachant la tension fournie au moteur. En effet, la valeur moyenne de cette tension vaut :  $\langle U_M \rangle = \delta \cdot U_A$ ,  $\delta$  est nommé *rapport cyclique* de hachage.

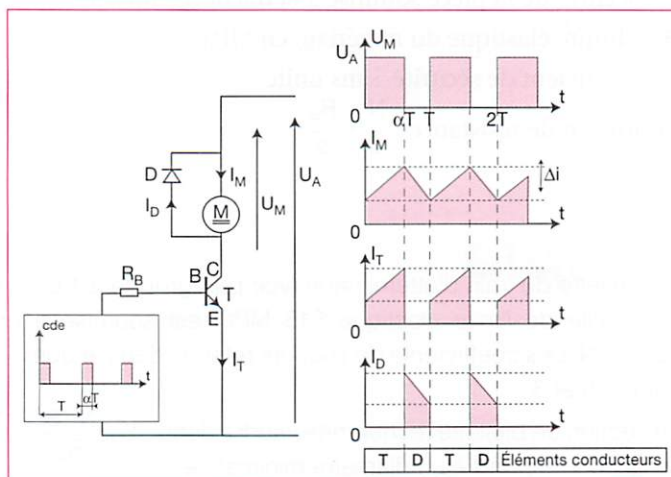


Figure 8.38 Hacheur série : structure et allures des courants



La vitesse du moteur, en première approximation, est proportionnelle à cette tension moyenne  $\langle U_M \rangle$ .

– **Commande des hacheurs. Exemple : le scooter électrique**

La vitesse de rotation d'un moteur à courant continu est proportionnelle à la valeur moyenne de sa tension d'induit. Cette vitesse est aussi inversement proportionnelle au flux d'excitation.

1) Action sur la vitesse en agissant sur la tension d'induit.

Calcul du rapport cyclique du hacheur d'induit pour obtenir le point de fonctionnement du cas (2) défini dans le tableau 3.10 (voir chapitre 3) :

$$\langle U \rangle = U_a = \delta_1 \cdot U_b \text{ avec } U_b = 18 \text{ V donc } \delta_1 = U_a / U_b = 14,6 / 18 = 0,82 .$$

Le couple d'un moteur à courant continu est proportionnel au flux d'excitation.

2) Action sur la vitesse et sur le couple en agissant sur le flux d'excitation (courant dans l'inducteur).

Calcul du rapport cyclique du hacheur d'inducteur pour obtenir le point de fonctionnement du cas (1) défini dans le tableau 3.10 (voir chapitre 3).

$$\langle u \rangle = U_e = \delta_2 \cdot U_b \text{ avec } U_b = 18 \text{ V donc } \delta_2 = U_e / U_b = 4,93 / 18 = 0,27 .$$

**2.1.2 Réversibilité de la chaîne énergétique du scooter**

Lors des phases de ralentissement ou de freinage, l'énergie récupérée augmente l'autonomie du scooter. De plus, cette *réversibilité* offre au conducteur une sensation de « frein moteur » identique à celle d'un scooter thermique.

L'énergie cinétique, emmagasinée par le scooter en mouvement, est transmise par la roue au moteur qui fonctionne alors en *génératrice* ; elle devient énergie électrique pour recharger les batteries. Les différentes étapes de la *conversion inverse* de l'énergie sont mises en évidence par la figure 8.39.

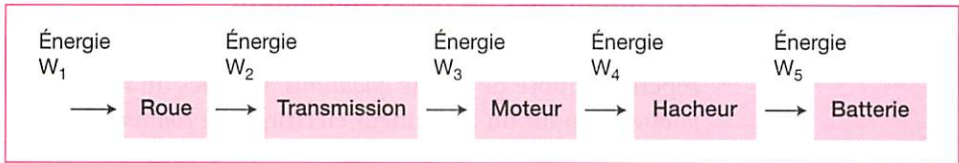


Figure 8.39 Scooter électrique : description de la chaîne de conversion inverse de l'énergie

Tous les éléments de la chaîne doivent être réversibles : la *transmission*, le moteur, le hacheur et la source.

Le *transistor* du hacheur est *unidirectionnel en courant* ; sa réversibilité lui est donnée par la diode  $D_3$  montée en parallèle. Le tableau 8.3 récapitule les caractéristiques de ces différentes énergies.

Énergie	Description
$W_1 = \frac{1}{2} m \cdot v^2$	Énergie cinétique emmagasinée par le scooter en mouvement. Proportionnelle à la masse totale en mouvement et au carré de la vitesse ( $m$ en kg ; $v$ en m/s ; $W_1$ en watts).
$W_2$	Énergie mécanique fournie par la roue ( $W_2$ en watts)
$W_3$	Énergie mécanique transmise au « moteur » fonctionnant en génératrice ( $W_3$ en watts)
$W_4$	Énergie électrique produite par la génératrice ( $W_4$ en watts)
$W_5$	Énergie électrique stockée par la batterie ( $W_5$ en watts)

Tableau 8.3 Caractéristiques des énergies mises en jeu par la chaîne inverse

### - Circulation du flux de l'énergie

La figure 8.40 donne les sens de circulation des courants lors d'une *conversion inverse* de l'énergie, la machine tournante fonctionnant en génératrice.

Le transistor Mosfet  $TR_1$  et la diode  $D_1$  constituant le hacheur ne sont pas sollicités. La diode  $D_3$  ferme le circuit de recharge de la batterie.

Le hacheur de l'inducteur (composé de  $TR_2$  et de  $D_2$ ) agit sur le flux d'excitation afin d'ajuster la tension de la génératrice. En effet, au fur et à mesure du ralentissement, la tension fournie par la génératrice doit toujours être maintenue supérieure à celle de la batterie.

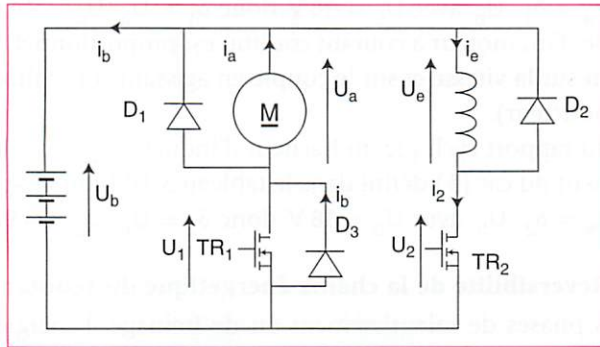


Figure 8.40 Circulation des courants débités par la génératrice

### - Rendement

Les performances d'un système sont liées à celles de chacun de ses sous-systèmes. Les composants de puissance fonctionnent en *commutation*, ils assurent à la chaîne de conversion un bon rendement ; le *rendement* en génératrice est comparable à celui de la même machine tournante en fonctionnement moteur.

## 2.2 Les quadrants de fonctionnement

Il est courant de décrire le fonctionnement d'un système ou d'un *actionneur* dans un repère composé de quatre *quadrants*. Les axes du repère sont souvent le *couple* et la *vitesse* ou, pour un actionneur électrique, le *courant* et la *tension*.

### 2.2.1 Quadrants de fonctionnement du scooter

Que la chaîne de conversion soit directe ou inverse, le sens de rotation de tous les organes de transmission est identique.

L'ensemble des organes mécaniques de la transmission est réversible, la batterie est réversible en courant.

L'actionneur fonctionne dans deux *quadrants* ; il est moteur dans le quadrant  $Q_1$  et générateur dans  $Q_4$  (fig. 8.41).

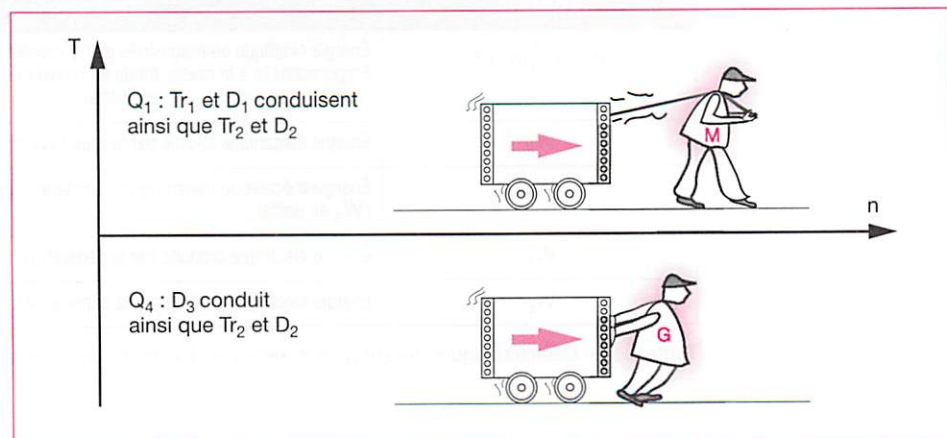


Figure 8.41 Les deux quadrants de fonctionnement du scooter électrique



## exemple

Servomoteur de positionnement d'une vanne de régulation (fig. 8.42).

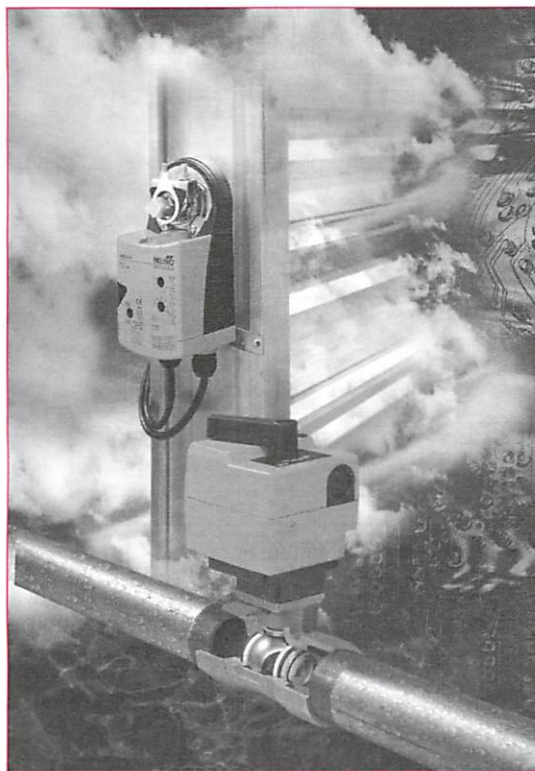


Figure 8.42 Servomoteur sur un registre à vannes et sur une vanne de régulation

### – Puissances mises en jeu

La figure 8.43 décrit la motorisation d'une vanne utilisée dans une boucle de régulation de température.

$P_a$  et  $P_e$  sont des puissances électriques,  $P_u$  la puissance utile fournie par le moteur et  $P_s$  la puissance mécanique disponible sur l'axe de la vanne.

### – Description du fonctionnement

L'ouverture de la vanne agit sur le débit d'eau chaude. La consigne de l'angle d'ouverture de la vanne est fournie par un **potentiomètre** de consigne ( $P_c$ ). La tension délivrée en sortie de ce potentiomètre est donc une image du débit d'eau chaude souhaité.

Une image de la position réelle de la vanne (donc du débit réel) est donnée par la tension en sortie d'un **potentiomètre** de recopie ( $P_r$ ) figures 8.44 et 8.45. Le système est asservi en position grâce à la comparaison entre la consigne et la recopie.

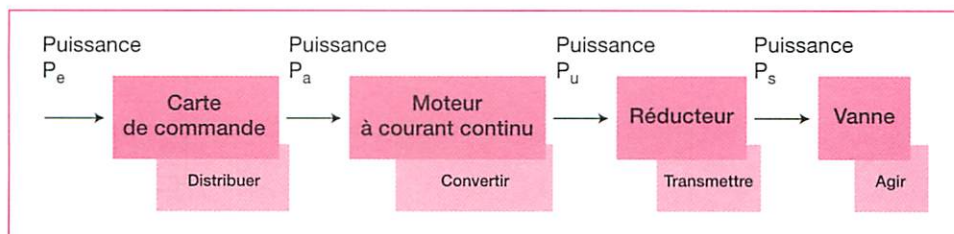


Figure 8.43 Schéma synoptique de l'étage de puissance du servomoteur

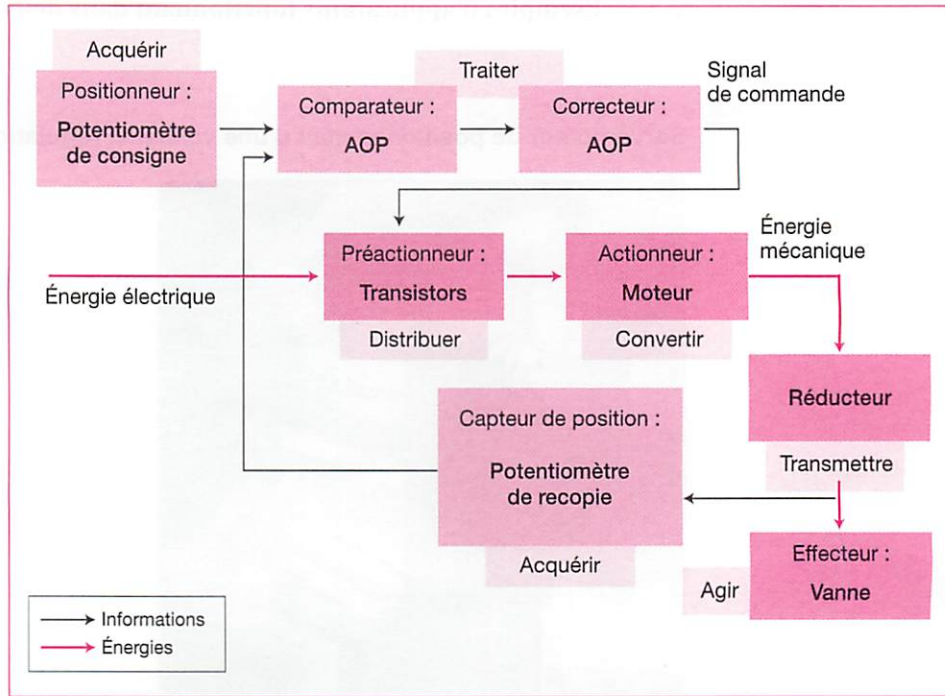


Figure 8.44 Schéma-blocs de la vanne motorisée

Les *informations analogiques* délivrées par les potentiomètres de consigne et de recopie sont traitées par les *amplificateurs opérationnels* (fig. 8.45).

Les conductions de  $Tr_1$  et  $Tr_4$  engendrent un sens de rotation, celles de  $Tr_2$  et  $Tr_3$  engendrent l'autre sens de rotation.

La vitesse du moteur est inversement proportionnelle à la tension résiduelle  $V_{ce}$  aux bornes des transistors. Ceux-ci fonctionnent en amplification.

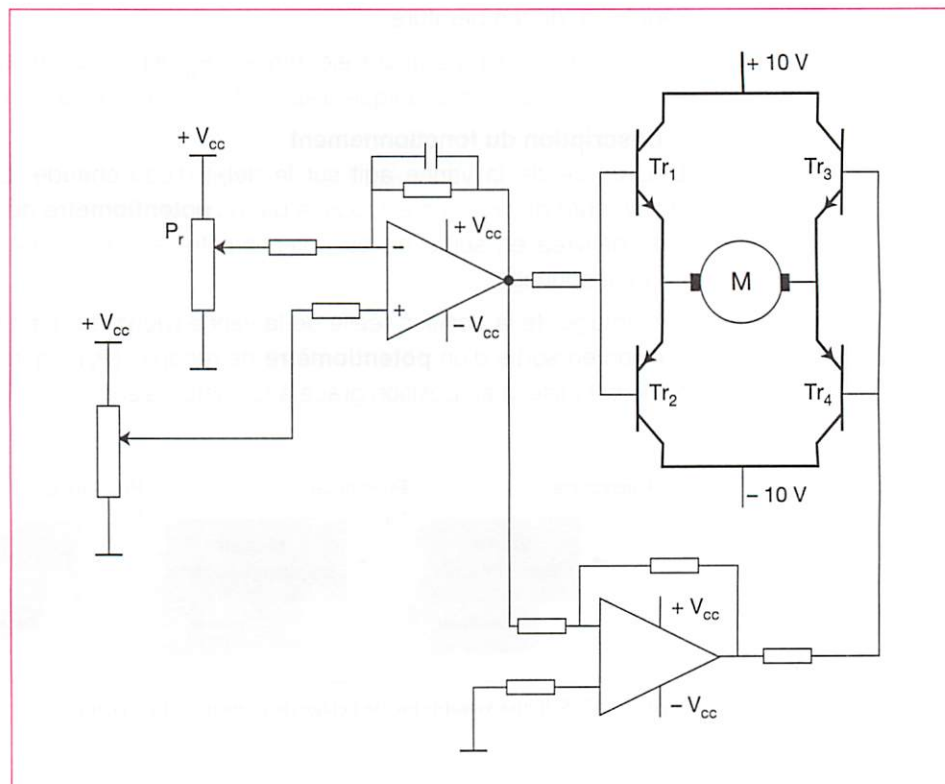


Figure 8.45 Schéma de principe simplifié de la commande de la vanne



– Validation d'un point du cahier des charges

Une fois acquise, la position de la vanne ne devra pas être modifiée par les effets du fluide en circulation.

Pour que la vanne conserve sa position en l'absence de commande, le réducteur n'est pas réversible, l'actionneur fonctionne uniquement dans les deux quadrants « moteur » (fig. 8.46).

Ce système présente une chaîne directe de conversion de l'énergie et ne présente pas de chaîne inverse de conversion ; le réducteur n'est pas réversible.

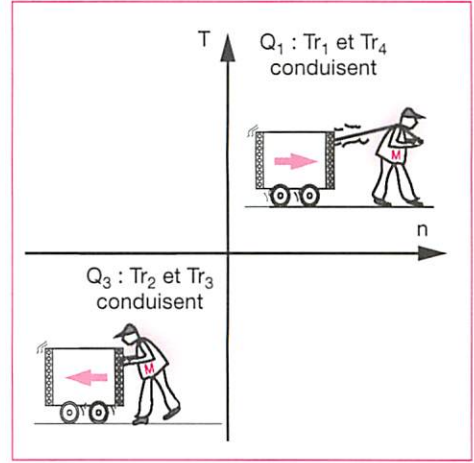


Figure 8.46 Les deux quadrants de fonctionnement de la vanne motorisée

.....

## exemple

**Voiture radio-commandée de compétition** (fig. 8.47).

La figure 8.48 décrit l'organisation de la chaîne de transmission du véhicule. La source d'énergie est une batterie de 8,4 volts, le préactionneur est un variateur de vitesse constitué d'un hacheur à transistors quatre quadrants, la fréquence de hachage est de 1 250 hertz. L'actionneur est un moteur à courant continu de puissance 120 watts sous 8,4 volts.

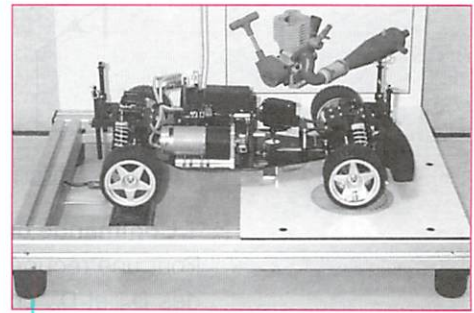


Figure 8.47 Voiture radio-commandée

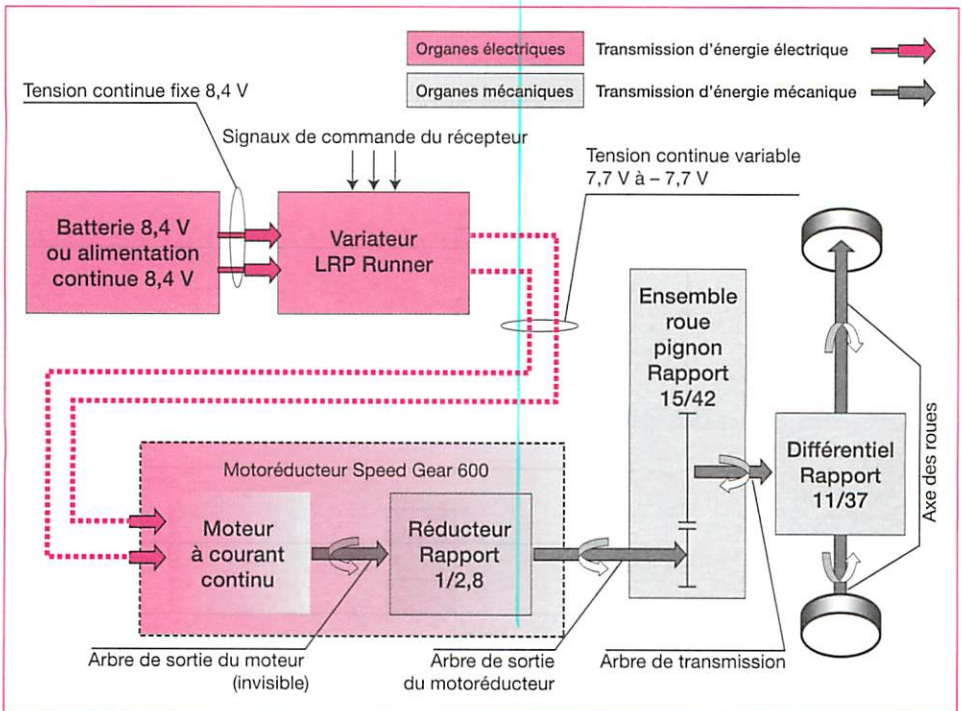


Figure 8.48 Schéma synoptique de la chaîne de transmission d'énergie

– **Constitution de la chaîne de puissance**

Le préactionneur est un pont en H composé de quatre transistors et de quatre diodes câblées tête-bêche sur ces transistors (fig. 8.49).

$T_1$  et  $T_2$  permettent le choix du sens de rotation.

Pour obtenir une vitesse variable dans un sens,  $T_2$  fonctionne en hacheur.

Et réciproquement,  $T_3$  ajuste la fréquence de rotation dans l'autre sens.

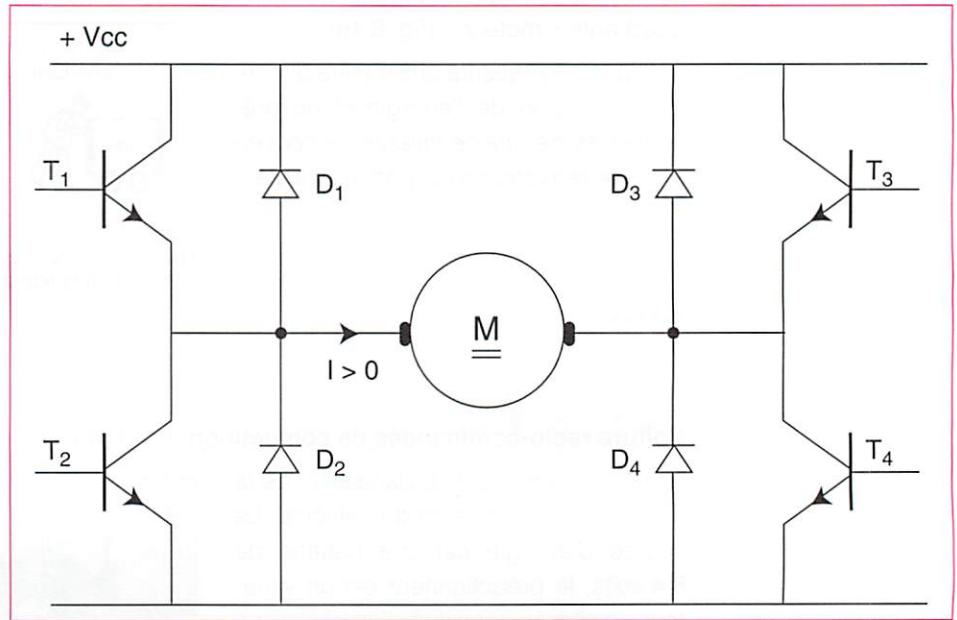


Figure 8.49 Schéma de puissance simplifié de la voiture radio-commandée

– **Commande du pont en H**

Pour une récupération de l'énergie de freinage par recharge des batteries, les diodes  $D_2$  et  $D_3$  conduisent pour un sens de rotation, et  $D_1$  et  $D_4$  pour l'autre sens de rotation (fig. 8.50).

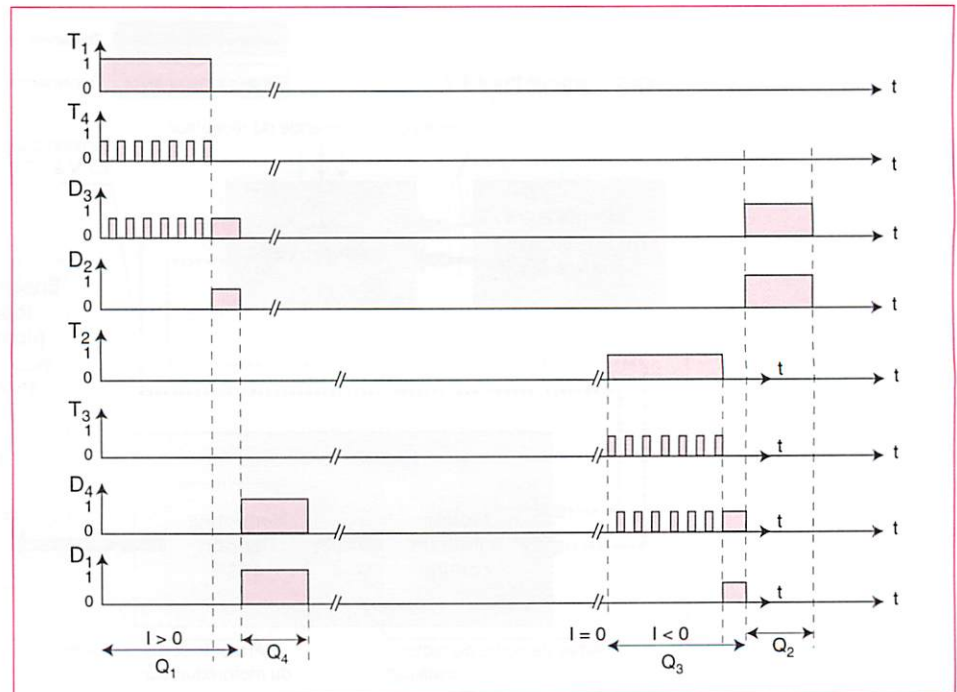


Figure 8.50 Commandes du pont en H, avec récupération de l'énergie de freinage



Pour un freinage sans récupération (fig. 8.51), la génératrice débite un courant élevé : elle fonctionne en génératrice en court-circuit.

Pour un sens de rotation, le transistor  $T_2$  est commandé et la diode  $D_4$  conduit.

Pour l'autre sens, le transistor  $T_1$  est commandé et la diode  $D_3$  conduit.

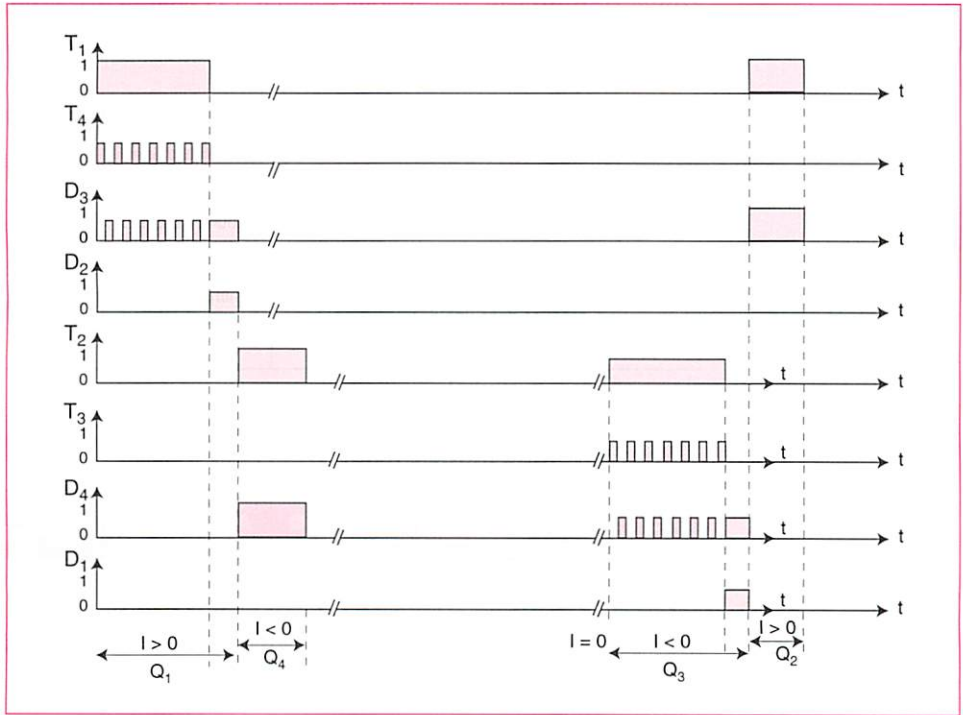


Figure 8.51 Commandes du pont en H, sans récupération de l'énergie de freinage

– Les quadrants de fonctionnement de la voiture sont présentés par la figure 8.52.

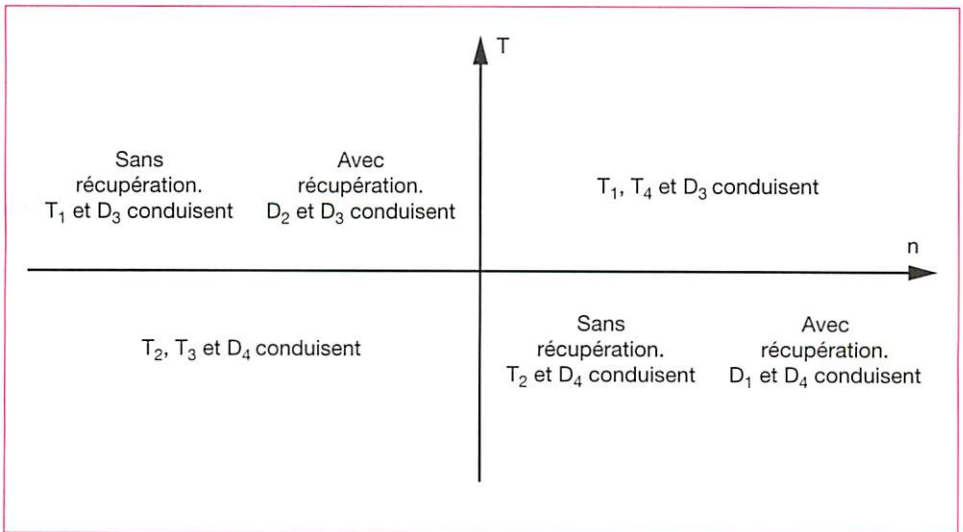


Figure 8.52 Les quatre quadrants de fonctionnement de la voiture radio-commandée

.....

## 2.3 Bilan du comportement énergétique

### 2.3.1 Chaînes de conversion directe et inverse

Les tableaux 8.4 et 8.5 résument, de façon synthétique, le comportement d'un système réversible où la charge est, tantôt résistante, et tantôt entraînée. La phase de conversion directe de l'énergie permet à la charge d'accumuler de l'énergie cinétique qui sera restituée lors de la conversion inverse.

– Pour le scooter :

Chaîne	Scooter	Q	Actionneur	Semi-conducteurs sollicités	Batterie
Directe	En accélération ou à vitesse stabilisée	1	Moteur à courant continu	Induit : $Tr_1$ et $D_1$ Inducteur : $Tr_2$ et $D_2$	Générateur
Inverse	En freinage, ralentissement ou entraîné dans une descente	4	Génératrice à courant continu	Induit : $D_3$ Inducteur : $Tr_2$ et $D_2$	Récepteur

Tableau 8.4 Les deux quadrants du scooter

– Pour la voiture modèle réduit :

Chaîne	Voiture	Q	Actionneur	Semi-conducteurs sollicités	Batterie
Directe Sens avant	En accélération ou à vitesse stabilisée	1	Moteur à courant continu	$T_1$ , $T_4$ et $D_3$	Génératrice
Inverse Sens arrière	En freinage, ou ralentissement	2	Génératrice à courant continu	$D_2$ et $D_3$ ou $T_1$ et $D_3$	Réceptrice ou non active
Directe Sens arrière	En accélération ou à vitesse stabilisée	3	Moteur à courant continu	$T_2$ , $T_3$ et $D_4$	Génératrice
Inverse Sens avant	En freinage, ou ralentissement	4	Génératrice à courant continu	$D_1$ et $D_4$ ou $T_2$ et $D_4$	Réceptrice ou non active

Tableau 8.5 Les quatre quadrants de la voiture radio-commandée

### 2.3.2 Les quadrants de fonctionnement d'un moteur électrique

Les quadrants de fonctionnement d'un moteur électrique sont présentés figure 8.53.

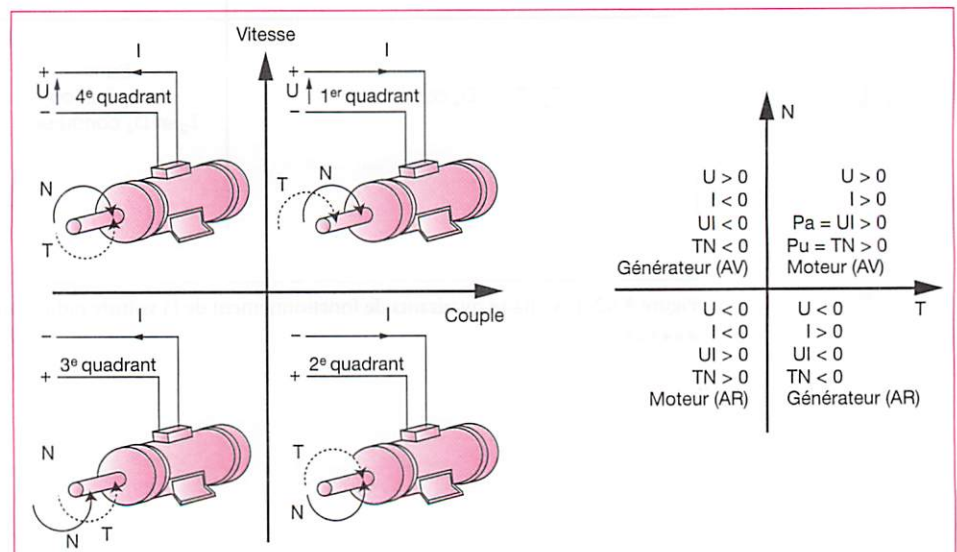


Figure 8.53 Les quatre quadrants de fonctionnement d'un moteur électrique



### 2.3.3 Chaîne de conversion appliquée à la variation de vitesse

Les performances de l'électronique, au service du traitement des informations, et celles de l'électronique de puissance, au service de la *modulation d'énergie*, conduisent à des solutions de conversion très accomplies.

Le contrôle des grandeurs mécaniques est obtenu en agissant sur les grandeurs électriques : l'intensité pour maîtriser le couple, et la tension ou la fréquence pour asservir la vitesse (voir l'exemple d'un *variateur de vitesse* de la figure 8.54).

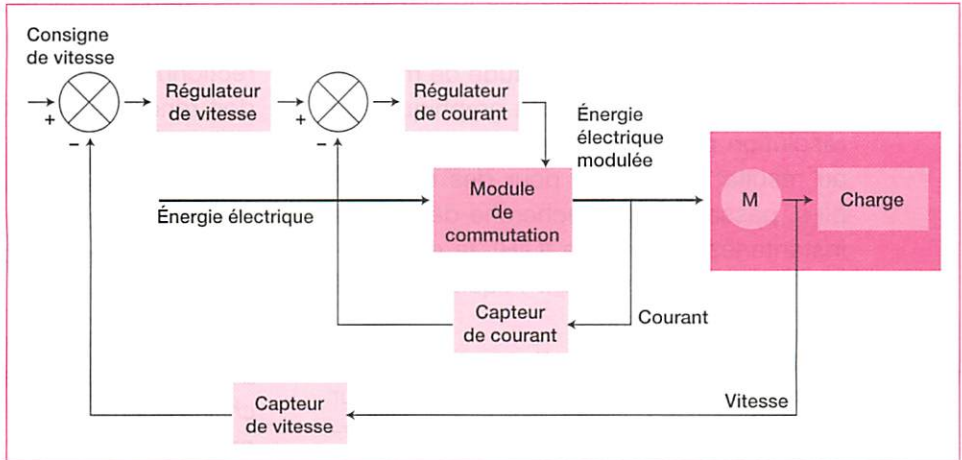


Figure 8.54 Schéma-blocs d'un variateur de vitesse

Un problème de statique intégrant, pour un système matériel isolé, un ensemble de 3 forces coplanaires non parallèles, est facilement résoluble par méthode graphique, traduisant le principe fondamental de la statique :

$$\sum \overrightarrow{\text{forces ext}} = \vec{0} \text{ et } \sum M_M(\overrightarrow{\text{forces ext}}) = 0$$

(les 3 forces étant portées par des droites concourantes, le triangle des forces étant fermé).

En cinématique, lors de l'étude de mouvements plans, les méthodes graphiques de résolution permettent d'arriver rapidement au résultat recherché, pour des cas simples, passant par la recherche de centres instantanés de rotation (CIR), la composition de vitesses, utilisant l'équiprojectivité des vecteurs vitesse.

La considération du frottement dans une liaison détermine l'orientation du vecteur force correspondant par rapport à la surface du contact analysé.

S'il y a mouvement relatif entre pièces en contact, le vecteur force est tangent au cône de frottement.

Dans le cas contraire, ce vecteur force est tangent ou à l'intérieur du cône de frottement (une étude statique permet alors de rechercher son orientation particulière).

L'analyse du torseur de cohésion défini dans une section droite de poutre permet d'identifier la sollicitation à laquelle elle est soumise.

Un torseur de cohésion se limitant à une composante d'effort normal (à la section droite) traduit une sollicitation de traction. L'essai mécanique de traction, réalisé sur des éprouvettes de formes spécifiques permet de quantifier rapidement certaines caractéristiques essentielles des matériaux telles que leur limite élastique par exemple.

Théorèmes généraux de la dynamique :

– pour un mouvement de translation rectiligne :

$$\sum \overrightarrow{F_{\text{ext/S}}} = m \cdot \vec{a}$$

(théorème de la résultante dynamique)

$$\sum M_G(\overrightarrow{F_{\text{ext/S}}}) = 0$$

(théorème du moment dynamique)

– pour un mouvement de rotation autour d'un axe fixe  $\Delta$  :

$$\sum M_{\Delta}(\overrightarrow{F_{\text{ext/S}}}) = J_{\Delta} \cdot \vec{\omega}'$$

(théorème du moment cinétique).

Pour qu'un système soit réversible, il faut que tous les éléments constituant la chaîne de conversion de l'énergie soient réversibles. L'actionneur passe d'un fonctionnement moteur à un fonctionnement générateur. Les réducteurs mécaniques et autres éléments de la transmission doivent être réversibles.

Les semi-conducteurs qui constituent le préactionneur sont individuellement unidirectionnels en courant, leur agencement doit rendre le préactionneur bidirectionnel en courant.

Pour qu'il y ait récupération de l'énergie, lors d'une conversion inverse, la source doit être réversible c'est-à-dire momentanément réceptrice.

**Mots clés :** *accélération, adhérence, arc-boutement, centre instantané de rotation, chaîne cinématique, champ de vitesses, cinématique, cisaillement, cohésion (forces de cohésion, torseur de cohésion), composition de vitesses, contrainte (normale, tangentielle), conversion directe, conversion inverse, couple, déformation (élastique, plastique), diode, dynamique, effort (normal, tranchant), énergie, énergie cinétique, éprouvette, équiprojectivité, essai mécanique, extensométrie, flexion, flux d'excitation, fréquence de hachage, fréquence de rotation, frottement (angle de frottement, coefficient de frottement, cône de frottement), génératrice, graphe de liaisons, hacheur, hyperstatisme, inducteur, induit, inertie (moment d'inertie), isostatisme, jauge de contrainte, limite élastique, loi de Coulomb, loi de Hooke, moment (moment fléchissant, moment de torsion), mouvement (absolu, relatif), poutre, principe fondamental de la dynamique, principe fondamental de la statique, puissance, quadrant de fonctionnement, rapport cyclique, rendement, résistance (résistance au mouvement, résistance des matériaux), roue libre, sollicitation (simple, composée), statique, tension moyenne, théorème de l'énergie cinétique, torsion, traction, transistor.*



# exercices

## EXERCICE 1

Statique. Considérer le sous-ensemble de rétraction (de train d'atterrissage) dans la configuration donnée figure 8.55.

L'effort développé par la tige d'amortisseur sur la biellette  $\vec{H}_{\text{amortisseur/biellette}}$  atteint 2 000 N.

- En déduire graphiquement l'effort qui sera transmis au tirant  $\vec{M}_{\text{levier/tirant}}$ .

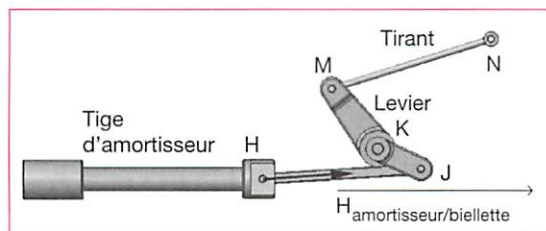


Figure 8.55 Sous-ensemble de rétraction

## EXERCICE 2

Cinématique. À partir de la figure 8.17 (à reprendre à l'échelle 2), et envisageant une vitesse angulaire de sortie de soute du fût  $\|\vec{\omega}_{\text{fût/carlingue}}\|$  proche de  $0,5 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$ :

- Déterminer graphiquement, pour la configuration du mécanisme donné, la vitesse de rentrée de tige correspondante  $\vec{V}_{\text{tige/corps}}$ , on utilisera  $d(A, D) = 1 \text{ m}$  pour déterminer préalablement  $\vec{V}_{\text{fût/carlingue}}$ .

## EXERCICE 3

Résistance des matériaux. Le torseur de cohésion permet d'identifier le type de sollicitation à laquelle est soumise une pièce.

1. Indiquer, à la lecture du torseur de cohésion proposé ci-joint, la sollicitation reconnue :

$$\text{Résistance des matériaux : } \{ \text{Coh II/I} \} = \begin{Bmatrix} N = 15\,000 \text{ N} & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{Bmatrix}$$

2. Déterminer la limite élastique du matériau susceptible de convenir à cette sollicitation (en considérant un diamètre de pièce sollicitée égal à 10 mm et un coefficient de sécurité égal à 5).

## EXERCICE 4

Dynamique. À partir de l'exemple traité par la figure 8.28.

1. Déterminer la poussée permettant d'amorcer le mouvement de translation rectiligne de l'avion (la résistance à la pénétration dans l'air étant alors négligée).
2. Déterminer ce que serait la longueur de piste nécessaire à l'atterrissage (l'ensemble des trains étant en contact avec le sol), sans freinage de l'avion (vitesse initiale réduite à  $300 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ , réacteurs à l'arrêt).

## EXERCICE 5

Sécatteur électrique, quadrants de fonctionnement et flux d'énergie.

Le circuit de puissance du sécatteur électrique Infaco donné par la figure 8.56 utilise un moteur électrique à courant continu.

1. Distinguer les deux quadrants de fonctionnement exploités.
2. Indiquer le parcours du courant lorsque le moteur fonctionne en mode moteur puis lorsqu'il fonctionne en mode génératrice.

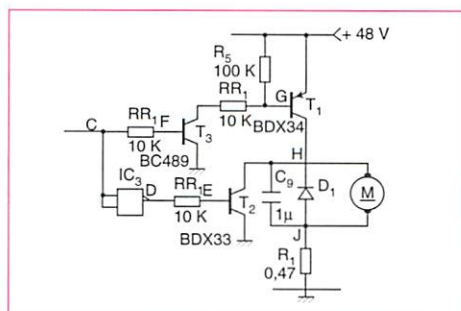


Figure 8.56 Circuit de puissance du sécatteur électrique Infaco



**EXERCICE 6**

Ouvre portail. Sens de rotation. Un ouvre portail est équipé d'un moteur à courant continu (à aimants permanents), fonctionnant dans les quatre quadrants. Les sens de rotation sont obtenus à l'aide des contacts inverseurs de deux relais (commutation à vide).

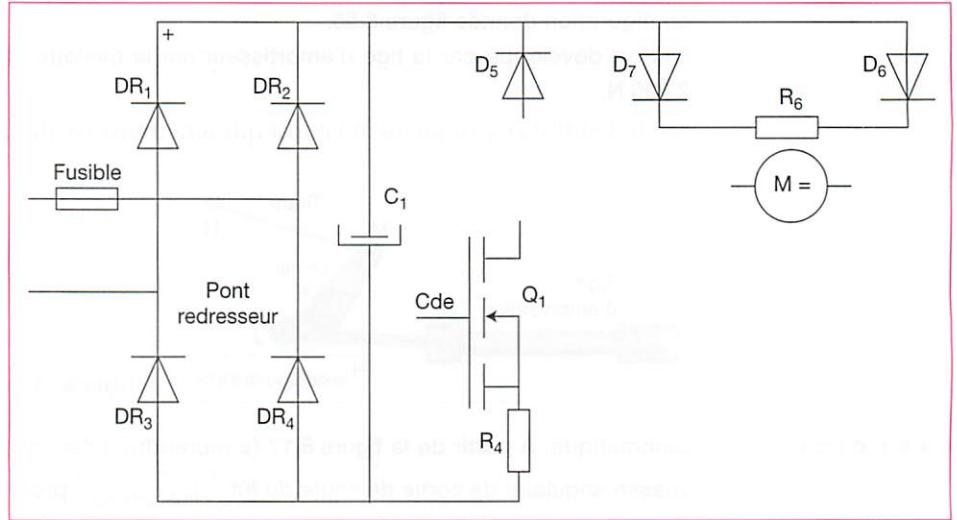


Figure 8.57 Schéma électrique du moteur à courant continu à compléter

- Compléter le schéma de la figure 8.57 permettant les deux sens de rotation en mode moteur et indiquer les parcours du courant. Indiquer de même la circulation des courants lors des phases de freinage.

**EXERCICE 7**

Voiture radiocommandée. Réversibilité, quadrants de fonctionnement et flux d'énergie.

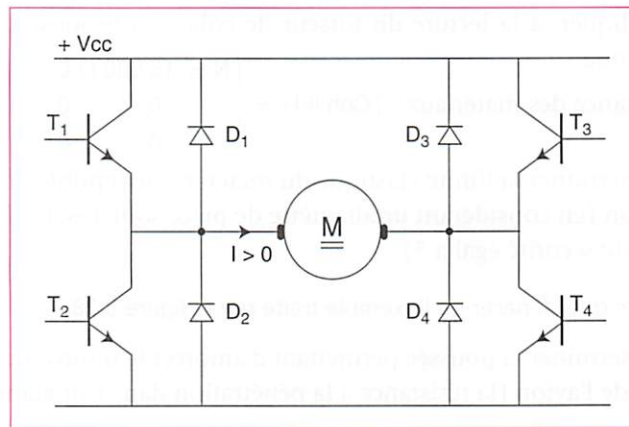


Figure 8.58 Fonctionnement des quadrants. Schéma à compléter

- Dessiner sur le schéma de la figure 8.58 en indiquant un repère 1, le trajet du courant lorsque la voiture fonctionne dans le premier quadrant. Procéder de la même façon pour les fonctionnements dans les trois autres quadrants.

**EXERCICE 8**

Exercice de synthèse. Évolution du cahier des charges du scooter électrique.

Grandeurs électriques de la chaîne de conversion.

L'alimentation du scooter est réalisée par une batterie unique de 24 V – 100 Ah.

1. Calculer la nouvelle autonomie du scooter lorsqu'il roule à 45 km/h et à 30 km/h en mode économique (voir conditions définies au paragraphe 3.1.3.4) (voir chapitre 3).
2. Calculer les rapports cycliques des hacheurs d'induit et d'inducteur pour assurer les points de fonctionnement définis dans le tableau 3.10 (voir chapitre 3).

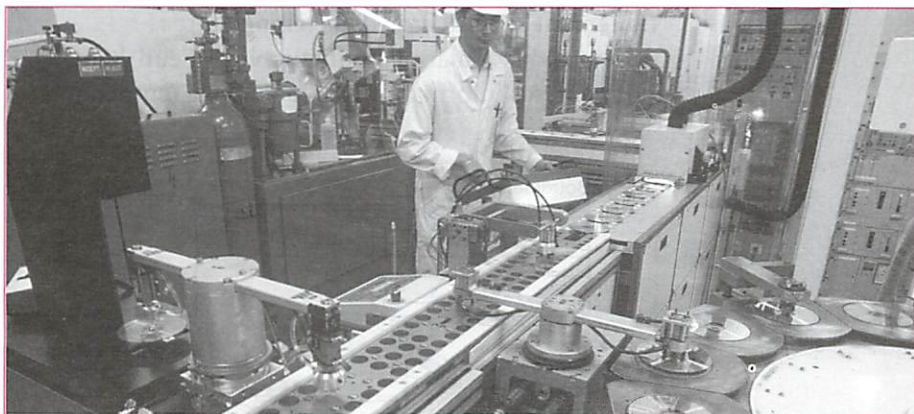


Figure 9.1 Système automatisé de production industrielle

Que ce soit dans l'environnement quotidien (téléphones portables, appareils photos, télévisions...) ou dans l'environnement industriel (commande des systèmes automatisés de production, régulation de grandeurs physiques...), les produits et les systèmes technologiques traitent une multitude d'informations. Les outils d'analyse et de conception permettant d'élaborer ces systèmes développent de plus en plus de moyens de traitement numérique de l'information qui remplacent ainsi, progressivement, les systèmes analogiques.

### Compétences

Un système de traitement intégré à une chaîne d'information étant disponible sous forme matérielle et/ou défini par son dossier :

- ▶ Lister et caractériser les entrées et les sorties.
- ▶ Identifier les opérateurs logiques et arithmétiques utilisés.
- ▶ Déterminer le format numérique adapté.
- ▶ Établir, pour un système combinatoire, l'expression d'une fonction logique, la représenter sous les formes tabulées, d'équations ou graphiques.

Un cahier des charges d'une application étant donné, les frontières de l'étude précisées :

- ▶ Élaborer tout ou partie du modèle comportemental.

Pour une application donnée sur un système séquentiel mis à disposition et/ou défini par un dossier, le cahier des charges et les frontières de l'étude étant précisés et le grafset fourni :

- ▶ Analyser et interpréter le grafset fourni en décrivant, depuis une situation donnée, la suite des situations atteintes au cours de l'évolution.
- ▶ Vérifier le respect de certaines contraintes formulées dans le cahier des charges (temporelles, de sécurité).
- ▶ Élaborer un diagramme décrivant l'enchaînement temporel des différentes tâches.



# 1 L'information

## 1.1 Nature de l'information

Les informations associées à une variable physique peuvent être de nature analogique, numérique, ou logique. La figure 9.2 représente le système de contrôle de température de la boudineuse de savon « Savonicc » (voir figure 6.3) :

- le signal électrique délivré par la sonde de température (thermorésistance Pt100) est une information analogique à la température du bain d'huile de réchauffage de la pâte à savon ;
- le convertisseur analogique numérique, intégré au régulateur de température, transforme l'information analogique en information numérique pour exécuter le traitement et l'affichage de la température ;
- les signaux d'alarme configurables « Seuil haut  $> 45^\circ$  » et « Seuil bas  $< 40^\circ$  » donnent des informations logiques de la température.

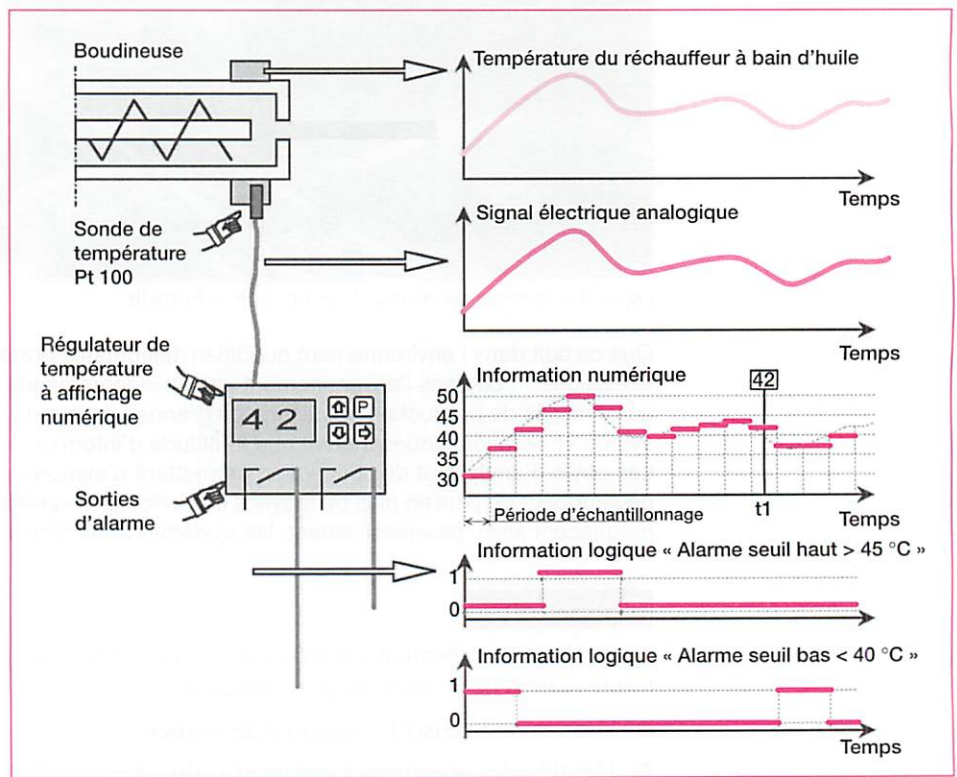


Figure 9.2 Mesure et contrôle de température de la boudineuse de savon « Savonicc »

### 1.1.1 Information analogique

**Une information (tension, courant...) analogique est proportionnelle à la grandeur physique représentée (température, pression, débit, vitesse, accélération, force...). Elle est continue dans le temps et peut prendre une infinité de valeurs.**

### 1.1.2 Information logique

**Une information logique ne peut prendre que deux états distincts « vrai ou faux », « 0 ou 1 », « tout ou rien ».**

### 1.1.3 Information numérique

**Une information numérique binaire est une succession d'informations binaires (bits) de différents poids pour former un mot représentant une valeur numérique.**

## 1.2 Les systèmes de numération

### 1.2.1 Nombre en base 10 ou décimal

Un *nombre en base 10* est une association de chiffres décimaux (0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9) représentant respectivement les puissances de 10 (unités, dizaines, centaines...).

**exemple**

$$347_{10} = 3 \cdot 10^2 + 4 \cdot 10^1 + 7 \cdot 10^0.$$

.....

### 1.2.2 Nombre positif en base 2 ou binaire

Un *nombre en base 2* est une association de chiffres binaires (0 ou 1) représentant respectivement les puissances de 2.

**exemple**

$$1\ 01011011_2 = 1 \cdot 2^8 + 0 \cdot 2^7 + 1 \cdot 2^6 + 0 \cdot 2^5 + 1 \cdot 2^4 + 1 \cdot 2^3 + 0 \cdot 2^2 + 1 \cdot 2^1 + 1 \cdot 2^0$$

.....

### 1.2.3 Nombre en base 16 ou hexadécimal

Un *nombre en base 16* est une association de symboles hexadécimaux (0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, A, B, C, D, E, F) représentant respectivement les puissances de 16.

**exemple**

$$15B_{16} = 1 \cdot 16^2 + 5 \cdot 16^1 + B \cdot 16^0 = 1 \cdot 16^2 + 5 \cdot 16^1 + 11 \cdot 16^0$$

.....

### 1.2.4 Nombre binaire en complément à 2 sur un format de 16 bits

Le bit de poids fort (MSB : Most Significant Byte) représente le signe du nombre. Par convention, il a été choisi la valeur 0 pour les nombres positifs et la valeur 1 pour les nombres négatifs.

La figure 9.3 montre les *nombres binaires* en complément à 2. On peut facilement constater la relation logique qui existe entre le nombre « N » et le nombre « - N ».

$$-N = \bar{N} + 1$$

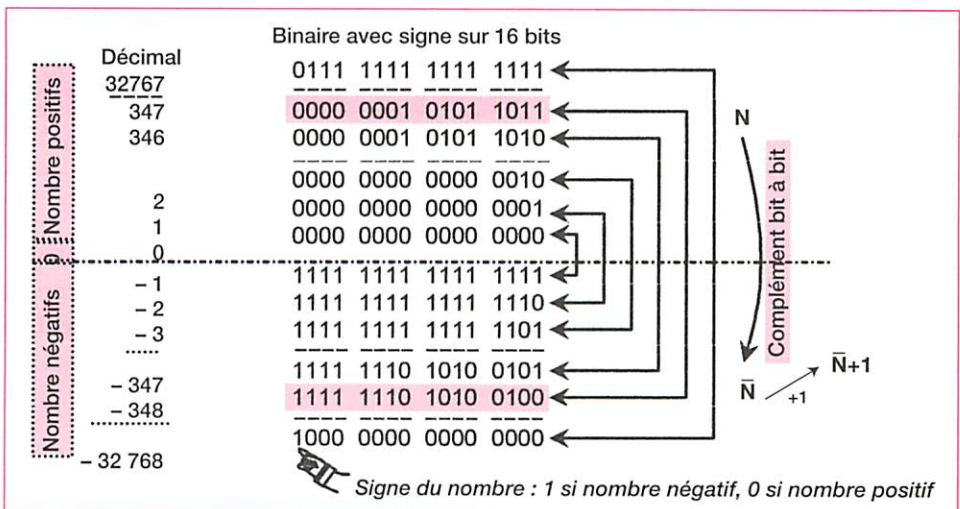


Figure 9.3 Représentation des nombres binaires en complément à 2




## 1.3 Les codes

### 1.3.1 Binaire pur

Toute donnée entrant, par exemple, dans un ordinateur ou un automate est transcrite en code binaire pur.

Le *code binaire pur* utilise la numération binaire. La figure 9.4 montre la construction par copie du code binaire pur en partant du poids faible (Last Significant Byte) en rajoutant les bits de poids supérieur pour atteindre le bit de poids fort.

Décimal 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15

 À partir de la gauche, copier le rectangle vers la droite. Ajouter les « 0 » sous l'original et les « 1 » sous le résultat obtenu après copies.

		Copier															
Binaire pur	b0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
	b1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1
	b2	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1
	b3	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1

N = bn .....b3 b2 b1 b0


Figure 9.4 Code binaire pur

On constate que plusieurs bits changent d'état entre deux valeurs voisines. Si le changement de tous les bits n'est pas synchrone, le résultat temporaire risque d'être aberrant.

### 1.3.2 Binaire réfléchi ou code GRAY

La figure 9.5 montre la construction, par symétrie, du code « binaire réfléchi » appelé aussi code « Gray ».

Décimal 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15

 Faire la symétrie du tableau vers la droite, ajouter des « 0 » sous l'original et des « 1 » sous la copie

		Symétrie															
Binaire pur	g0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0
	g1	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0
	g2	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
	g3	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1

G = gn .....g3 g2 g1 g0

Figure 9.5 Code binaire réfléchi ou code Gray

On constate qu'un seul bit change d'état entre deux valeurs voisines. Il ne peut pas exister de résultat temporaire aberrant entre deux valeurs voisines. Du fait de cette propriété, le code « Gray » est très employé, notamment dans les codeurs absolus de position.

## exemple

Un codeur rotatif absolu de 12 pistes pourra coder  $2^{12} = 4\,096$  positions (pas) sur un tour, soit une définition de 0,088 degré.

.....

### 1.3.3 Code BCD (Binary Code Decimal)

Le code BCD (ou, en français, code DCB pour « décimal code binaire ») est utilisé pour l’affichage des nombres décimaux.

Pour afficher un chiffre décimal (0 à 9) sur un afficheur encodé 7 segments, il suffit de transmettre le code binaire de ce chiffre.

Pour afficher un nombre décimal de plusieurs digits (unités, dizaines, centaines, milliers...), il faut transmettre séparément le code binaire de chacun des digits. La concaténation des codes binaires donne le code « BCD » (fig. 9.6).

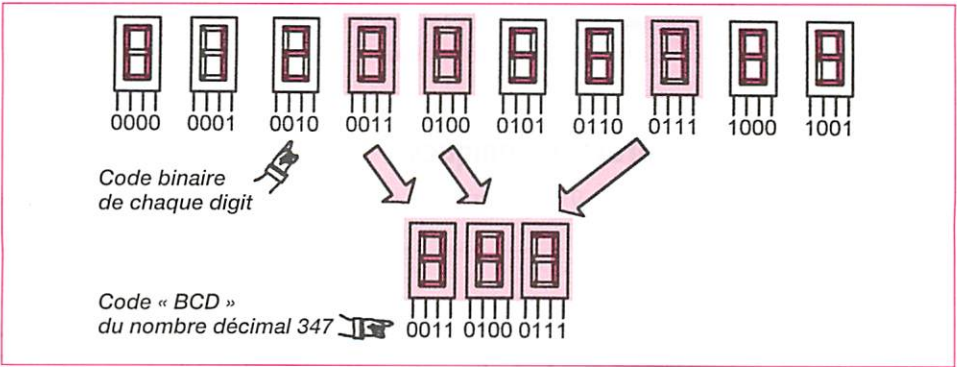


Figure 9.6 Code BCD

### 1.3.4 Code ASCII

Le code ASCII (American Standard Code for Information Interchange) est principalement utilisé pour la transmission en série des caractères alphanumériques (chiffres, lettres, caractères spéciaux) dans les systèmes informatiques (tableau 9.1).

Char	Dec	Hex	Char	Dec	Hex	Char	Dec	Hex	Char	Dec	Hex
Nul	0	0	Sp	32	20	@	64	40	`	96	60
SOH	1	1	!	33	21	A	65	41	a	97	61
STX	2	2	"	34	22	B	66	42	b	98	62
ETX	3	3	#	35	23	C	67	43	c	99	63
EOT	4	4	\$	36	24	D	68	44	d	100	64
ENQ	5	5	%	37	25	E	69	45	e	101	65
ACK	6	6	&	38	26	F	70	46	f	102	66
BEL	7	7	'	39	27	G	71	47	g	103	67
BS	8	8	(	40	28	H	72	48	h	104	68
HT	9	9	)	41	29	I	73	49	i	105	69
LF	10	A	*	42	2A	J	74	4A	j	106	6A
VT	11	B	+	43	2B	K	75	4B	k	107	6B
FF	12	C	,	44	2C	L	76	4C	l	108	6C
CR	13	D	-	45	2D	M	77	4D	m	109	6D
SO	14	E	.	46	2E	N	78	4E	n	110	6E
SI	15	F	/	47	2F	O	79	4F	o	111	6F
DLE	16	10	0	48	30	P	80	50	p	112	70
DC1	17	11	1	49	31	Q	81	51	q	113	71
DC2	18	12	2	50	32	R	82	52	r	114	72
DC3	19	13	3	51	33	S	83	53	s	115	73
DC4	20	14	4	52	34	T	84	54	t	116	74
NAK	21	15	5	53	35	U	85	55	u	117	75
SYN	22	16	6	54	36	V	86	56	v	118	76
ETB	23	17	7	55	37	W	87	57	w	119	77
CAN	24	18	8	56	38	X	88	58	x	120	78
EM	25	19	9	57	39	Y	89	59	y	121	79
SUB	26	1A	:	58	3A	Z	90	5A	z	122	7A
ESC	27	1B	;	59	3B	[	91	5B	{	123	7B
FS	28	1C	<	60	3C	\	92	5C		124	7C
GS	29	1D	=	61	3D	]	93	5D	}	125	7D
RS	30	1E	>	62	3E	^	94	5E	~	126	7E
US	31	1F	?	63	3F	_	95	5F	Del	127	7F

Tableau 9.1 Correspondance entre le code ASCII et les base hexadécimale et décimale



## 2 Comportement des systèmes logiques combinatoires

Le comportement des systèmes automatisés combinatoires est généralement analysé à l'aide d'un outil graphique « le tableau de Karnaugh ». L'écriture de l'expression algébrique qui en découle, permet une représentation graphique sous forme de schéma à contacts ou de logigramme.



**Un système de commande est dit combinatoire si, à tout instant, l'état des sorties ne dépend que de l'état des entrées. La relation qui lie chaque sortie aux entrées est une proposition logique.**

### 2.1 Opérateurs logiques

La figure 9.7 présente les opérateurs logiques fondamentaux.

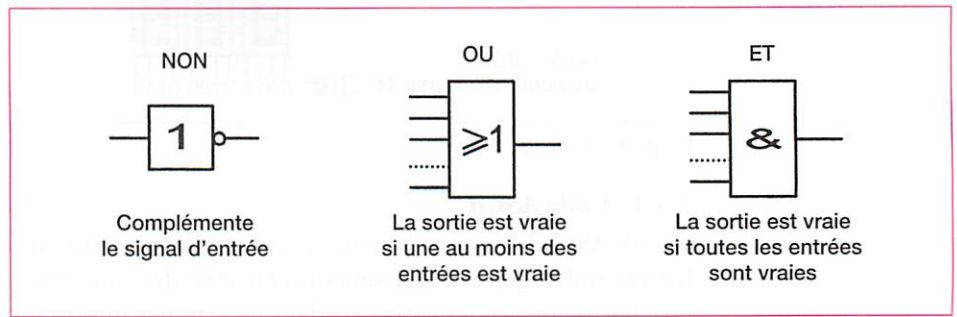


Figure 9.7 Opérateurs logiques fondamentaux

### 2.2 Outils de description

#### exemple

Élaborer le modèle comportemental d'un décodeur binaire/7 segments.

Le décodeur « BCD 7 segments » commande le fonctionnement des 7 segments « a, b, c, d, e, f, g » d'un afficheur en fonction du code binaire «  $a_3 a_2 a_1 a_0$  » du caractère à afficher (fig. 9.8).

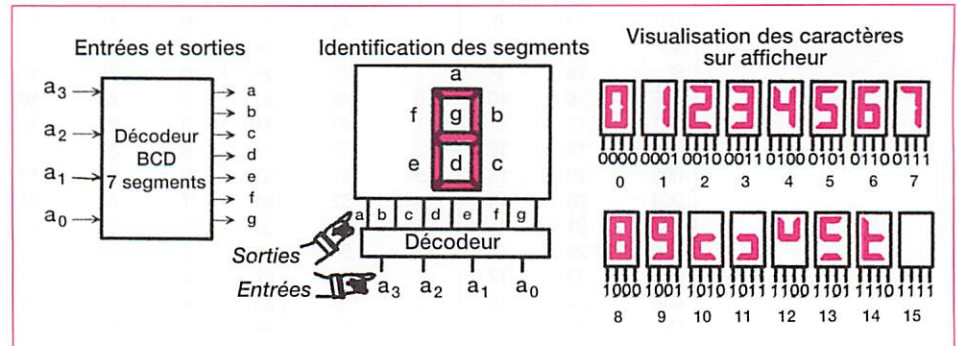


Figure 9.8 Décodeur et afficheur 7 segments



Pour élaborer le modèle comportemental d'un décodeur binaire 7 segments, plusieurs outils logiques sont possibles.

### 2.2.1 Proposition logique

On peut faire une *proposition logique* pour chacune des sorties du décodeur. Exemple : le segment « e » est allumé si les caractères « 0 », « 2 », « 6 », « 8 », « 10 », « 14 » sont commandés (fig. 9.8).

### 2.2.2 Expression algébrique logique

De la proposition logique précédente, on peut déduire l'expression algébrique logique du segment « e » :

$$e = \bar{a}_3 \cdot \bar{a}_2 \cdot \bar{a}_1 \cdot \bar{a}_0 + \bar{a}_3 \cdot \bar{a}_2 \cdot a_1 \cdot \bar{a}_0 + \bar{a}_3 \cdot a_2 \cdot a_1 \cdot \bar{a}_0 + a_3 \cdot \bar{a}_2 \cdot \bar{a}_1 \cdot \bar{a}_0 + a_3 \cdot \bar{a}_2 \cdot a_1 \cdot \bar{a}_0 + a_3 \cdot a_2 \cdot a_1 \cdot \bar{a}_0$$

### 2.2.3 Table de vérité

La *table de vérité* du tableau 9.2 définit la valeur logique « 0 » ou « 1 » de la sortie « e » du décodeur en fonction de l'état logique des entrées {a3, a2, a1, a0} (fig. 9.8).

Caractères		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Entrées	a <sub>3</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1
	a <sub>2</sub>	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1
	a <sub>1</sub>	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1
	a <sub>0</sub>	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
Sortie	e	1	0	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	1	0

Tableau 9.2 Table de vérité de la sortie « e » du décodeur en fonction des entrées

### 2.2.4 Tableau de Karnaugh

Le *tableau de karnaugh* est un tableau à double entrée dans lequel on note l'état logique de la sortie en fonction de l'état des entrées. Pour n variables d'entrées, le tableau est constitué de 2<sup>n</sup> cases qui représentent les 2<sup>n</sup> états possibles des entrées (fig. 9.9).

#### – Construction du tableau

Les entrées vraies (a<sub>n</sub> = 1) sont repérées sur les lignes ou sur les colonnes par un trait fort (disposition des entrées en binaire réfléchi).

À chaque case correspond un état des entrées.

#### – Remplissage du tableau de Karnaugh

On note dans chaque case, l'état vrai ou faux de la variable de sortie e.

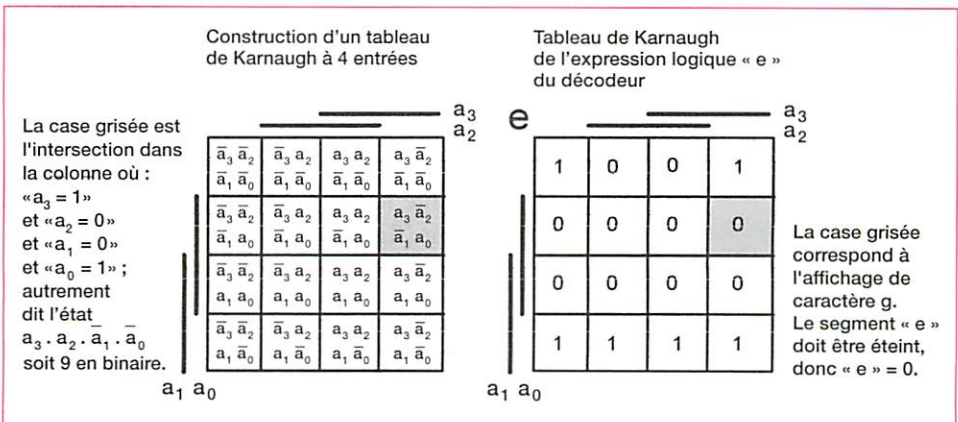


Figure 9.9 Tableau de Karnaugh



### 2.2.5 Simplification des expressions logiques

La simplification d'une expression logique consiste à réduire le nombre d'opérateurs logiques et/ou le nombre de variables.

On constate que la simplification a lieu quand les combinaisons sont des cases adjacentes dans le tableau de Karnaugh (conséquence de la relation algébrique logique «  $a + \bar{a} = 1$  »).

Pour trouver la forme simplifiée polynôme, on recherche les cases adjacentes qui ont pour valeur « 1 » et on les regroupe, par multiple de 2, en « paquets » les plus gros possibles. Il faut arriver à regrouper en une ou plusieurs fois toutes les cases. La fonction polynôme simplifiée est l'union (OU) des paquets regroupés qui forment la valeur 1 (fig. 9.10).

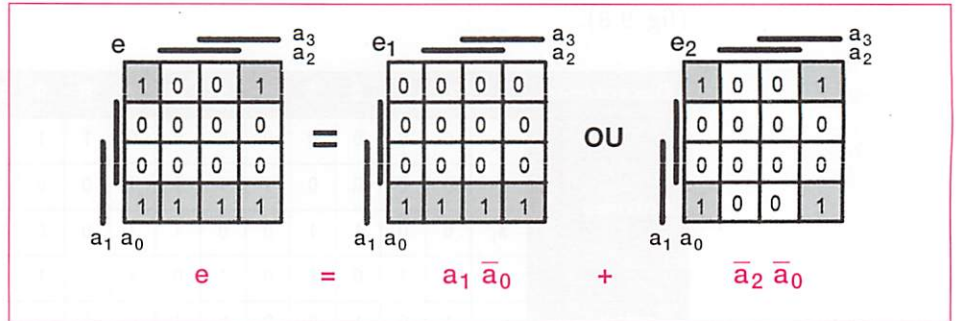


Figure 9.10 Simplification sous forme polynôme

### 2.2.6 Schéma à contacts

La figure 9.11 représente le schéma à contacts de l'expression logique d'affichage du segment « e » du décodeur (fig. 9.10).

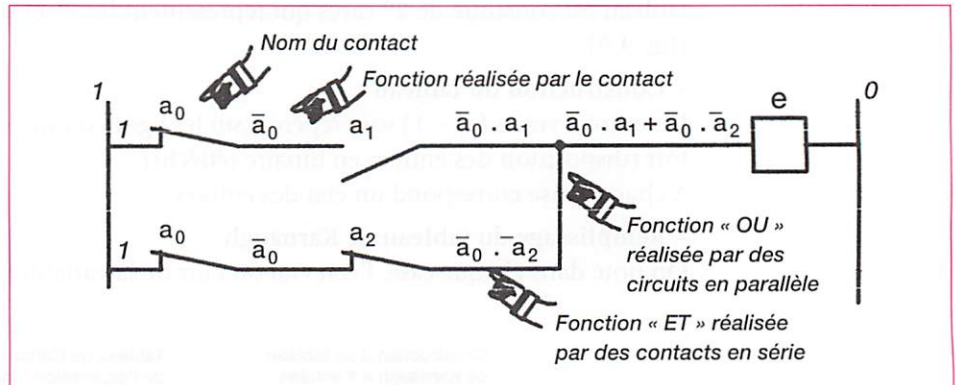


Figure 9.11 Schéma à contact de l'expression logique  $e = \bar{a}_0 \cdot a_1 + \bar{a}_0 \cdot \bar{a}_2$

### 2.2.7 Logigramme

La figure 9.12 représente le logigramme de l'expression logique d'affichage du segment « e » du décodeur (fig. 9.10).

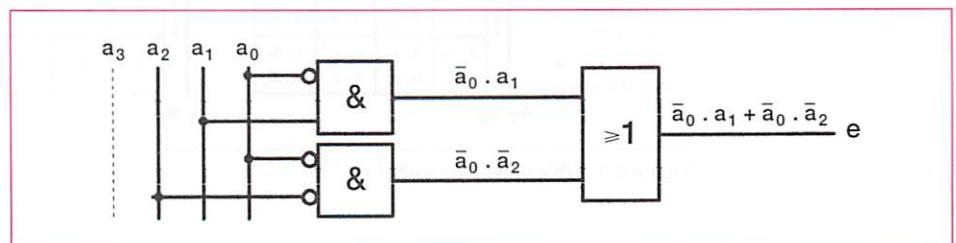


Figure 9.12 Logigramme de l'expression logique  $e = \bar{a}_0 (\bar{a}_1 + \bar{a}_2)$

# 3 Comportement des systèmes logiques séquentiels

Le comportement des systèmes séquentiels simples peut être analysé comme un système combinatoire en ajoutant la notion d'état qui aboutit à la fonction logique « mémoire ». La fonction « temporisation » permet de décrire l'écoulement du temps. La fonction « comptage » gère la répétition d'un état.

**Un système de commande est dit séquentiel lorsque l'état des sorties dépend de l'état des entrées et de leur chronologie.**

## 3.1 Concept d'état

Pour représenter la chronologie de variation des entrées, on utilise une ou plusieurs variables internes qui définissent l'état du système à un instant donné.

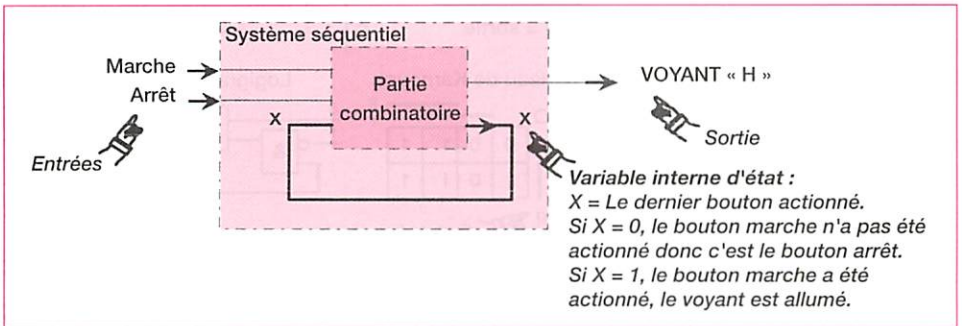


Figure 9.13 Système logique séquentiel et variables d'états

La figure 9.13 décrit un système de commande permettant l'allumage et l'extinction du voyant « H » par des boutons poussoirs « marche » et « arrêt ». On constate que le seul état des entrées ne permet pas de donner l'état de la sortie : en effet, alors que les deux boutons poussoirs sont relâchés, le voyant peut être allumé ou éteint. L'état de la variable « X » permet de lever cette ambiguïté en mémorisant le dernier bouton actionné.

## 3.2 Fonction Mémoire

La fonction logique séquentielle « mémoire » permet de maintenir un résultat logique après disparition des informations d'entrées « Set » (mise à 1, « marche ») et « Reset » (mise à 0, « arrêt »). Le résultat logique dépend de l'état de ses deux entrées et de leur chronologie.

La figure 9.14 montre le comportement d'une mémoire. On constate une ambiguïté dans le cas où les ordres simultanés sont contraires (marche et arrêt actionnés simultanément).

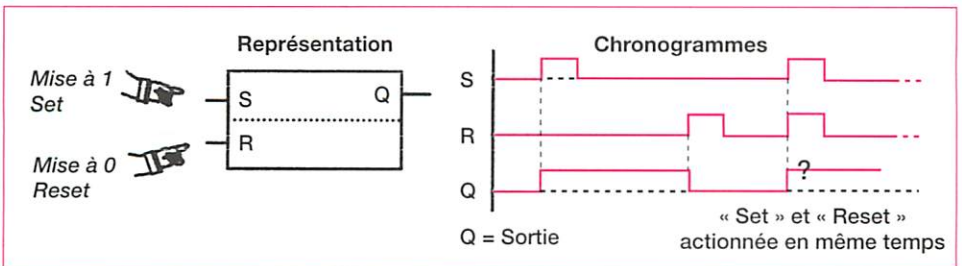


Figure 9.14 Système logique séquentiel et variables d'états

La priorité au « Set » ou au « Reset » est donnée en utilisant une mémoire différente suivant l'emploi désiré.

### 3.2.1 Mémoire à priorité à l'inscription

La figure 9.15 montre le comportement de la mémoire à priorité à l'inscription. En cas d'ordres simultanés contraires « Set » et « Reset », la priorité est donnée à l'entrée « Set ».

Le tableau de Karnaugh décrit le comportement de la mémoire Q à partir des entrées « s », « r » et de la variable d'état « q » qui représente l'état logique de la mémoire Q à l'instant précédent « t - 1 ».

L'équation logique de cette mémoire est :  $Q = s + \bar{r} \cdot q$ .

La « bascule RS » est un composant électronique qui réalise cette fonction.

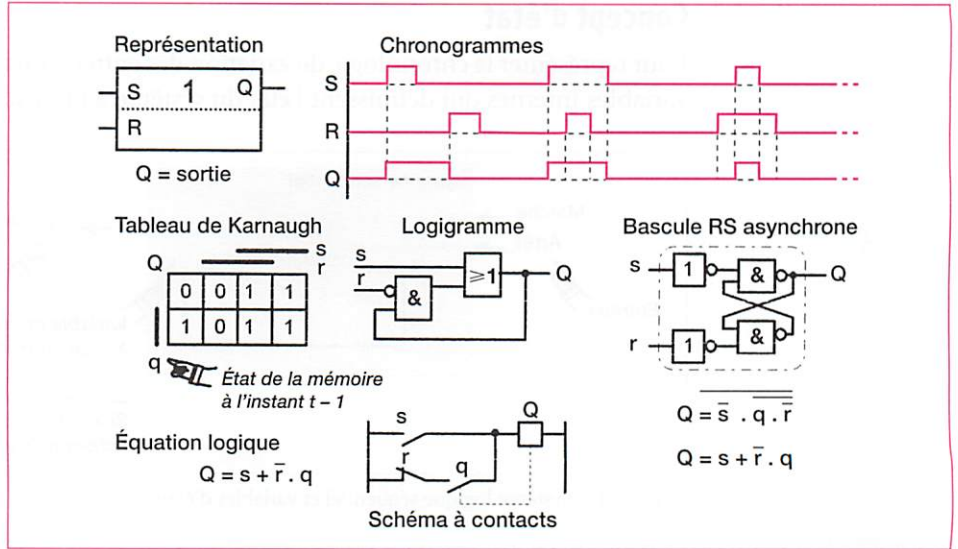


Figure 9.15 Mémoire à priorité à l'inscription

### 3.2.2 Mémoire à priorité à l'effacement

La figure 9.16 montre le comportement de la mémoire à priorité à l'effacement.

En cas d'ordres simultanés contraires « Set » et « Reset », la priorité est donnée à l'entrée « Reset ».

L'équation logique de cette mémoire est :  $Q = \bar{r} \cdot (s + q)$ .

Cette mémoire est employée dans les systèmes câblés d'arrêt d'urgence où la sécurité impose un arrêt prioritaire.

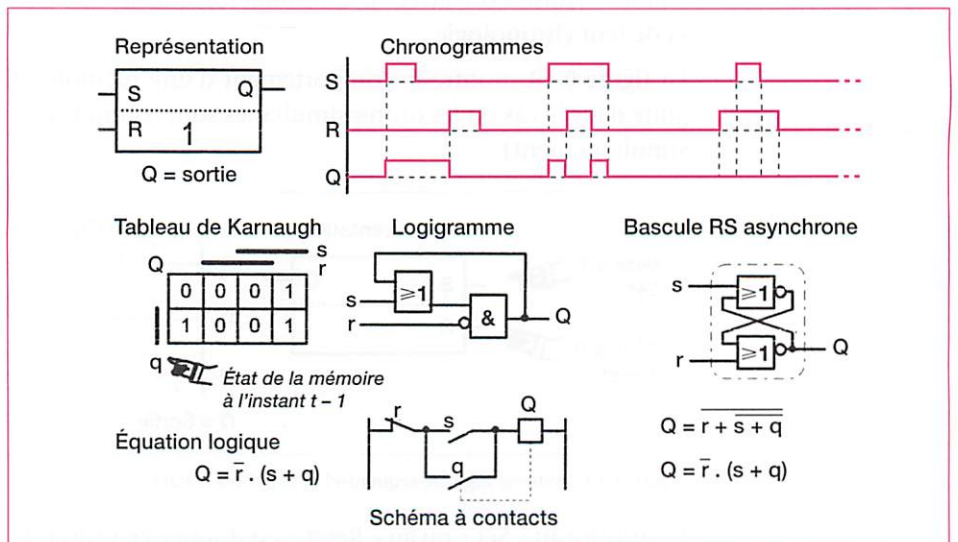


Figure 9.16 Mémoire à priorité à l'effacement



### 3.3 Fonction Retard ou Temporisation

 **La temporisation est un opérateur logique qui permet de retarder l'enclenchement et/ou le déclenchement d'un signal logique.**

– Temporisation à l'enclenchement

La figure 9.17 montre le *symbole logique*, le comportement et la représentation dans les schémas à contacts de la temporisation à l'enclenchement.

Un signal logique « a » temporisé à l'enclenchement est noté : « temps/a ».

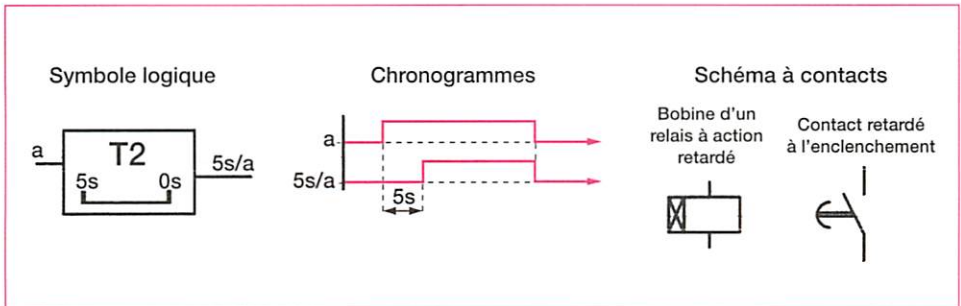


Figure 9.17 Temporisation à l'enclenchement

– Temporisation au relâchement

La figure 9.18 montre le symbole logique, le comportement et la représentation dans les schémas à contacts de la temporisation au relâchement. Un signal logique « a » temporisé au relâchement est noté : « a/temps ».

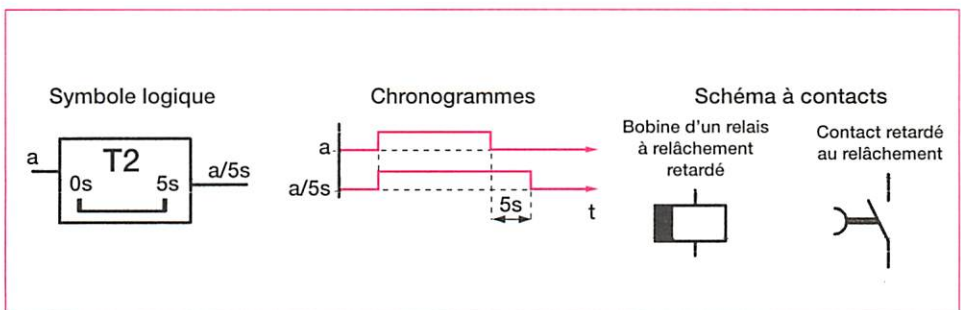


Figure 9.18 Temporisation au relâchement

– Temporisation à l'enclenchement et au relâchement

La figure 9.19 montre le symbole logique, le comportement de la temporisation à l'enclenchement et au relâchement.

Un signal logique « a » temporisé à l'enclenchement et au relâchement est noté : « temps 1/a/temps 2 ».

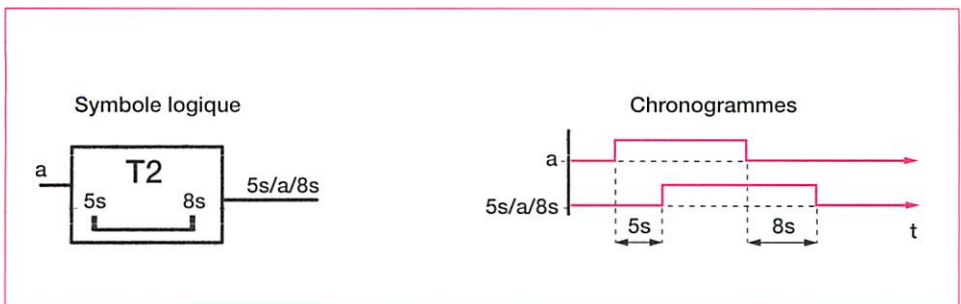


Figure 9.19 Temporisation à l'enclenchement et au relâchement

### 3.4 Exemple fonction Mémoire et temporisation

La figure 9.20 représente la partie commande du malaxeur de pâte à savons du système savonnic (voir figure 6.3).

Le moteur est démarré par le bouton « marche malaxeur ». Il est arrêté manuellement par les boutons « arrêt malaxeur » et « arrêt actionneurs ». Il est arrêté automatiquement après 4 minutes de fonctionnement. Si les conditions de sécurité ne sont pas réunies, « capot malaxeur fermé » faux ou « défaut moteur », le système est bloqué à l'arrêt.

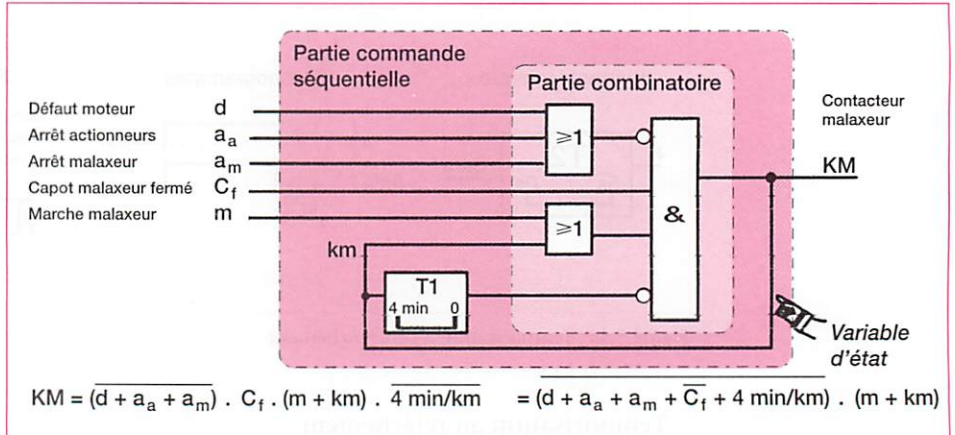


Figure 9.20 Logigramme de commande du moteur du malaxeur « Savonnic »

### 3.5 Fonction Comptage

#### exemple

Dans le système « Savonnic », un compteur permet de compter les 7 savons nécessaires à une rangée de conditionnement, et de lancer le vérin poussoir (fig. 9.21).

.....



**Un compteur est un bloc fonctionnel qui possède :**

- une entrée d'incrémement (ajout d'une unité) ;
- une entrée de remise à zéro (initialisation à 0) ;
- une entrée optionnelle de décrémement (retrait d'une unité) ;
- une sortie booléenne qui est vraie quand la valeur courante est égale ou supérieure à la valeur de présélection (comptage atteint).

La figure 9.21 représente un bloc fonctionnel compteur et son comportement par un chronogramme.

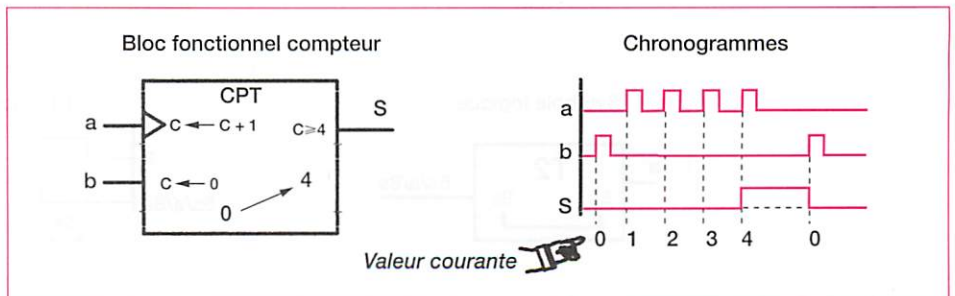


Figure 9.21 Bloc fonctionnel « Compteur »

# 4 Le modèle comportemental Grafset (IEC608-48)

## 4.1 Frontière de description et bilan des entrées et sorties

La figure 9.22 présente les frontières d'étude d'un système automatisé.

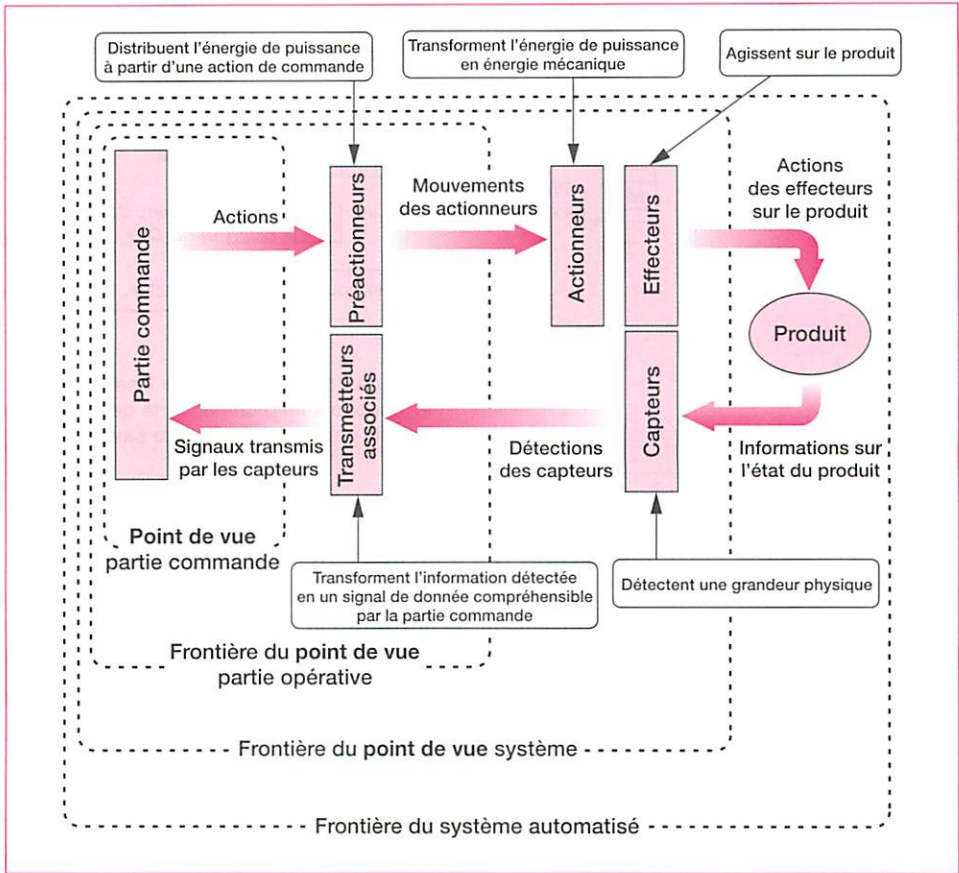


Figure 9.22 Frontières de description d'une chaîne fonctionnelle avec points de vue

## 4.2 Descriptions structurées

L'analyse des gros systèmes nécessite une *approche descendante* progressive.

La description peut être représentée à plusieurs niveaux successifs de détails en commençant par une macro-représentation exprimant globalement la fonction à remplir sans se soucier de tous les détails superflus à ce niveau de description.

Le concept de « *macro-étape* » permet cette approche de description par affinements successifs.

### 4.2.1 Macro-étapes

**Une macro-étape est l'unique représentation d'un ensemble unique d'étapes et de transitions nommé « expansion de macro-étape ». Il y a bijection entre la macro-étape et son expansion.**

Graphiquement, la macro-étape est formée de trois rectangles superposés symbolisant l'étape d'entrée (E), la séquence, et l'étape de sortie (S).



La figure 9.23 montre la macro-étape M1 « préparer une couche de 4 lignes de 7 savons » de la conditionneuse de savons « Savonicc » (fig. 9.25).

L'expansion décrit en détail la formation d'une couche de 4 lignes de 7 savons en utilisant deux compteurs intégrés à un grafcet ayant une structure de reprise de séquence.

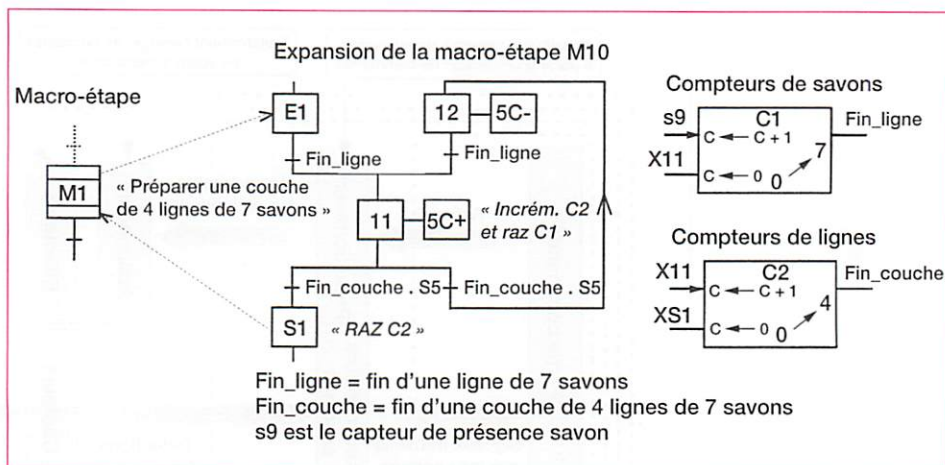


Figure 9.23 Macro-étape M1 et son expansion

La macro-étape qui a un symbole différent de l'étape, répond à des règles particulières.

- Le franchissement de la transition précédant la macro-étape active l'étape d'entrée de l'expansion qui évolue suivant les règles du Grafcet.
- La ou les transitions qui suivent la macro-étape ne sont validées que lorsque l'étape de sortie de l'expansion est active. L'étape de sortie est désactivée lors du franchissement de la transition suivante.

#### 4.2.2 Tâches



**La tâche appelée par une étape du grafcet principal est un grafcet séparé qui correspond à une fonction réalisée dans un cycle. L'activité de l'étape appelante représente l'état global du système.**

La représentation par tâches n'utilise pas de symbole graphique particulier.

Les grafquets appelants et appelés sont synchronisés entre eux par des bits d'étapes.

- À chaque appel, la tâche appelée doit faire un cycle et un seul. Il est nécessaire de terminer le grafcet appelé par une étape de synchronisation « fin de tâche » (pas d'action associée).
- L'étape appelante doit rester active tant que la tâche appelée n'a pas fini son cycle.

Un commentaire d'étape (entre guillemets) renseigne le lecteur sur la fonction réalisée dans chaque « étape tâche » du grafcet appelant.

La figure 9.24 montre la tâche de saisie d'un produit par le manipulateur du système « Savonicc ». Cette tâche est appelée quand le manipulateur doit saisir une couche de savons, une feuille intercalaire ou un couvercle de boîte.

Contrairement à la macro-étape dont l'expansion est unique, la tâche peut être appelée par différentes étapes du grafcet principal.

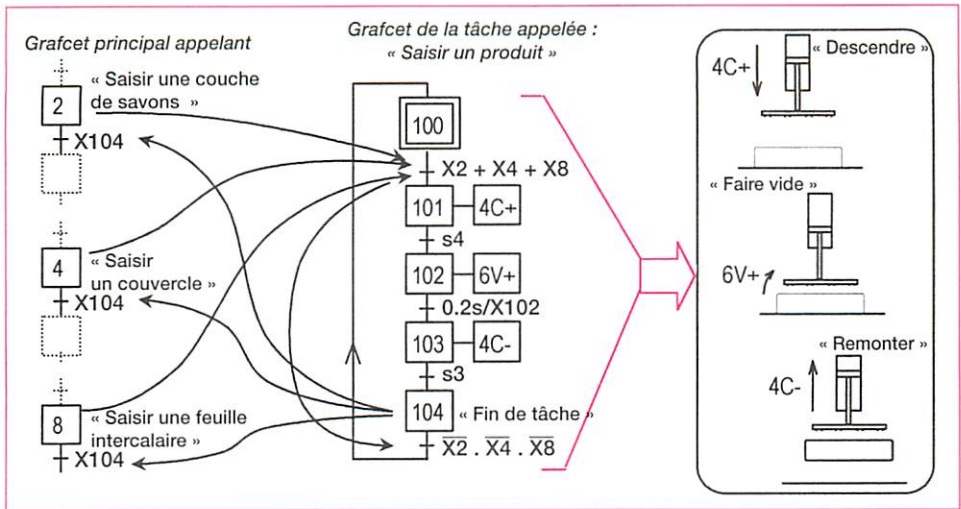


Figure 9.24 Tâches de saisie d'un produit par le manipulateur du système « Savonicc »

### 4.2.3 Coordination des tâches

Quand un système est globalement complexe, l'analyse du fonctionnement normal peut être faite en plusieurs phases :

- phase 1 : découper le cycle en tâches élémentaires (séquence d'actions d'un sous-système qui s'enchaînent sans aucune communication avec les autres sous-systèmes) ;
- phase 2 : étudier la coordination de ces tâches entre elles ;
- phase 3 : construire le grafcet global correspondant par assemblage des différentes tâches sans se soucier des étapes initiales ;
- phase 4 : initialiser le grafcet global en tenant compte de la situation initiale de la partie opérative (système à l'arrêt au repos) ;
- phase 5 : détailler chaque tâche en réalisant les synchronisations nécessaires avec le grafcet global.

### 4.2.4 Grafcet de coordination des tâches : « conditionneuse Savonnic »

À partir du synoptique de la partie opérative du système de la « conditionneuse savonicc » (fig. 9.25 et 6.3), l'analyse définit les tâches élémentaires T1, T2, T3, T4, T5, T6 (fig. 9.26).

La tâche T1 « Préparer une couche de savons » débute si la couche précédente a été enlevée par le manipulateur (tâche T2).

Dès que l'autorisation est donnée par le manipulateur, les quatre cycles de la tâche T1 pour la formation de la couche de savons s'enchaînent et sont totalement indépendants du reste du système. La fin de la tâche T1 autorise le manipulateur à enlever la couche de savons nouvellement formée.

Ce raisonnement peut être fait pour chacune des tâches. On présente généralement le résultat sous forme de « tableau des antériorités entre tâches » (tableau 9.3).

Fonction de la tâche	Débute si	Tâche	La fin autorise
Préparer une couche de savons	T2	T1	T2
Enlever la couche de savons	T1 et T5	T2	T1 et T3
Déplacer la couche de savons au-dessus de la boîte	T2	T3	T4
Emballer la couche de savons dans la boîte	T3 et T6	T4	T5 et T6
Déplacer le manipulateur de la position 2 à la position 1	T4	T5	T2
Changer de boîte si elle est complète (tâche T6 sautée si la boîte est incomplète)	T4	T6	T4

Tableau 9.3 Tableau des antériorités entre tâches

Le tableau 9.3 permet de construire les différentes « pièces du puzzle » de la structure du *grafcet de coordination des tâches*.

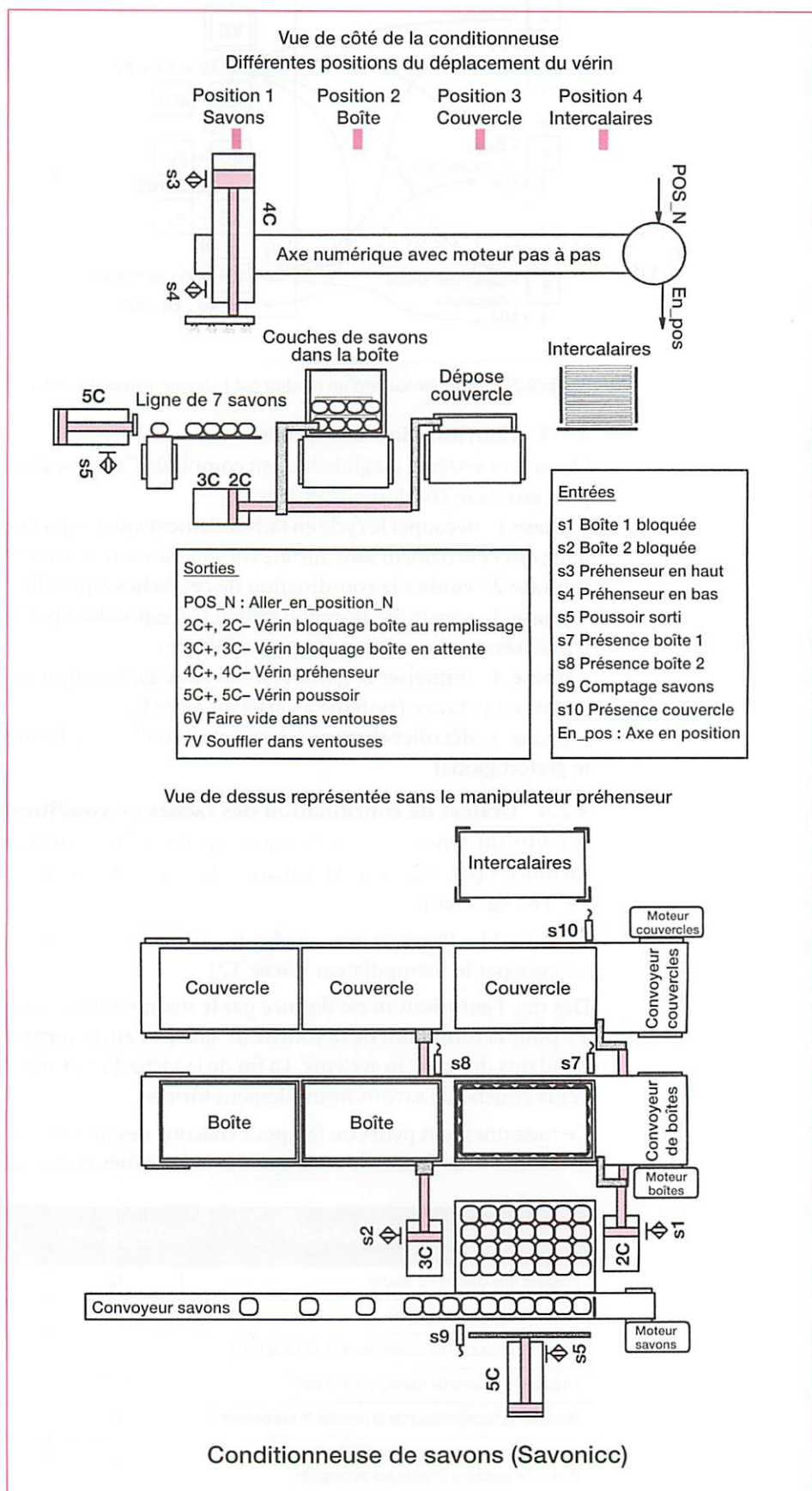


Figure 9.25 Synoptique de la conditionneuse « Savonicc »



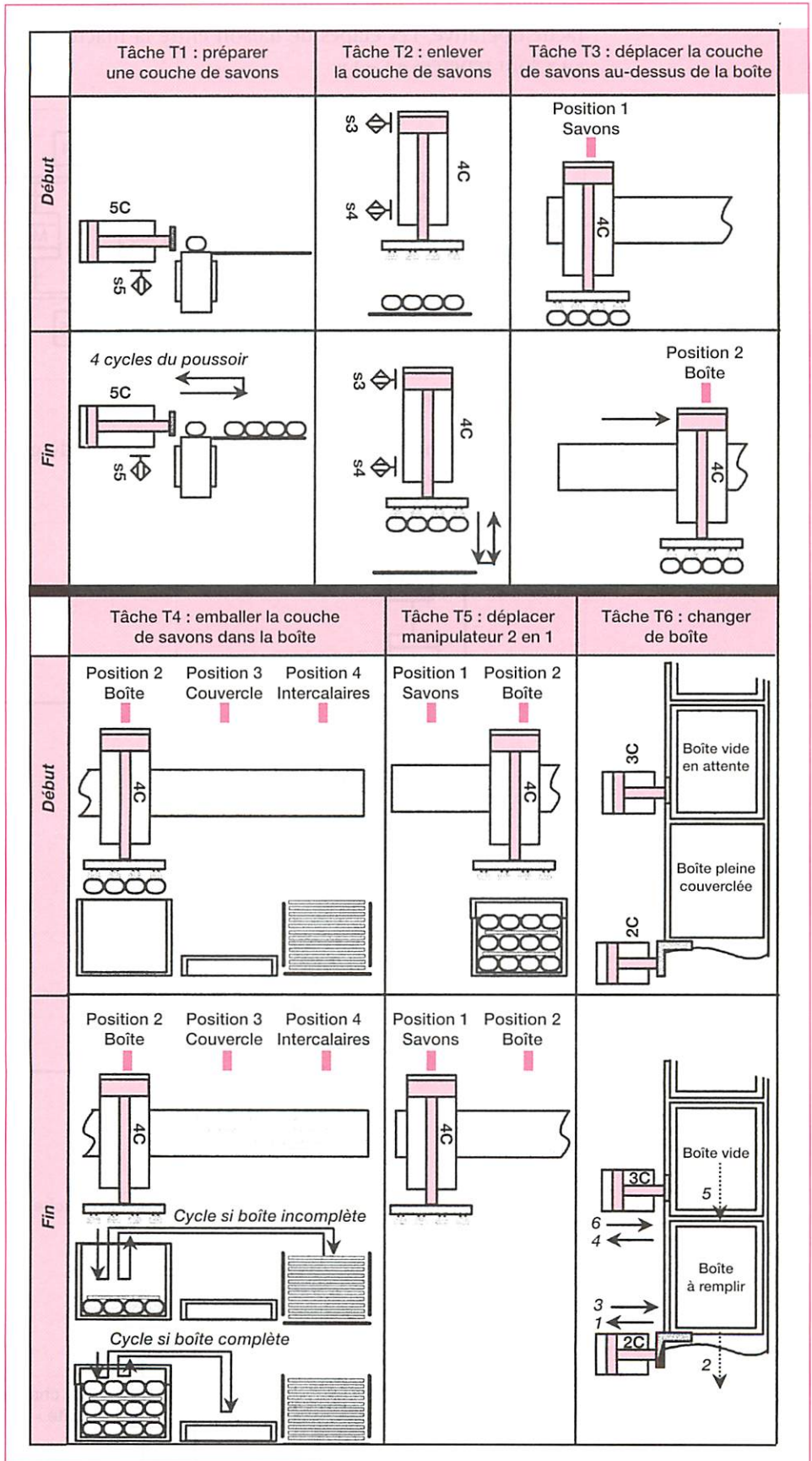


Figure 9.26 Définitions des tâches élémentaires du système « conditionneuse Savonicc »

La figure 9.27 montre la construction des macro-étapes correspondant à chaque tâche opérative. Les étapes de liaison entre la macro-étape « i » et la macro-étape « j » sont repérées « i - j ».

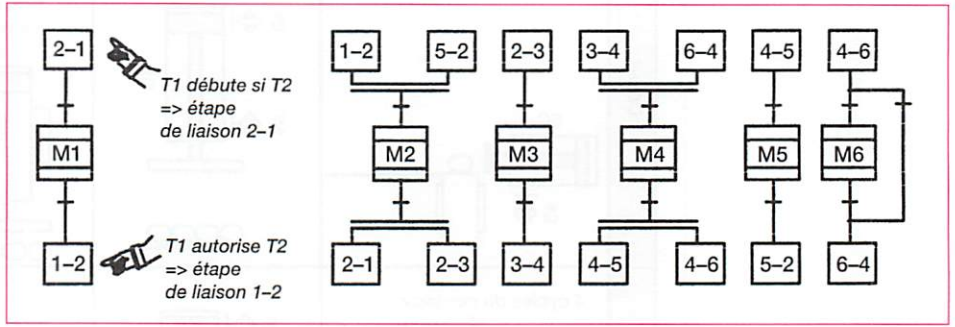


Figure 9.27 Macro-étapes et étapes de liaison

La figure 9.28 montre la construction de la structure du grafcet en reconstituant les pièces du « puzzle » de la figure 9.27.

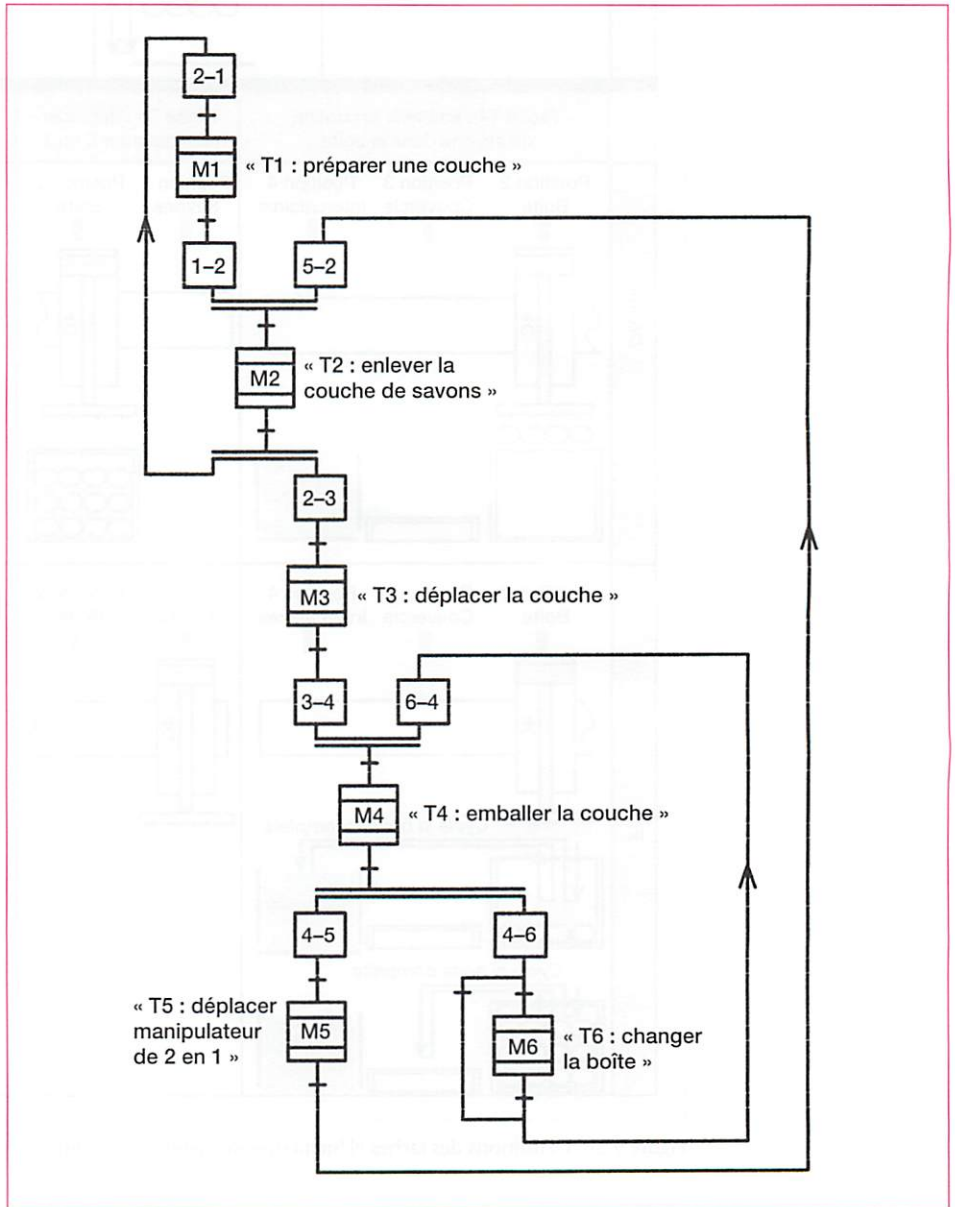


Figure 9.28 Construction de la structure du grafcet de coordination des tâches

La structure du *grafcet* précédent (fig. 9.28) est affinée et complétée :

- en supprimant les étapes de liaison entre tâches inutiles ;
- en initialisant chaque boucle du *grafcet* pour respecter l'arrêt du système dans une situation initiale intéressante (pas de couche de savons sur la tablette, manipulateur en position 1) ;
- en complétant chaque macroreprésentation (expansion de macro-étape ou *grafcet* de tâches et synchronisation).

Le *grafcet* de la figure 9.29 représente le *grafcet* du point de vue partie opérative de la conditionneuse « Savonicc » (les tâches T4 et T6 ne sont pas détaillées : voir exercice 9.4).

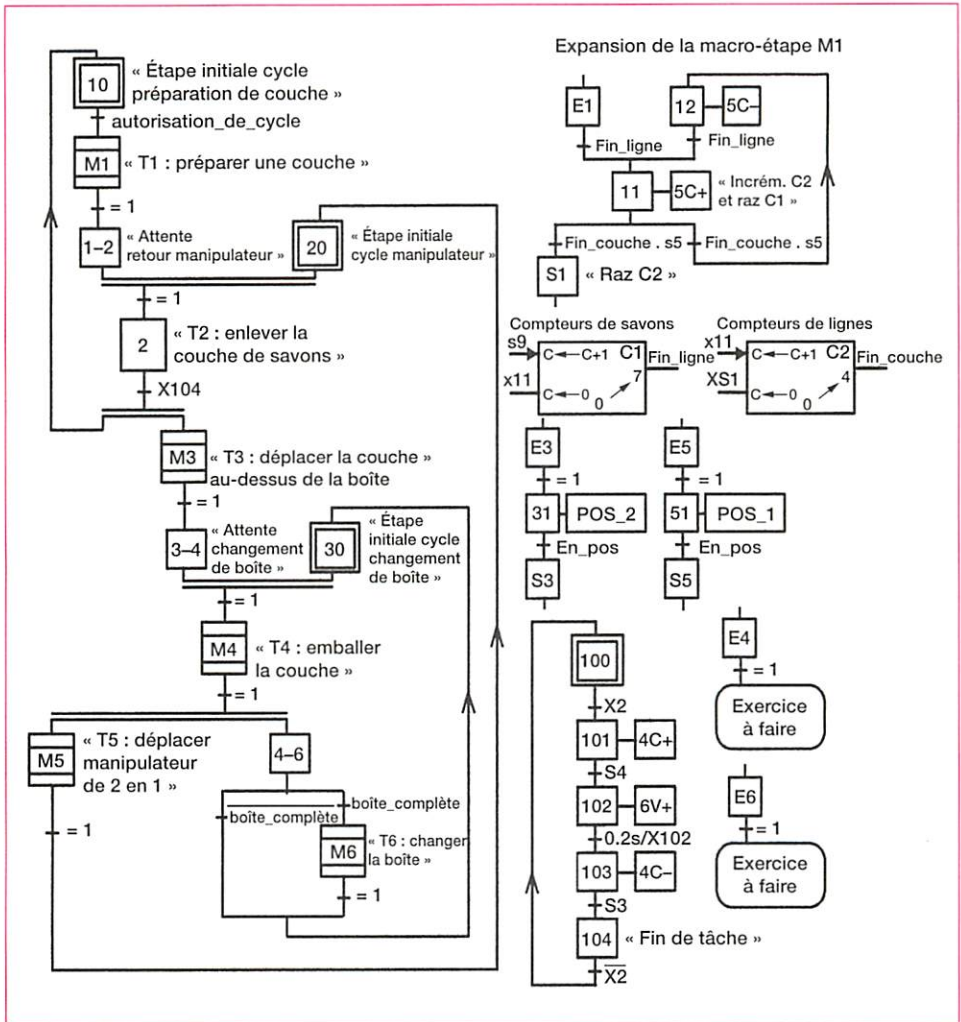


Figure 9.29 *Grafcet* du point de vue partie opérative de la « conditionneuse Savonicc »

Remarque : la représentation détaillée des tâches T1, T3, T4, T5, T6 est faite par une description de type « macro-étapes » alors que T2 est faite par une description type « tâche avec synchronisation » (voir paragraphe 9.4.2).



# 5 Comportement des systèmes numériques

Une *valeur numérique* est représentée par un nombre constitué d'une série de chiffres qui doivent être traités globalement. L'*algorigramme* (outil graphique) ou la *description littérale structurée* (écriture littérale) décrit l'enchaînement des opérations (traitement) effectuées sur ces nombres pour aboutir au comportement attendu du système numérique étudié.

## 5.1 Définition d'un système numérique



**Un système numérique traite des données logiques ou arithmétiques :**

- un mot binaire est un groupement de plusieurs bits logiques ;
- une variable numérique est un nombre qui peut être un entier (Integer) positif ou signé ou un réel (Real).

## 5.2 Les opérateurs sur mots

### 5.2.1 Les transferts



**Un transfert est l'échange d'une valeur numérique entre deux adresses mémoire ou entre un registre et une adresse mémoire.**

Dans un langage évolué, cette opération est représentée par les instructions (fig. 9.30) :

- « Load » ou « Charger » : Lecture d'une valeur numérique depuis une mémoire vers un registre ou un accumulateur ;
- « Store » ou « Ranger » : Écriture d'une valeur numérique depuis un registre ou accumulateur vers une adresse mémoire ;
- « Move » ou « déplacer » : Échange de valeur numérique entre deux mémoires, registres ou accumulateurs.

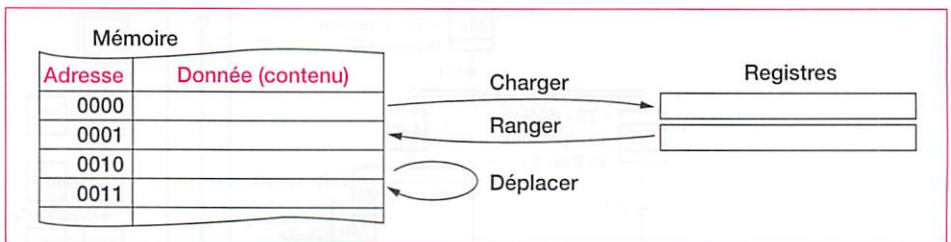


Figure 9.30 Transferts de valeurs numériques

### 5.2.2 Les opérations NON, OU, ET



**L'opération « NON » complémente la valeur logique « 0 » ou « 1 » de tous les bits d'un mot.**



**Les opérations « OU », « ET » de deux mots font les opérations « OU », « ET » logiques entre tous les bits de même poids.**

La figure 9.31 montre un exemple de complémentation et un masquage de bits dans un mot (mise à 0 ou à 1 de certains bits sans changer les autres).

Le premier traitement d'une donnée brute consiste à éliminer la partie non significative. Pour cela on réalise un masque : remplacer les bits non significatifs par des 1 ou des 0.

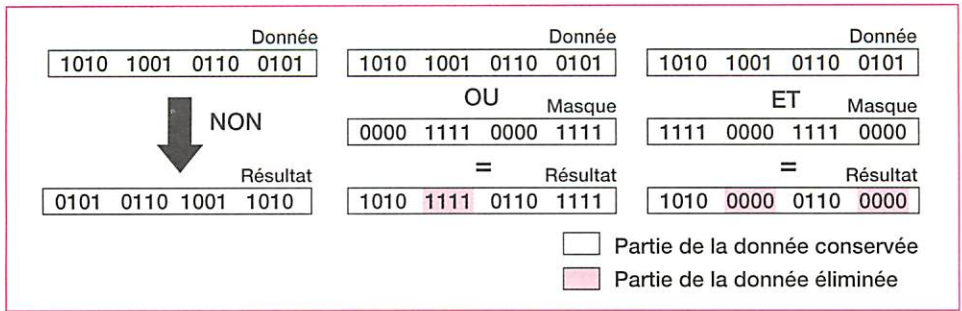


Figure 9.31 Complémentation et masquage de bits dans un mot

### 5.2.3 Les décalages

**Le décalage est le changement de poids de tous les bits d'un mot par permutation circulaire à droite ou à gauche.**

La figure 9.32 montre les décalages logiques (rotation) ou arithmétiques à gauche ou à droite.

Dans le cas d'une opération arithmétique par décalage (division ou multiplication par 2 de la donnée), le bit de poids fort représentant le signe est conservé, le bit naissant prend la valeur 0.

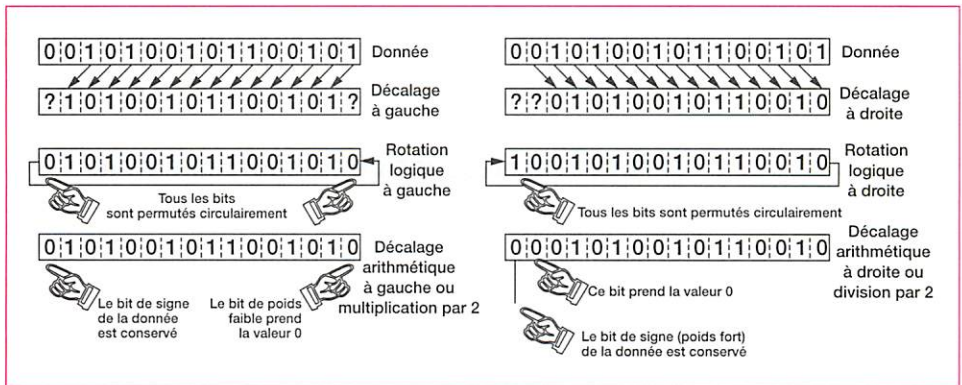


Figure 9.32 Décalage arithmétique et rotation à gauche ou à droite

### 5.2.4 Les opérations arithmétiques

La logique binaire permet d'exécuter toutes les opérations arithmétiques. La figure 9.33 représente un additionneur de deux mots de n bits construit à partir d'additionneurs binaires élémentaires. La table d'addition permet d'établir le tableau de Karnaugh de la somme et de la retenue des bits de même poids.

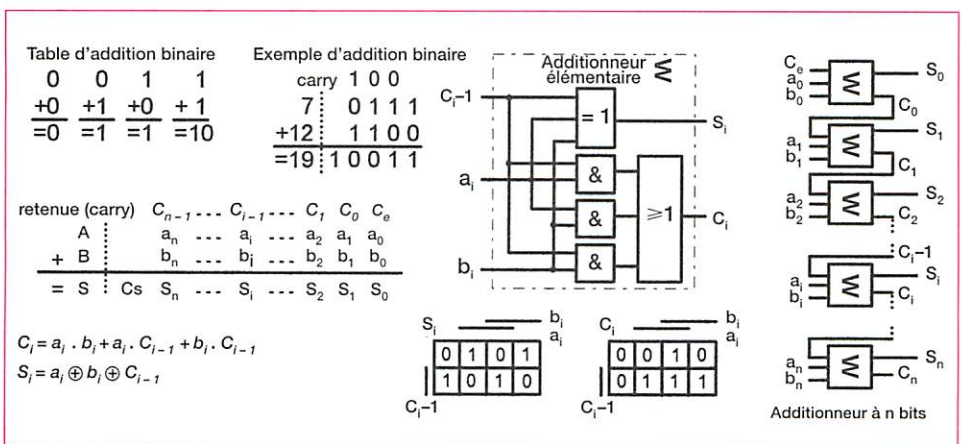


Figure 9.33 Additionneur binaire



Les instructions d'addition et de soustraction existent pratiquement toujours dans les microcontrôleurs mais les instructions de multiplication et de division sont réservées aux systèmes de traitement évolués.

### 5.2.5 Les comparaisons et tests

**Un nombre binaire est égal à 0 si tous les bits sont égaux à 0 :**

$$A = 0 \text{ vrai si } \bar{a}_n \cdot \bar{a}_{n-1} \cdot \dots \cdot \bar{a}_2 \cdot \bar{a}_1 \cdot \bar{a}_0.$$

**Un nombre binaire est négatif si le bit de poids fort (MSB Most Significant Byte) est vrai :  $A < 0$  vrai si  $a_n = 1$  ;  $A \geq 0$  vrai si  $a_n = 0$ .**

Pour comparer deux nombres binaires A et B, il suffit de vérifier la valeur du bit de poids fort (MSB) de la différence  $A - B$  :

$$A > B \Rightarrow B - A < 0 \Rightarrow \text{MSB}(B - A) = 1 ;$$

$$A \geq B \Rightarrow A - B \geq 0 \Rightarrow \text{MSB}(A - B) = 0 ;$$

$$A < B \Rightarrow A - B < 0 \Rightarrow \text{MSB}(A - B) = 1 ;$$

$$A \leq B \Rightarrow B - A \leq 0 \Rightarrow \text{MSB}(B - A) = 0.$$

Après l'exécution de l'opération «  $A - B$  » par un microprocesseur, les indicateurs du registre d'état sont positionnés à 1 ou à 0 :

- N = 1 si le résultat de l'opération est négatif ;

- Z = 1 si le résultat de l'opération est égal à zéro.

Le test des deux indicateurs N et Z du registre d'état permet de comparer rapidement deux nombres.

## 5.3 Les outils de description comportementale

### 5.3.1 Algorithme, appel de procédure

**Un algorithme est une spécification graphique utilisée pour spécifier le comportement des systèmes numériques. Il utilise une symbolique permettant de discerner rapidement le type de traitement (acquisition et restitution de données, test et comparaisons, traitement logique ou arithmétique, appel de procédure ou sous-programme,...).**

La figure 9.34 décrit les symboles graphiques d'un algorithme.

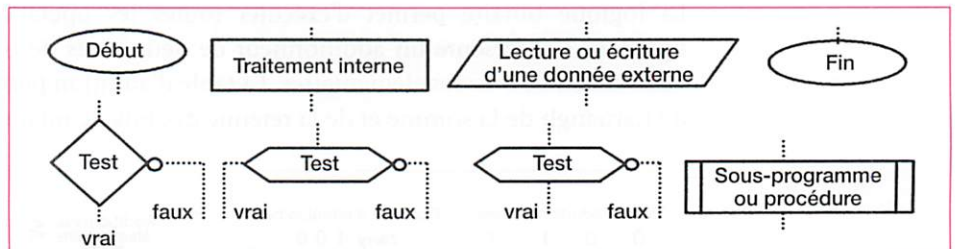


Figure 9.34 Symboles d'un algorithme

### 5.3.2 Spécification littérale structurée

**Une spécification littérale structurée est une suite arborescente de traitements élémentaires.**

Les mots clés utilisés dans une spécification sont : « début, fin » ; « aller à » ; « si, alors, sinon, fin si » ; « lire » ; « restituer » ; « répéter jusqu'à, fin répéter » ; « tant que, fin tant que » ; « depuis, fin depuis »... ).

Le retrait de ligne dans l'arborescence permet de bien discerner les traitements primaires (parent) des traitements secondaires imbriqués (enfant) (fiche 4).



## 5.4 Application : le chariot de golf

### 5.4.1 Présentation du système

La photo de la figure 9.35 montre le microcontrôleur PIC 16C71 qui contrôle la charge de la batterie et le déplacement du chariot.

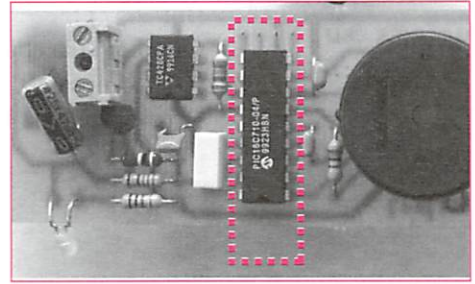


Figure 9.35 Microcontrôleur PIC 16C71

### 5.4.2 Organigramme du programme principal

La figure 9.36 décrit l'algorithme du programme principal de commande du chariot de golf :

- après l'initialisation du port d'entrées/sorties, le système attend un ordre de « mise en marche » ;
- il teste la charge de la batterie et informe le joueur par une série de « bips » (voir sous-programme figure 9.37) ;
- il génère la commande de démarrage progressif du chariot.

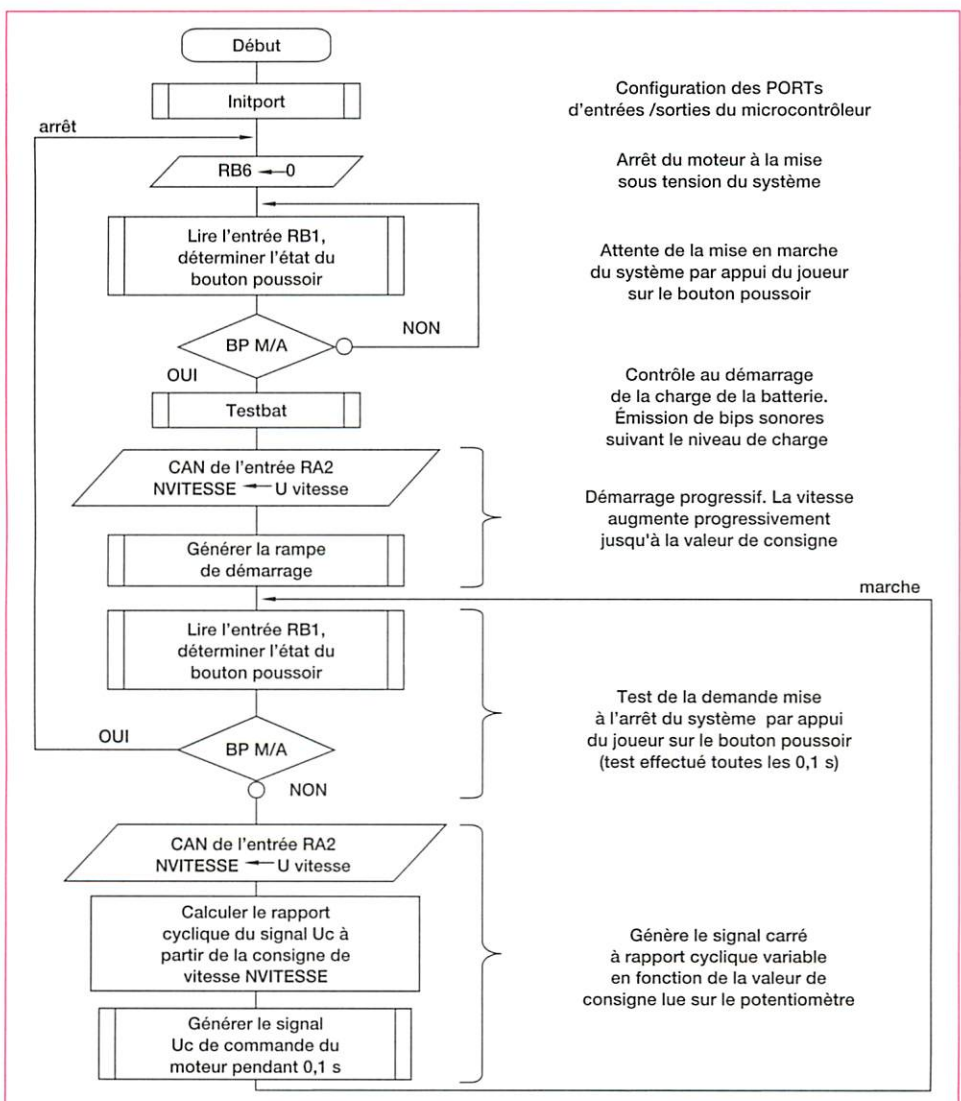


Figure 9.36 Algorithme programme principal du chariot de golf

### 5.4.3 Procédure de test de la batterie appelée par le programme principal

Pour prévenir le joueur de golf, au démarrage du chariot, le système émet (fig. 9.37) :

- un bip si la charge de la batterie est bonne (tension > 12 V) ;
- deux bips si la charge est moyenne (11 V < tension < 12 V) ;
- trois bips si la batterie est déchargée (tension < 11 V).

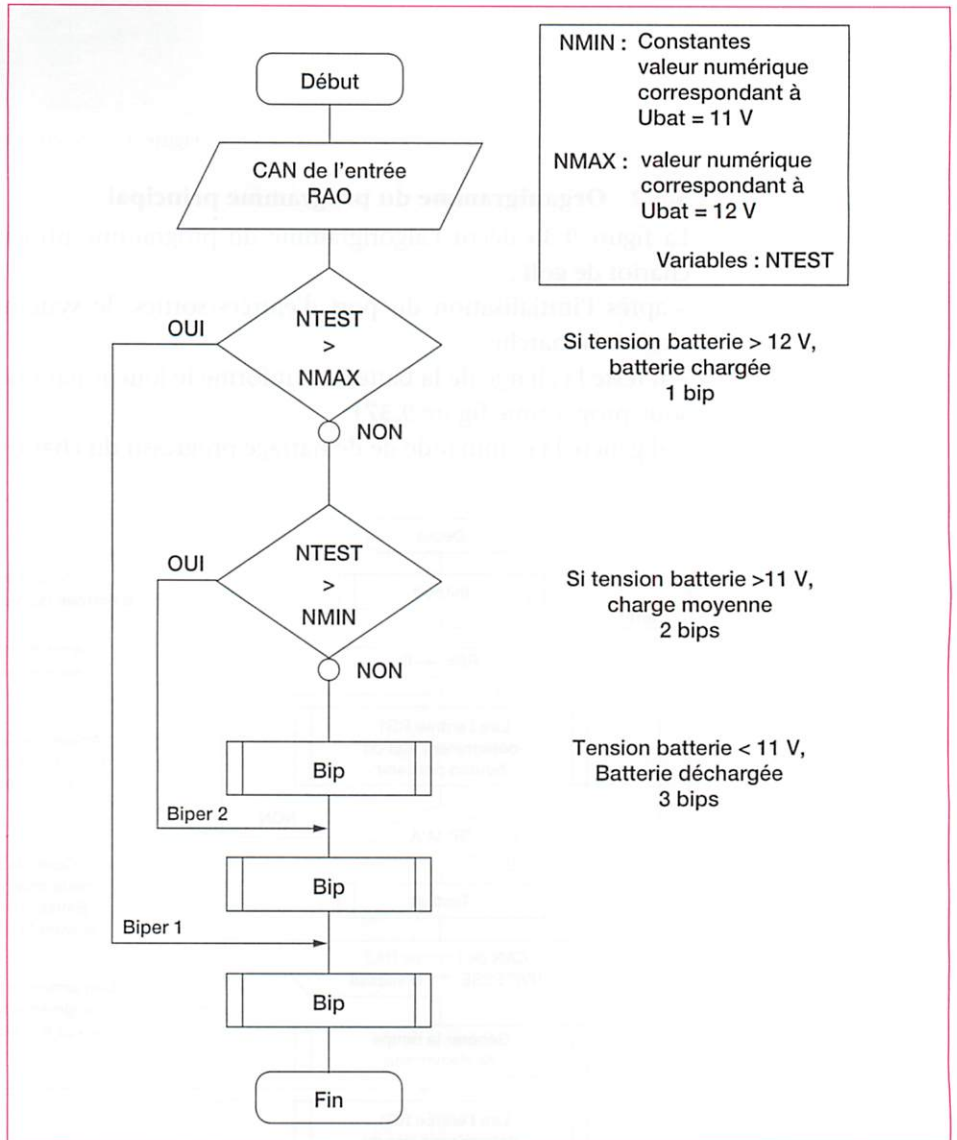


Figure 9.37 Sous-programme de charge de la batterie du chariot de golf

Les informations associées à une variable physique peuvent être de nature analogique, numérique ou logique.

Afin de traiter les informations numériques, celles-ci sont codées dans un système de numérotation.

Plusieurs systèmes existent : le code binaire pur, le code BCD, le code Gray ou encore le code ASCII.

L'analyse du comportement des systèmes automatisés combinatoires se fait généralement à l'aide d'outils graphiques logiques (logigramme, schéma à contacts, chronogrammes, table de vérité, tableau de Karnaugh) et d'expressions logiques.

Le comportement des systèmes séquentiels simples peut être analysé comme un système combinatoire en ajoutant la notion d'état qui aboutit à la fonction logique « mémoire ». La fonction temporisation permet de décrire l'écoulement du temps. La fonction « comptage » gère la répétition d'un état.

Le Grafcet est l'outil principal de description des systèmes séquentiels.

Dans un système numérique, une valeur numérique est représentée par un nombre constitué d'une série de chiffres qui doivent être traités globalement.

L'algorithme ou la description littérale structurée décrit l'enchaînement des opérations effectuées sur ces nombres pour aboutir au comportement attendu du système numérique étudié.

Mots clés : *algorithme, code ASCII, code BCD, code binaire pur, code Gray, compteur, étape, Grafcet, information analogique, information numérique, logigramme, macro-étape, mémoire, schéma à contact, description littérale structurée, système automatisé combinatoire, système automatisé séquentiel, tableau de Karnaugh, tâche, temporisation, transition, variable physique.*

## exercices

### EXERCICE 1

Système de numération.

1. Donner la valeur binaire, hexadécimale, DCB du nombre décimal « 421 ».
2. Donner la valeur binaire, hexadécimale du nombre décimal « - 421 » sur un format de 12 bits.
3. Donner les valeurs décimales et hexadécimales des nombres binaires « 0111 0110 » et « 1101 0010 » données sur un format de 8 bits en complément à 2.
4. Donner en binaire le code ASCII des caractères « S », « . », « I ».

### EXERCICE 2

Décodeur Gray en binaire.

Un nombre binaire B sur un format de 4 bits s'écrit «  $b_3 b_2 b_1 b_0$  » en binaire et «  $g_3 g_2 g_1 g_0$  » en code Gray.

1. Donner les variables d'entrées et sorties du décodeur Gray en binaire.
2. Établir la table de vérité entre les variables booléennes  $b_3, b_2, b_1, b_0, g_3, g_2, g_1, g_0$ .
3. Établir le tableau de Karnaugh de chacune des sorties du décodeur. En déduire l'expression algébrique des sorties.
4. Représenter le comportement du décodeur Gray en binaire par un logigramme, puis par un schéma à contacts.



### EXERCICE 3

#### Fonctions « Mémoire » et « Temporisateur »

- Un moteur de ventilation « M » est commandé à l'aide de quatre boutons poussoirs :
- un bouton poussoir « s1 » lance une marche permanente ;
  - un bouton poussoir « s2 » lance une seule marche pendant 15 minutes ;
  - un bouton poussoir « s3 » lance une marche intermittente (10 minutes de marche, 5 minutes d'arrêt) ;
  - un bouton poussoir « s4 » arrête dans tous les cas le mode de fonctionnement choisi et le fonctionnement du moteur.
- Faire le logigramme de la commande du moteur.

### EXERCICE 4

#### Analyse de comportement séquentiel et fonction « Comptage »

1. Modifier la tâche « T1 : préparer une couche de savons » pour fabriquer des couches de 5 lignes de 6 savons.
2. Décrire par un grafcet la tâche « T4 : emballer une couche de savons » (fig. 9.26) du système « Savonick » (fig. 9.25).
3. Décrire par un grafcet la tâche « T6 : changer la boîte ».

### EXERCICE 5

#### Analyse de comportement numérique

Pour décoder un nombre binaire B en code Gray G, il suffit de faire l'opération :  
 $G = B \oplus (B \text{ décalé de 1 pas à droite})$ .

Exemple :

$B = (0101\ 0111)$  ; B décalé de 1 pas à droite =  $(0010\ 1011)$ .

Le code Gray de ce nombre est :

$G = (0101\ 0111) \oplus (0010\ 1011) = 01111100$ .

1. Élaborer un organigramme pour décrire le comportement de ce décodeur par un algorithme puis élaborer une représentation littérale structurée.
2. En s'inspirant de la démarche précédente et des expressions algébriques de l'exercice 9.2, élaborer l'algorithme du décodeur Gray en binaire.



# Représentation des produits pluritechniques



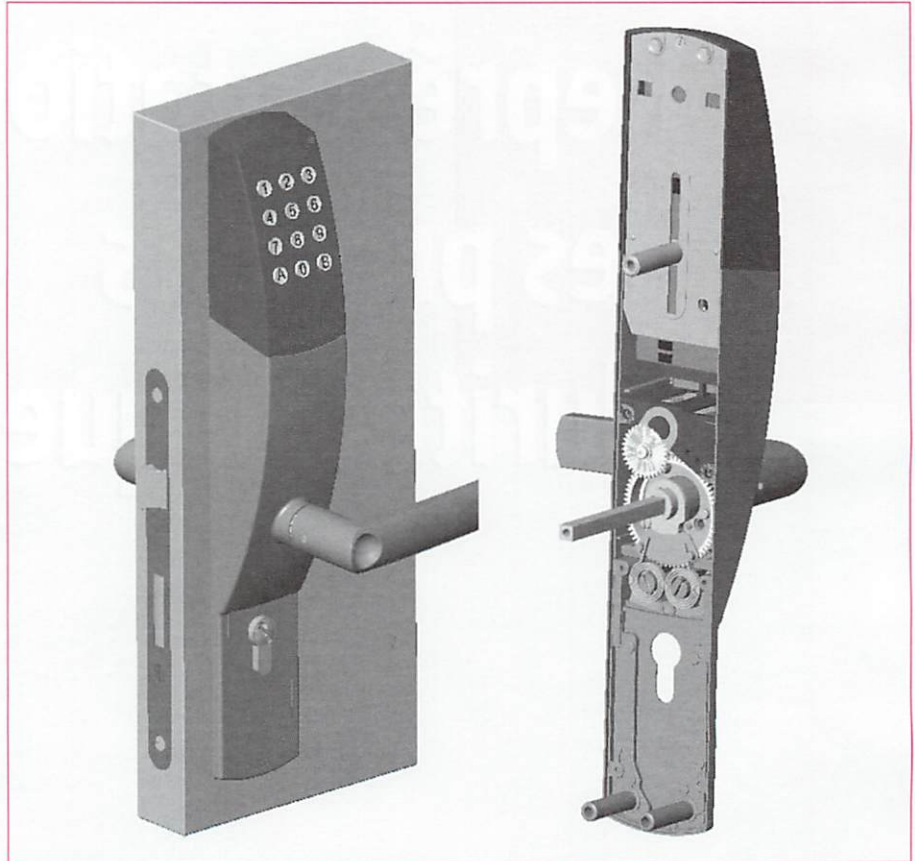


Figure 10.1 Serrure électronique

Que ce soit dans une démarche de projet ou lors de l'analyse d'une solution existante, il est nécessaire d'utiliser des outils de communication qui ont la qualité de posséder un langage commun. La schématisation en fait partie.

Omniprésents dans de nombreuses étapes du cycle de vie d'un produit, différents types de schémas permettent de passer progressivement de l'idée à la solution.

#### Compétences

Un dossier technique de produit ou de système étant fourni sous forme de dessin, la norme associée étant à disposition :

- Représenter tout ou partie du produit sous forme schématique.
- Identifier les constituants représentés.



# 1 Les schémas mécaniques

Les schémas sont des représentations simplifiées d'un système technique. Ils utilisent généralement des symboles normalisés. Ils doivent permettre de saisir des données ou des informations d'ordre relationnel, structurel, fonctionnel ou technologique. Le type de schéma sera choisi en fonction de ce que l'on veut montrer et de la personne qui devra l'interpréter.

## 1.1 Schéma de principe

S'il s'agit d'étudier un produit dans le cadre du projet, en phase de conception préliminaire ou de reconception, le schéma de principe présente une idée sous forme d'un croquis utilisant des symboles normalisés ou non. Celui-ci sert de base à la recherche de diverses solutions.

La serrure électronique, présentée à la figure 10.1, permet d'équiper de façon autonome et sans câblage toutes les portes qui nécessitent un contrôle d'accès par simple filtrage.

L'introduction, au clavier, d'un code correct entraîne la réalisation momentanée de la liaison en rotation de la béquille extérieure avec le carré d'entraînement de la serrure encastrée (fig. 10.2). L'ouverture de la porte est alors possible par basculement de la béquille extérieure.

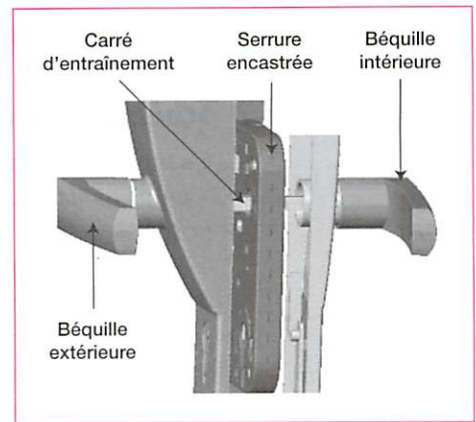


Figure 10.2 La serrure électronique

Tant qu'un code correct n'est pas introduit, la béquille extérieure ne peut pas entraîner en rotation le carré d'entraînement.

L'ouverture de la porte est toujours possible de l'intérieur (action sur la béquille intérieure).

Le schéma de principe de la serrure électronique est présenté sur la figure 10.3.

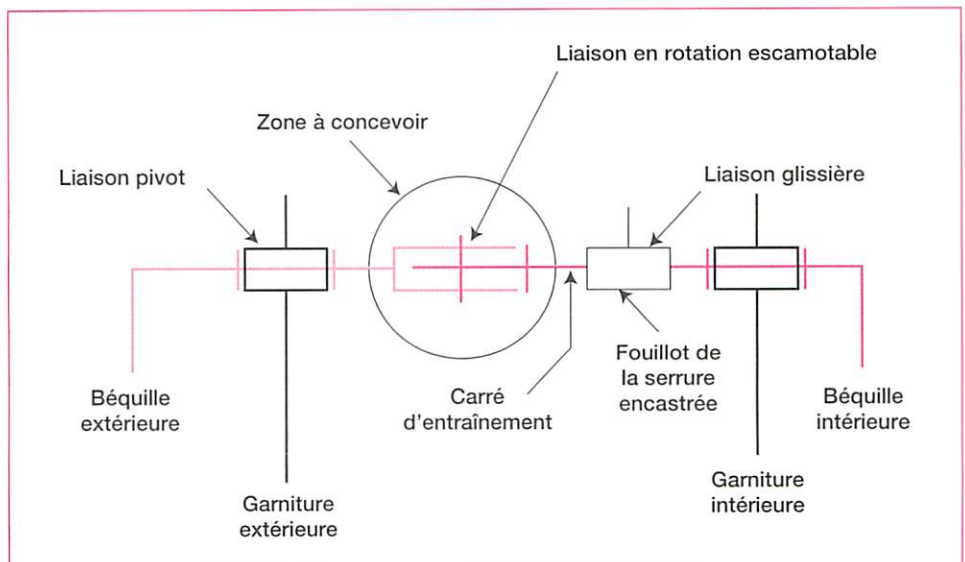


Figure 10.3 Schéma de principe de la serrure électronique

La prise en compte des contraintes définies par le cahier des charges fonctionnel va faire émerger des solutions constructives, imposer certains constituants.

Dans l'exemple présent, la serrure doit être autonome et sans câblage : l'alimentation en énergie se fera donc par piles.

Le schéma-blocs (fig. 10.4) résume les constituants de la chaîne d'énergie de ce système.

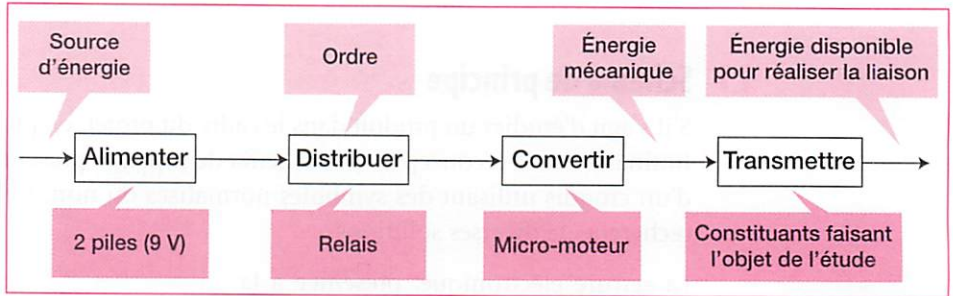


Figure 10.4 Chaîne d'énergie de la serrure électronique

## 1.2 Schéma cinématique

Ce type de schéma est utilisé dans différentes phases du cycle de vie du produit :

- en *phase de conception*, il permet de présenter différentes solutions au problème posé ;
- en *phase de dimensionnement*, des études géométriques et cinématiques sont appliquées à chaque solution. Celles-ci conduisent à éliminer un certain nombre de solutions parmi celles proposées ;
- en *phase d'exploitation*, ce type de schéma permet d'analyser et de comprendre le fonctionnement de systèmes mécaniques.

Le *schéma cinématique* d'un mécanisme rend compte exclusivement des mouvements possibles entre les différents sous-ensembles qui le constituent.

### 1.2.1 Phase de conception

Dans la *phase de conception* de la chaîne de transmission d'un scooter électrique, le rapport global de la transmission est imposé, ainsi que les contraintes d'implantation du moteur, ... Plusieurs solutions sont possibles (fig. 10.5).

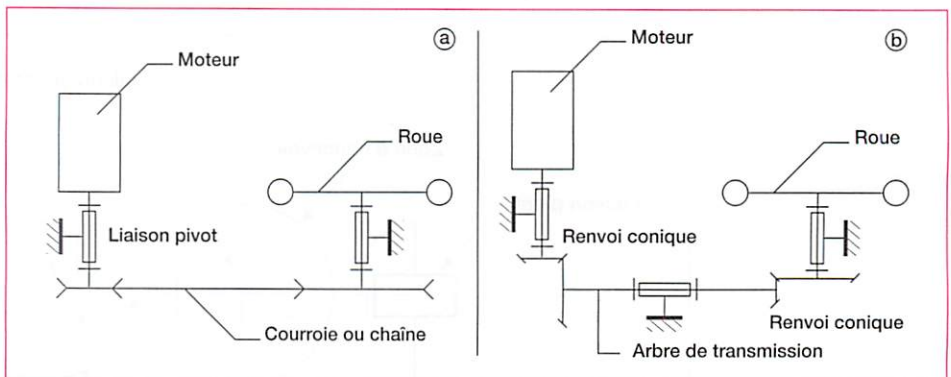


Figure 10.5 Deux exemples de solutions possibles pour réaliser la chaîne de transmission d'un scooter

Les critères que doit satisfaire la transmission sont déterminés, affectés de coefficients en fonction de leur importance dans le choix de la solution.

La maquette virtuelle est désormais au cœur du processus de conception mécanique. Elle est à la frontière de deux phases complémentaires : la phase de conception et la phase de réalisation et d'exploitation.

En *phase de conception*, certains modeleurs volumiques donnent la possibilité d'élaborer des représentations schématiques (fig. 10.6). Ce *mode schéma* consiste à dessiner un schéma plan ou spatial du mécanisme à concevoir.

Il fait apparaître :

- des plans, des axes de construction, correspondant à des conditions limites d'encombrement, des contraintes entre les constituants du système ;
- des pièces, symbolisées par des traits, définissant la cinématique du système, ses déplacements, son fonctionnement. Les pièces peuvent être paramétrées, dimensionnées selon des critères cinématiques et/ou de résistance.

L'ensemble doit respecter les contraintes géométriques, dimensionnelles et fonctionnelles imposées. Se reporter au chapitre 11 : conception dans l'assemblage.

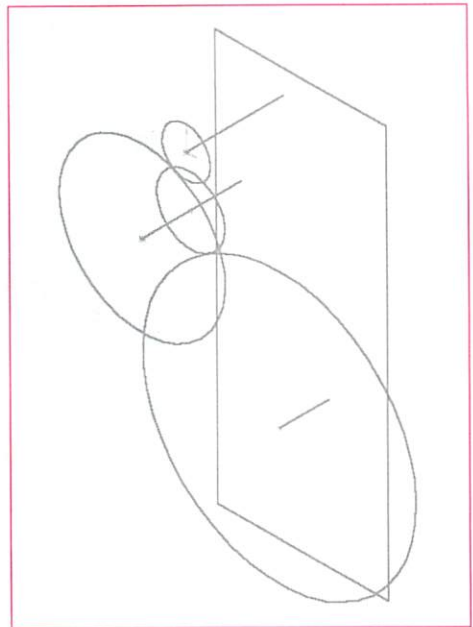


Figure 10.6 Représentation spatiale en mode schéma de la transmission par engrenages de la serrure électronique

### 1.2.2 Phase d'exploitation

En *phase d'exploitation*, on dispose de la maquette virtuelle du mécanisme (3D). Les modeleurs volumiques offrent la possibilité, en cachant certains composants, de montrer l'intérieur du mécanisme (fig. 10.7) dans des positions différentes (fig. 10.8 et 10.9).

Élaborer un schéma cinématique consiste, à partir du document fourni, à :

- identifier les constituants depuis l'entrée à la sortie de la chaîne d'énergie : micro-moteur, train d'engrenages,...
- schématiser chaque groupe de pièces cinématiquement liées. Ces sous-ensembles sont représentés sans épaisseur de matière, sans échelle et repérés par un numéro ;
- identifier et représenter chaque liaison entre les différents sous-ensembles par des symboles normalisés (fiche 2).

Les propriétés géométriques relatives des liaisons sont respectées : parallélisme, perpendicularité, positions relatives des centres de liaisons...

Les principaux paramètres de position sont représentés, en particulier les paramètres d'entrée-sortie.

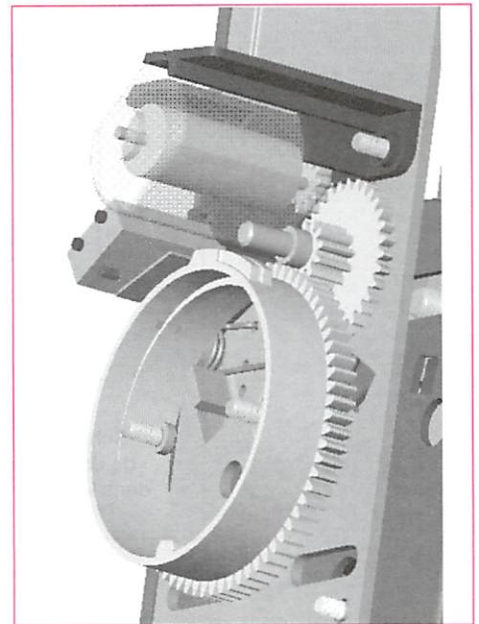


Figure 10.7 Mécanisme de transmission de la serrure électronique



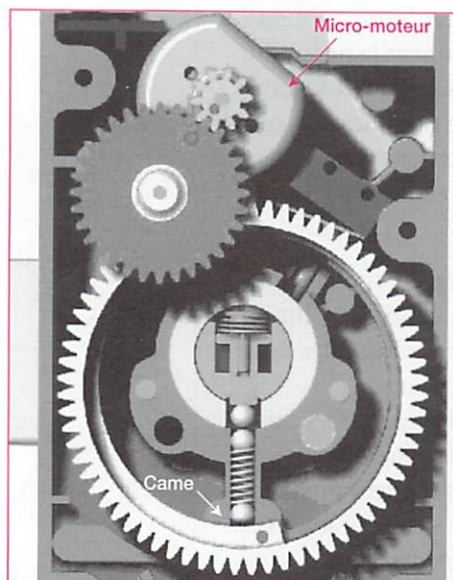


Figure 10.8 Mécanisme en position initiale



Figure 10.9 Mécanisme en position finale

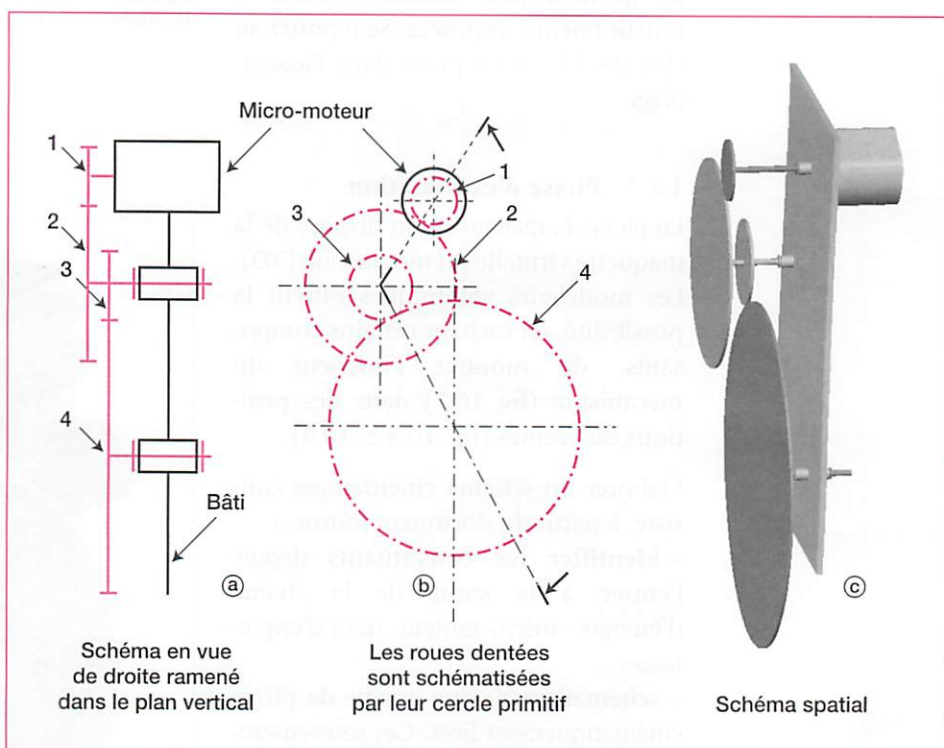


Figure 10.10 Schéma cinématique du mécanisme interne de la serrure électronique

Selon la complexité du mécanisme, le schéma cinématique peut être plan ou spatial (fig. 10.10).

La lecture du document et le schéma cinématique de ce mécanisme mettent en évidence la modification des caractéristiques de l'énergie mécanique issue du micro-moteur par l'intermédiaire de deux engrenages (1-2), (3-4). La couronne dentée 4 comporte une forme particulière désignée « came » (fig. 10.8). La rotation de celle-ci a pour conséquence la réalisation momentanée de la liaison en rotation de la béquille extérieure avec le carré d'entraînement de la serrure encastrée (fig. 10.11).

### 1.3 Schéma d'architecture

Ce mode de schéma, appelé aussi *schéma distributeur des liaisons*, est principalement utilisé en mécanique.

En *phase de développement*, il permet d'analyser un mécanisme en faisant apparaître clairement toutes les liaisons élémentaires en vue d'une *étude dynamique* (rechercher des actions mécaniques s'exerçant sur le mécanisme et dans toutes les liaisons).

Un *schéma d'architecture* modélise les liaisons entre les sous-ensembles constituant le mécanisme étudié mettant ainsi en évidence les degrés de liberté existants, sans définir la solution technologique utilisée. Ce schéma peut être plan ou spatial (fig. 10.12).

Les règles d'élaboration de ce schéma sont identiques à celles définies lors de l'élaboration d'un schéma cinématique (se reporter au paragraphe 10.1.2).

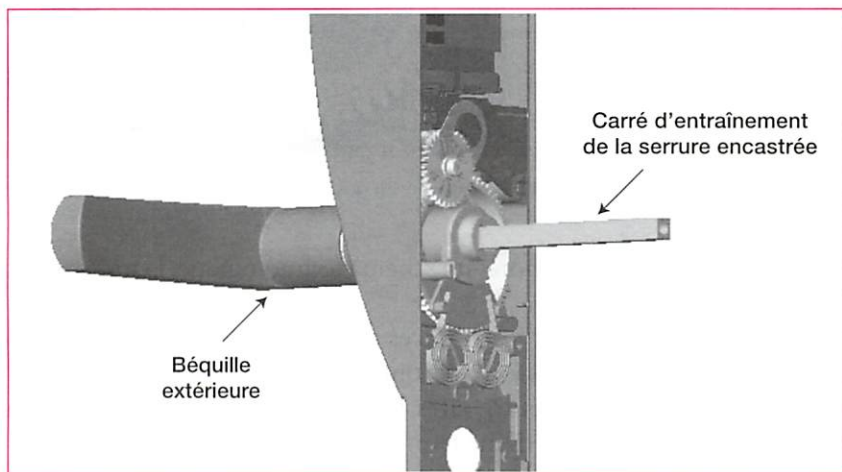


Figure 10.11 Structure interne de la serrure électronique

Le code correct étant introduit, la liaison entre la béquille extérieure et le carré d'entraînement se transforme en une liaison encastrement.

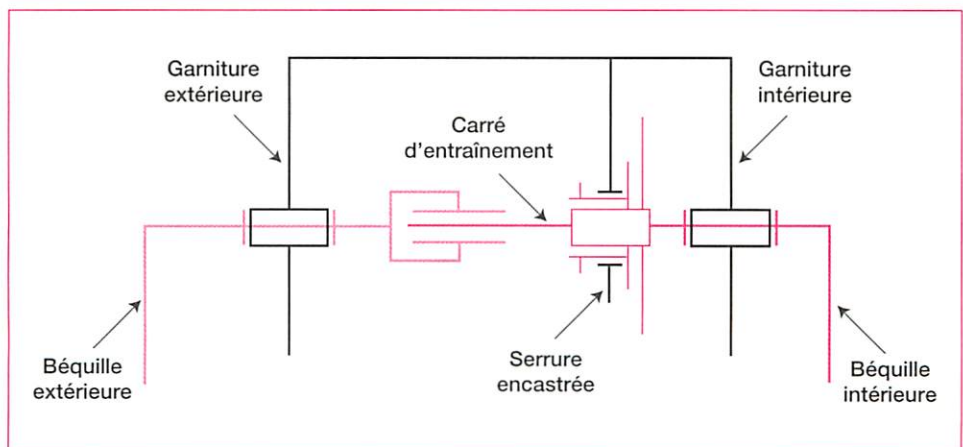


Figure 10.12 Schéma d'architecture de la serrure en position initiale

Afin de comprendre comment s'effectue cette transformation, il convient d'étudier la solution choisie et de réaliser un schéma technologique.

## 1.4 Schéma technologique

Ce type de schéma est principalement utilisé pour passer progressivement du schéma cinématique ou du schéma d'architecture au dessin d'ensemble.

Un *schéma technologique* représente la solution adoptée pour réaliser les liaisons entre les sous-ensembles constituant le mécanisme étudié.

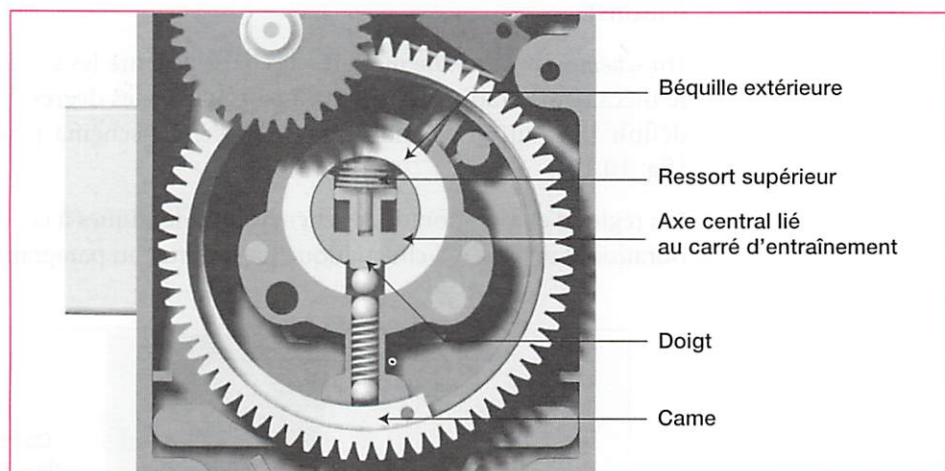


Figure 10.13 Mécanisme en position initiale

Pour élaborer un schéma technologique, la méthode consiste à respecter différentes étapes :

- définir les surfaces en contact des différentes pièces participant à la réalisation d'une liaison : ce sont des surfaces fonctionnelles ;
- relier entre elles les surfaces fonctionnelles d'une même pièce (chaque pièce apparaît d'une teinte différente).

La nature des surfaces en contact définit la liaison entre ces pièces.

Le *schéma technologique* (fig. 10.14) décrit l'agencement des pièces constitutives du mécanisme (fig. 10.13).

Schématiser le mécanisme dans différentes positions facilite la compréhension du principe de fonctionnement.

La mise en rotation du moteur entraîne celle de la came. La position finale de la came impose le déplacement de différentes pièces (billes, ressort) et notamment celui du doigt, poussé par le ressort supérieur. La liaison en rotation est alors réalisée.

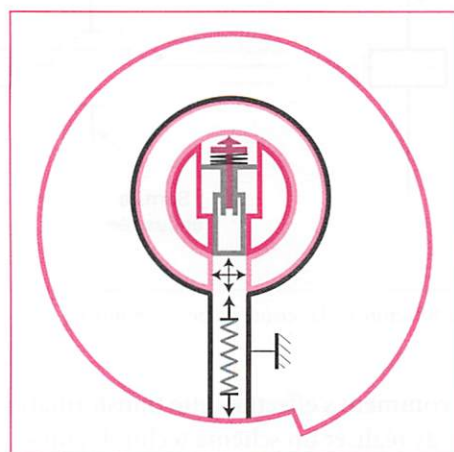


Figure 10.14 Schéma technologique du mécanisme en position initiale



## 2 Les schémas pneumatiques et hydrauliques

La compréhension du fonctionnement d'un équipement mettant en œuvre des actionneurs et des préactionneurs pneumatiques repose sur une lecture méthodique des schémas. Le décodage de ces schémas renseigne aussi sur le traitement, en toute sécurité, des dysfonctionnements pouvant affecter le système.

### 2.1 Lecture d'un schéma et analyse d'une solution

La presse de marquage (fig. 10.15, 10.16 et 10.17) à chaud définie par le schéma pneumatique de la figure 10.18 est utilisée pour le marquage d'objets plastiques. Les principaux mouvements sont :

- l'avancée de l'objet à marquer sous le marqueur et son repli ;
- la descente puis la remontée du marqueur ;
- le défilement du ruban de papier transfert ;
- le chauffage du marqueur est sorti de cette étude.

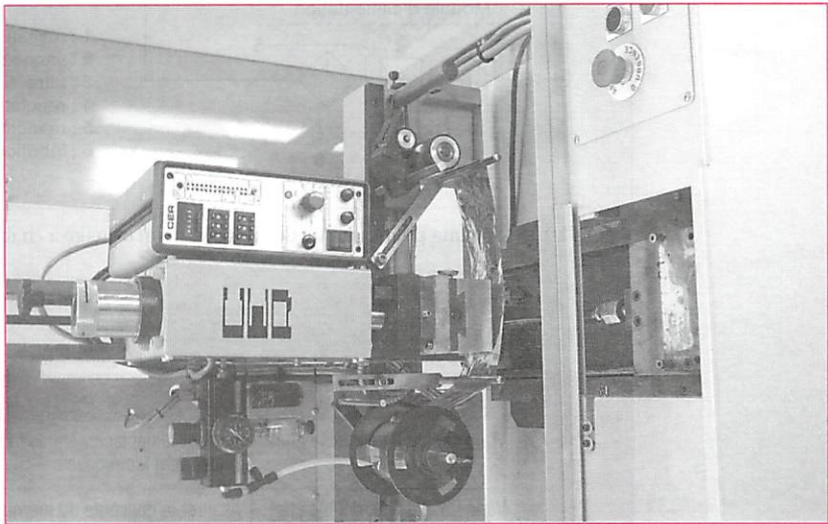


Figure 10.15 Presse de marquage CER

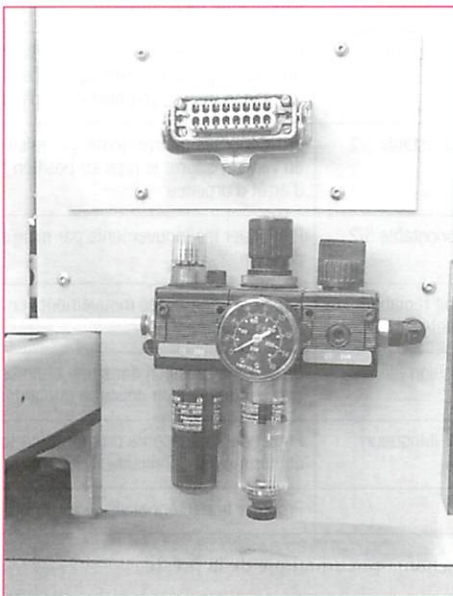


Figure 10.16 Détail d'un module d'alimentation

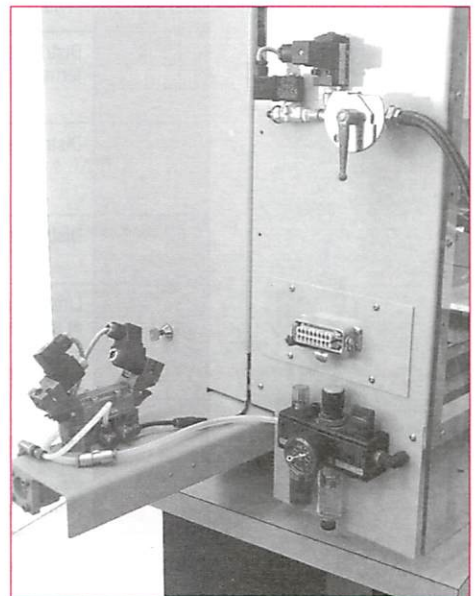


Figure 10.17 Face A2 de la presse de marquage CER

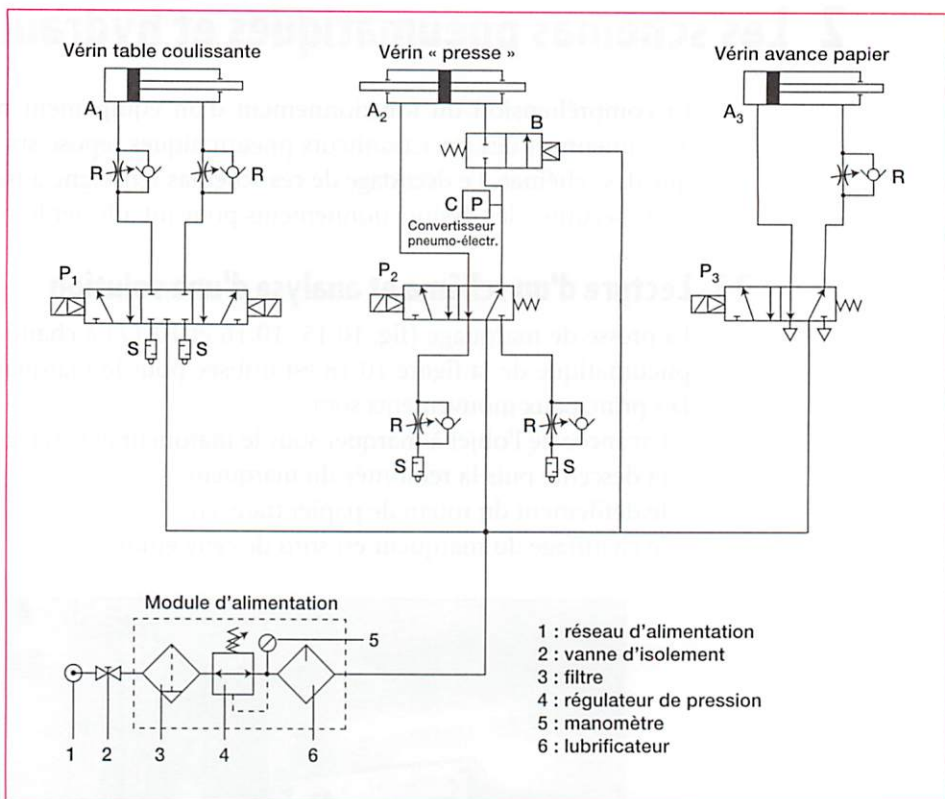


Figure 10.18 Schéma pneumatique de la presse de marquage à chaud

Repère	Désignation	Fonction
<b>A1</b>	Vérin simple tige, double effet	Assurer le déplacement de la table d'aménée ; les efforts aller et retour sont identiques
<b>A2</b>	Vérin double tige, double effet	Assurer la descente du marqueur et appliquer une pression de marquage ; remonter le marqueur en position haute. La seconde tige porte un mécanisme de réglage de la course du vérin
<b>A3</b>	Vérin simple tige, double effet	Assurer le déroulement du ruban. La tige « rentre à vide » ; un vérin simple effet peut convenir
<b>P1</b>	Distributeur 5/3 à centre fermé	Provoquer les mouvements par mise sous pression des chambres du vérin. Figurer la position de la table lors d'une commande d'arrêt d'urgence (même en cours de déplacement)
<b>P2</b>	Distributeur monostable 5/2	Provoquer les mouvements (par mise sous pression des chambres du vérin). Assurer le repli en position haute lors d'une commande d'arrêt d'urgence
<b>P3</b>	Distributeur monostable 5/2	Provoquer les mouvements par mise sous pression des chambres du vérin
<b>R</b>	Limiteur de débit réglable et unidirectionnel	Régler la vitesse des mouvements en agissant sur le débit à l'échappement
<b>C</b>	Capteur de pression	Détecter la pression dans une chambre en remplacement d'un capteur de position délicat à implanter
<b>B</b>	Distributeur 2/2 (bloqueur)	Empêcher la descente du marqueur lorsque l'alimentation en air comprimé est défaillante
<b>S</b>	Silencieux	Protéger le personnel vis-à-vis du bruit

Tableau 10.1 Analyse du schéma pneumatique de la presse

La lecture du schéma impose que l'on identifie la source d'énergie, les préactionneurs et les actionneurs.

– **Choix d'un actionneur pneumatique**

Le choix du type d'actionneur double ou simple effet est lié aux performances exigées par la partie opérative ; un vérin double effet est nécessaire lorsque la tige doit appliquer une force lors de la sortie de tige et lors de la rentrée de celle-ci. Un vérin double effet est aussi préconisé pour des courses importantes et pour vaincre les efforts dus au flambage de la tige. Un vérin effet simple est utilisé lorsque la tige doit produire un effort dans un seul sens.

– **Choix d'un préactionneur pneumatique**

Le choix du type de préactionneur monostable ou bistable est établi par les exigences de la partie commande. Ces exigences sont bien souvent orientées par des contraintes de sécurité lors, par exemple, d'une coupure de l'énergie électrique (déclenchement d'une protection) ou d'une coupure de l'alimentation pneumatique. Le préactionneur permettra notamment d'obtenir une position de repli ou le maintien d'une position.

Le décodage des éléments constituant le schéma est résumé dans le tableau 10.1.

## 2.2 Méthode de lecture d'un schéma pneumatique ou hydraulique

Les *schémas hydrauliques* utilisent les mêmes symboles que les schémas pneumatiques, leur technique de décodage est identique.

– **Premièrement** : à partir du schéma figure 10.18, repérer les actionneurs et leur préactionneur sans prendre en compte les accessoires de réduction du bruit ou de réglage des vitesses. Ceci conduit au schéma simplifié (pour la presse étudiée) donné par la figure 10.19. Cette première lecture permet de justifier le choix des vérins et de leur distributeur. Ces choix sont dictés par les besoins de la partie opérative.

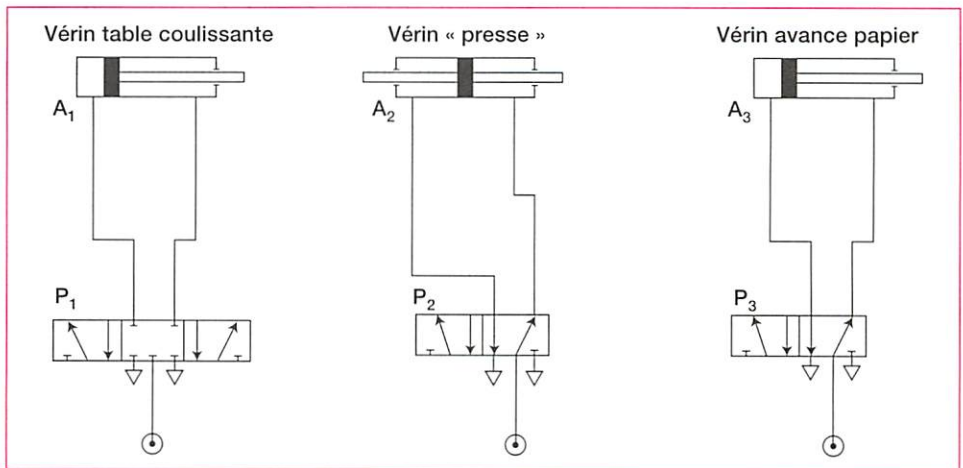


Figure 10.19 Schéma pneumatique simplifié de la presse

– **Deuxièmement** : après prise en compte des critères de sécurité, les modes de commande des préactionneurs sont décidés ; ils seront généralement monostables pour effectuer un repli (cas du marqueur) ou bistable (fig. 10.20) pour maintenir une position atteinte.

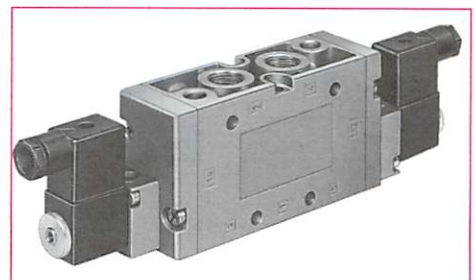


Figure 10.20 Distributeur bistable



Ensuite les organes de commande mécanique, pneumatique, électrique, etc. sont pris en considération.

– Troisièmement : les éléments de réglage des débits, de réglage des vitesses de déplacement, de sécurité complémentaire (exemple du bloqueur 2/2) viendront achever la lecture du schéma.

La figure 10.21 représente des distributeurs montés sur un bloc de raccordement.

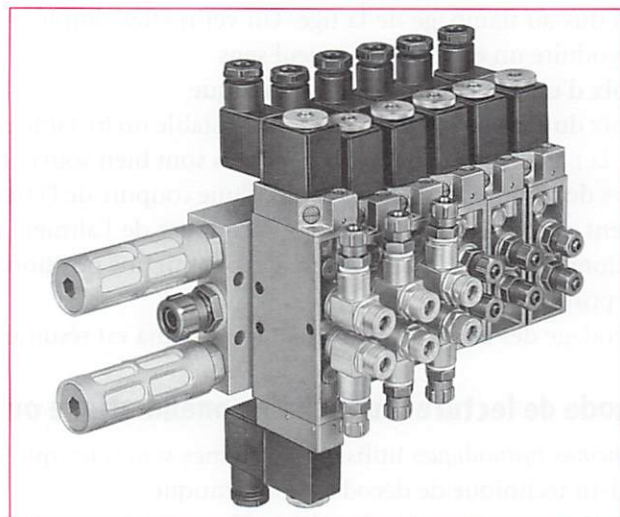


Figure 10.21 Distributeurs sur bloc de raccordement

### 3 Les schémas électriques et électroniques

Les différentes formes de schémas répondent à des codes de lecture très différents ; leur complémentarité n'en est pas moins indispensable.

#### Lecture du schéma électrique général du scooter électrique

La méthode de lecture du circuit de puissance est décrite dans l'ouvrage de première : repérer la source d'énergie puis l'actionneur et suivre, *via* le préactionneur, le trajet de l'énergie électrique.

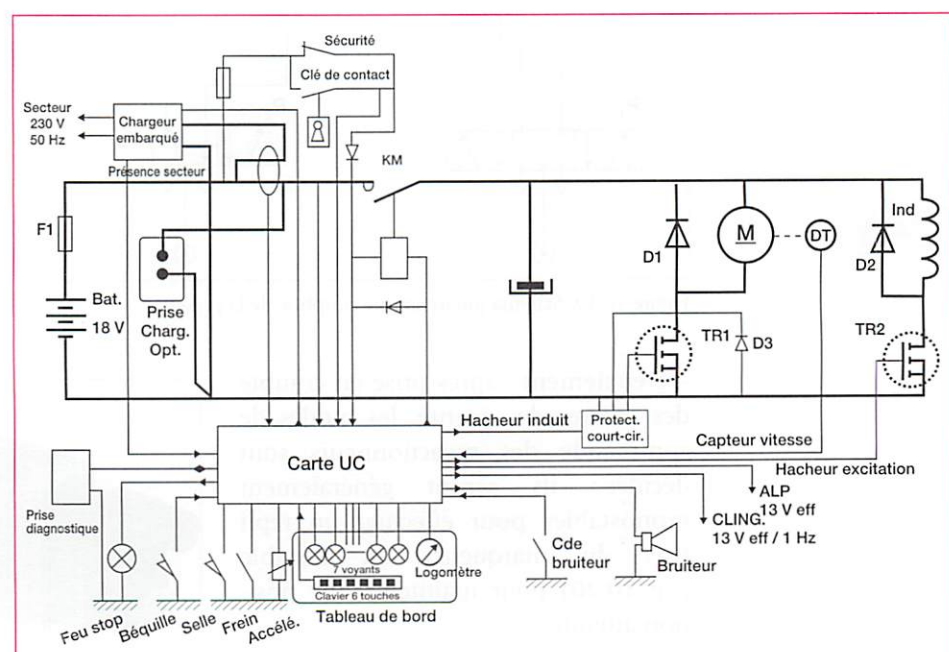


Figure 10.22 Schéma électrique du scooter

La figure 10.22 relie le circuit de puissance en traits forts et le circuit de commande en traits plus fins ; cette partie commande est organisée autour de la carte de contrôle (UC).

Exemple de lecture du schéma électrique du scooter (fig. 10.22) :

**Lecture du circuit de puissance :** l'énergie fournie par la batterie (bat. 18 V) transite vers l'induit du moteur (M) et son inducteur (Ind) *via* le fusible F1 et le contacteur KM. Cette énergie est modulée par les transistors mos TR1 pour l'induit et TR2 pour l'inducteur. Ce concept de modulation est décrit chapitre 8 paragraphe 8.2.

**Lecture du circuit de commande :** la carte UC reçoit les informations à traiter, elles sont matérialisées par des flèches entrantes comme la position repliée de la béquille (capteur fin de course) ou l'action de la clef de contact. Cette carte UC émet aussi des ordres (flèches sortantes) pour commander par exemple le bruiteur ou les clignotants. Ce schéma n'est pas structurel il est fonctionnel : une flèche représente une information entrante, par exemple la vitesse issue de la dynamo tachymétrique (DT) ou la consigne de vitesse par l'intermédiaire du potentiomètre repéré « Accélé. ». Les flèches sortantes repérées « Hacheur induit » et « Hacheur excitation » représentent la commande des transistors TR1 et TR2 (voir chapitre 3 paragraphe 3.3 pour le principe de cette commande proportionnelle par rapport cyclique variable).

L'utilisation de la méthode permet de remplir le tableau 10.2.

Repère	Désignation	Fonction	Observations
<b>Bat.</b>	Batterie 18 volts	Stocker l'énergie	Courant continu
<b>F1</b>	Fusible	Protéger le circuit de puissance contre les courts-circuits	
<b>M</b>	Induit du moteur à courant continu	Convertir l'énergie électrique en énergie mécanique	Actionneur
<b>Ind</b>	Inducteur du moteur		
<b>TR1, D3 et D1</b>	Composants du hacheur d'induit	Moduler l'énergie électrique pour agir sur la vitesse du moteur	Préactionneur proportionnel
<b>Tr2 et D2</b>	Composants du hacheur d'inducteur		
<b>KM</b>	Contacteur	Mettre hors énergie le moteur électrique	Préactionneur tout ou rien
<b>DT</b>	Dynamo tackymétrique	Mesurer la fréquence de rotation du moteur	Capteur

Tableau 10.2 Description du schéma électrique du scooter

## 4 Liaison entre un automate programmable et un circuit de commande

Lorsque la commande d'un système est traitée en logique programmée, l'association entre l'API et le *circuit de commande* s'effectue à l'aide d'interfaces d'entrée et de sortie.



Le principe du câblage d'un capteur sur une interface d'entrée est présenté figure 10.23.

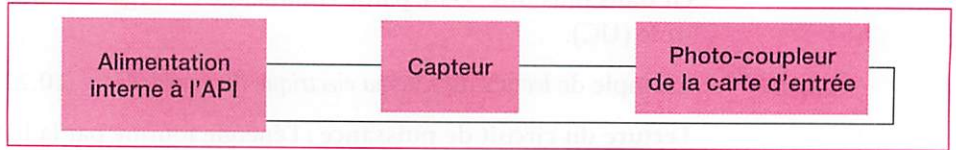


Figure 10.23 Principe du câblage d'un capteur sur une interface d'entrée

Un exemple de raccordement de capteurs sur l'interface d'entrée d'un automate est donné par la figure 10.25.

Le principe du câblage d'un préactionneur sur une interface de sortie est présenté figure 10.24.

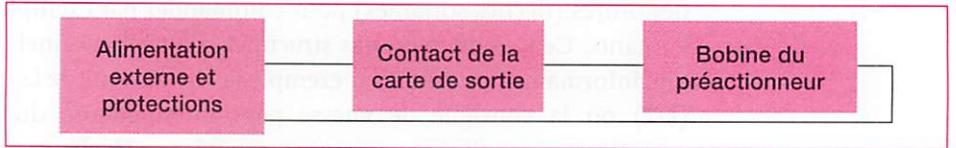


Figure 10.24 Principe du câblage d'un préactionneur sur une interface de sortie

Un exemple de raccordement d'un capteur et de préactionneurs sur l'interface de sorties d'un API est donnée figure 10.25.

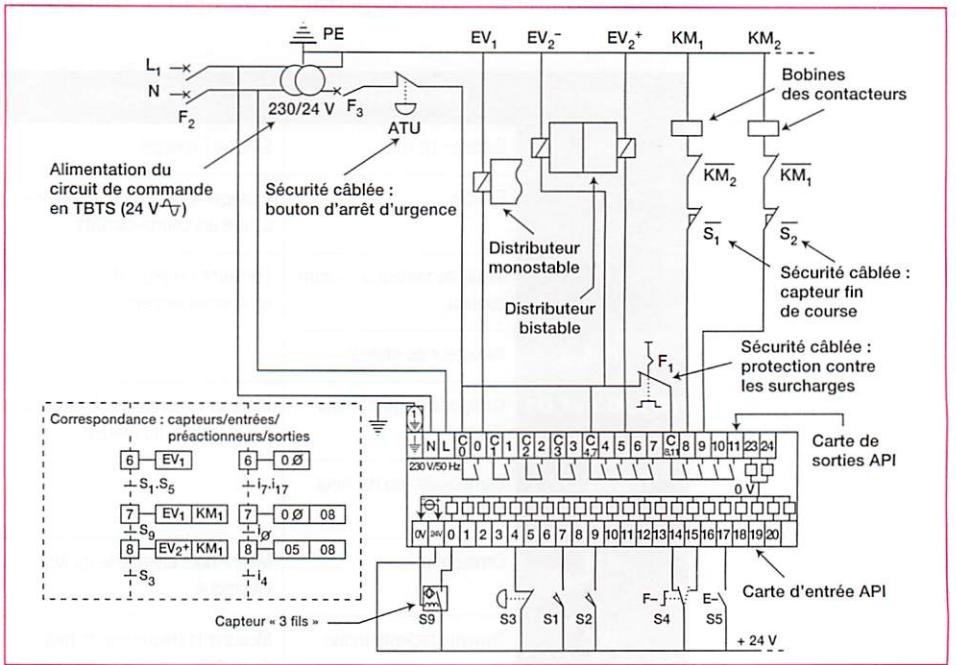


Figure 10.25 Câblage des entrées sorties sur un API

**Lecture du circuit de commande de la figure 10.25 :** les commandes des préactionneurs (EV<sub>1</sub>, EV<sub>2</sub><sup>-</sup>, EV<sub>2</sub><sup>+</sup>, KM<sub>1</sub> et KM<sub>2</sub>) sont respectivement effectuées par les sorties O0, O4, O5, O8 et O9 de l'automate programmable industriel. La source d'énergie de ce circuit de commande est le réseau monophasé (L<sub>1</sub>, N) via un transformateur de sécurité très basse tension (220/24 V) ; les protections électriques sont assurées par les disjoncteurs F<sub>2</sub> et F<sub>3</sub>. Le contacteur KM<sub>1</sub> est actionné lorsqu'un courant parcourt sa bobine ; ce courant, fourni par le transformateur 24 V, circule via le disjoncteur F<sub>3</sub>, le bouton poussoir ATU, le contact du relais thermique F<sub>1</sub>, le contact de sortie O8 de l'automate, le capteur S<sub>1</sub> et le contact à fermeture KM<sub>2</sub> (verrouillage entre KM<sub>1</sub> et KM<sub>2</sub>).

Cette lecture permet de donner l'équation de ce contacteur :

$$KM_1 = F_3 \cdot ATU \cdot F_1 \cdot O8 \cdot S_1 \cdot KM_2$$



Pour construire le *schéma électrique* d'une partie commande réalisée avec un automate programmable, il est impératif de respecter scrupuleusement les indications spécifiques fournies par le constructeur de l'automate (schéma de raccordement, caractéristiques électriques de tension et de courant).

## 4.1 Entrées logiques TOR (tout ou rien)

Suivant la marque ou le type d'automate, on trouve des modules d'entrées logiques :

- avec alimentation externe ou interne ;
- pour raccordement en logique positive (type PNP avec tension positive sur le signal d'entrée) ou négative (type NPN avec tension négative sur le signal d'entrée). Cette logique est quelquefois configurable sur le module par cavalier ou micro-commutateur.

La figure 10.26 montre le raccordement des détecteurs 3 fils (PNP ou NPN), 2 fils polarisés ou à contacts secs (libres de potentiels) avec des automates « Schneider TSX Nano » à alimentation interne ou externe.

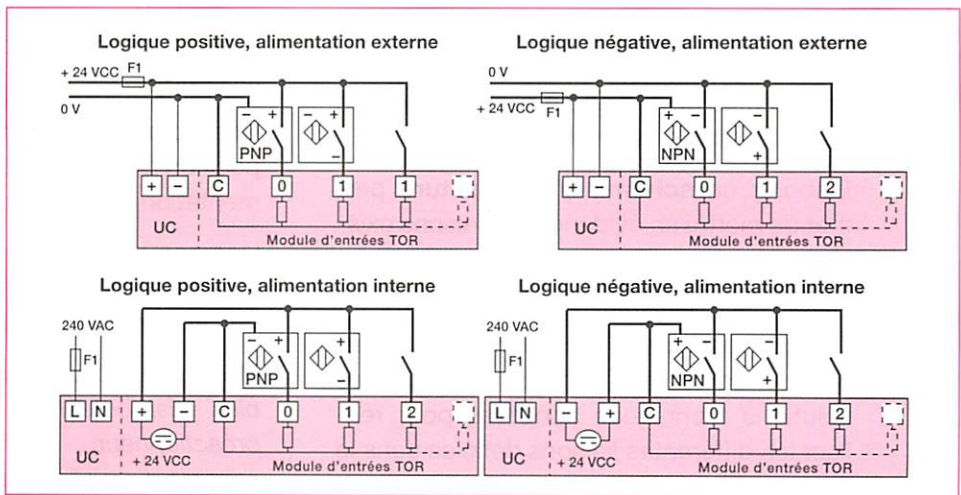


Figure 10.26 Raccordement d'entrées tout ou rien sur un automate « Schneider TSX Nano »

## 4.2 Sorties logiques TOR (tout ou rien)

Les modules de sorties à relais d'un « API » sont libres de potentiel et peuvent donc commander des préactionneurs en courant alternatif ou en courant continu avec généralement une intensité de 3 A. Les modules de sorties à transistors PNP ou NPN ne peuvent commander que des préactionneurs en courant continu avec généralement une intensité de 0,5 A, mais avec une très grande fréquence possible. La figure 10.27 montre le raccordement de voyants, contacteurs, électrovannes avec différents modules.

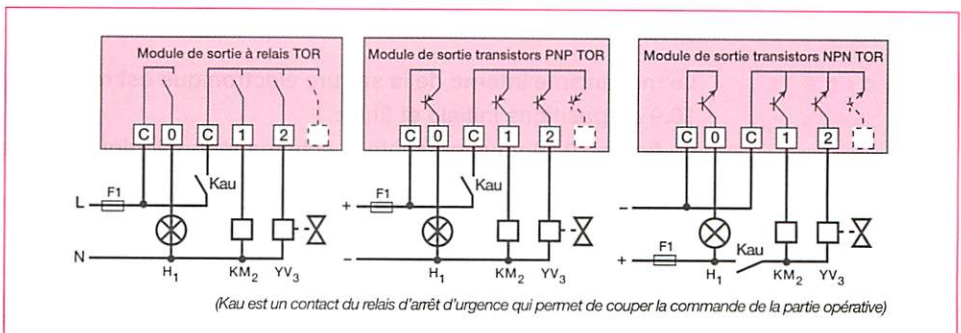


Figure 10.27 Raccordement de sorties tout ou rien sur un automate « Schneider TSX Nano »

En phase de conception, un schéma de principe est apparenté à un croquis. En phase de développement, il prendra la forme d'un schéma cinématique, d'architecture ou d'un schéma technologique. En phase de réalisation pour la production, le montage, l'installation, le câblage du système, on utilisera des schémas normalisés électriques, pneumatiques,....

Élaborer un **schéma de principe** permet de présenter une idée préliminaire. Certaines contraintes sont imposées par le cahier des charges.

Élaborer un **schéma cinématique** permet de présenter la solution choisie, d'analyser, de mettre en évidence la chaîne d'énergie d'un mécanisme en faisant apparaître clairement les mouvements possibles entre les sous-ensembles qui le constituent et de représenter de façon simplifiée les divers constituants de cette chaîne.

Élaborer un **schéma d'architecture** permet de mettre en évidence les liaisons existant entre les sous-ensembles constituant le mécanisme.

Élaborer un **schéma technologique** permet de représenter de façon simplifiée les solutions techniques adoptées pour réaliser les différentes liaisons définies dans le schéma d'architecture.

Le **principe de lecture des schémas** de puissance hydraulique, pneumatique ou électrique est identique à savoir :

- identifier la source d'énergie, les actionneurs et les préactionneurs ;
- repérer le cheminement de l'énergie de la source vers les actionneurs ;
- envisager les différents états des préactionneurs et en déduire l'effet sur l'énergie, par conséquent sur les actionneurs.

Un vérin simple effet développe un effort dans un seul sens du déplacement de la tige. Un vérin double effet fournit un travail dans les deux sens du déplacement de la tige.

Le réglage de la vitesse de la tige s'effectue par action sur le débit de la chambre mise à l'échappement.

Un bloqueur permet d'arrêter un vérin dans sa course.

Une commande monostable fait quitter la position atteinte lors d'une coupure de l'alimentation du circuit de commande.

Une commande bistable permet de rester dans la position atteinte lors d'une coupure de l'alimentation du circuit de commande.

**Mots clés :** *actionneurs, distributeur bistable, distributeur monostable, interface, préactionneur, schéma cinématique, schéma d'architecture, schéma de principe, surfaces fonctionnelles, schéma technologique, schémas hydraulique et pneumatique, schéma électrique, schéma électronique, vérin double effet, vérin simple effet.*

## exercices

### EXERCICE 1

Le mécanisme interne de la serrure électronique est représenté par les figures 10.8 et 10.9 en positions initiale et finale.

La figure 10.14 vous présente le schéma technologique en position initiale.

1. Compléter la figure 10.28 afin d'élaborer le schéma technologique du mécanisme en position finale.
2. À partir de cette position finale de la came, on abaisse la béquille extérieure. Compléter le schéma technologique de la figure 10.29 correspondant à cette nouvelle position.



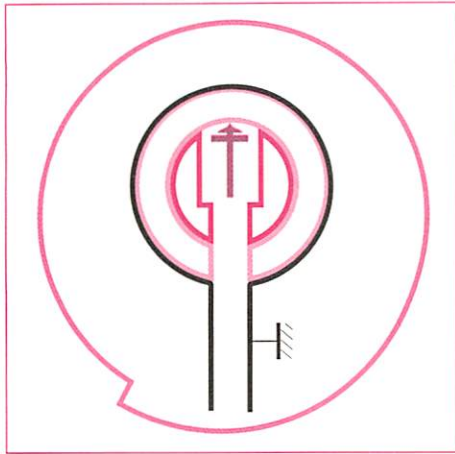


Figure 10.28 Schéma technologique du mécanisme en position finale (à compléter)

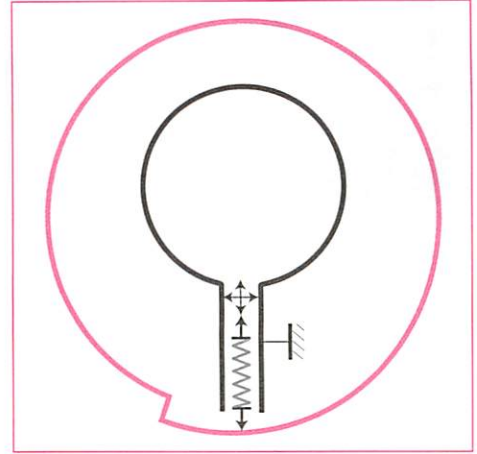


Figure 10.29 Schéma technologique du mécanisme en position finale, après avoir abaissé la béquille extérieure (à compléter)

## EXERCICE 2

La transmission du scooter électrique est présentée en 3D par sa maquette virtuelle (fig. 10.30) et par son dessin d'ensemble 2D. La figure 10.31 fait apparaître les constituants en rendant les carters transparents.

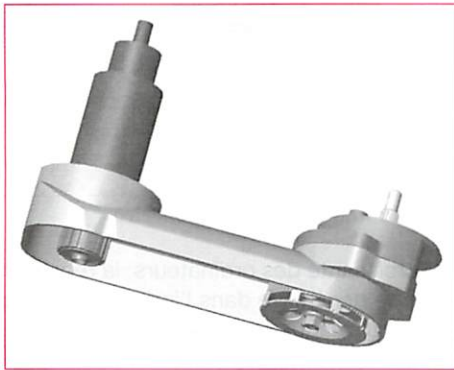


Figure 10.30 Transmission du scooter électrique en vue extérieure

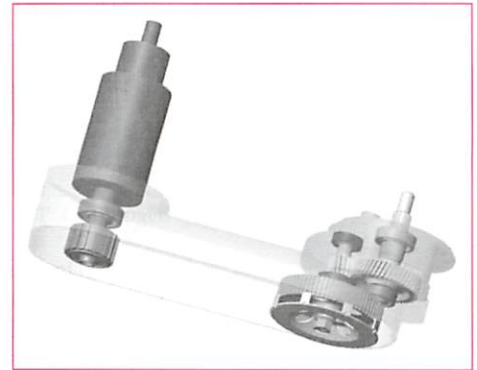


Figure 10.31 Transmission du scooter électrique avec carters rendus transparents

- Élaborer le schéma cinématique plan et en 3D de la solution choisie.

## EXERCICE 3

Élaboration d'un schéma pneumatique d'une unité de perçage

La pièce est tenue par un étau à serrage pneumatique, la descente et la remontée de l'outil sont assurées par un vérin pneumatique. La commande des distributeurs est électrique.

1. Choisir les actionneurs et préactionneurs assurant en toute sécurité le bon fonctionnement de cette unité. Justifier votre choix.
2. Établir le schéma pneumatique.

## EXERCICE 4

Analyse d'un schéma pneumatique

1. À partir d'une lecture attentive du schéma de la presse donné figure 10.18, préciser ce qui se passe lors d'une coupure de l'alimentation en air comprimé. Que deviennent les mouvements en cours ? Les positions atteintes sont-elles maintenues ?
2. Que se passe-t-il lors d'une coupure de l'alimentation électrique des distributeurs (par exemple par action sur un bouton arrêt d'urgence). Que deviennent les mouvements en cours ? Les positions atteintes sont-elles maintenues ?



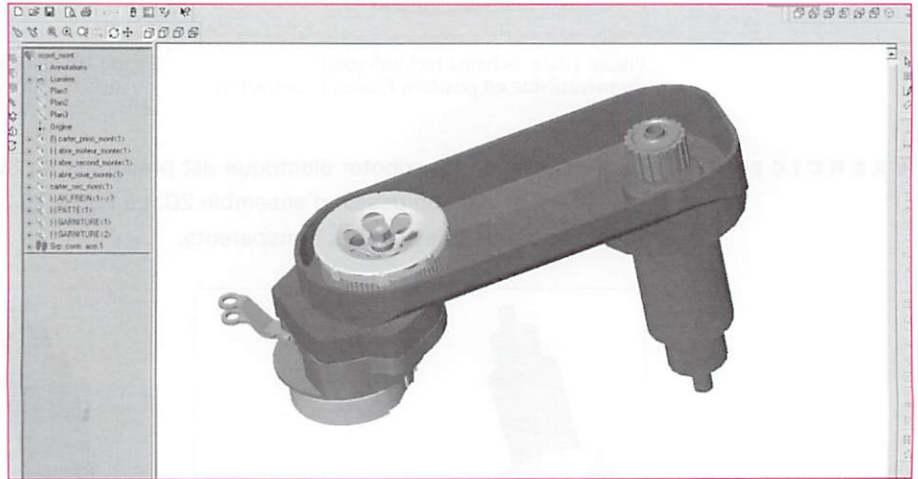


Figure 11.1 Transmission du scooter électrique Scoot'elec

Grâce à la puissance croissante des ordinateurs, la représentation du réel à l'aide de modeleurs volumiques se généralise dans l'industrie dans le but de concevoir des ensembles mécaniques. La maquette virtuelle remplace, à moindre coût, le prototype physique : elle montre ce qui n'existe pas encore mais qui peut être calculé, modifié à l'infini.

Visualiser un produit, simuler le comportement d'un mécanisme, permet d'améliorer la communication, le projet étant présenté de manière plus directement compréhensible par tous, et facilite la concertation entre les différentes équipes (design, fabrication, maintenance,...).

## Compétences

Un produit étant mis à disposition ou défini sous forme de représentation du réel :

- ▶ Identifier les différentes pièces constituant l'assemblage.
- ▶ Définir les contraintes d'assemblages.
- ▶ Analyser morphologiquement les pièces et identifier les volumes élémentaires et les paramètres associés.

Un produit étant mis à disposition et/ou défini par un dossier :

- ▶ Représenter tout ou partie du produit à l'aide de l'outil informatique 3D.

# 1 La maquette numérique

Le concept de maquette virtuelle ou numérique tient un rôle central (fig. 11.2). Dans le cycle de vie industrielle d'un produit, elle est au cœur du processus et à la frontière de deux phases complémentaires :

- la *phase de conception*, amenant un technicien à définir une solution répondant à un besoin, à un cahier des charges et aboutissant à la maquette numérique volumique du projet ;
- la *phase de réalisation et d'exploitation*, utilise la maquette virtuelle pour en extraire des documents utiles à la fabrication, à la maintenance, au mode d'emploi et aux services commerciaux.

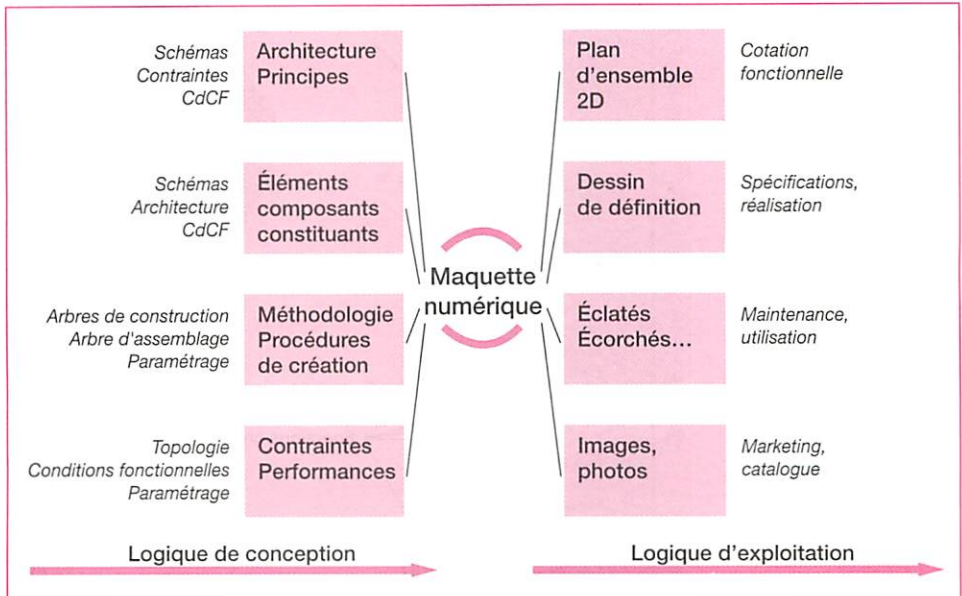


Figure 11.2 La maquette numérique : maillon central entre les phases de conception et d'exploitation

## 2 La logique de conception

La logique de conception vise à l'élaboration ou à la modification de la maquette numérique d'une pièce ou d'un ensemble de pièces. L'agencement des différentes pièces a été précisé auparavant par des schémas de principe, d'architecture et technologique (voir chapitre 10).

Comment construire une pièce volumique ? Quelle méthode de conception doit-on adopter ?

Comment construire un assemblage de pièces ?

Les logiciels utilisés sont actuellement des modélisateurs volumiques dits « *variationnels* ». Ceux-ci permettent au concepteur d'imaginer les formes de la pièce sans en connaître les dimensions exactes.

La cotation n'est pas obligatoire au début de la création. On peut modifier, à n'importe quel moment de la conception, la géométrie et les dimensions de la pièce, avec une reconstruction automatique de celle-ci.

Des contraintes peuvent être fixées ultérieurement soit par le concepteur, soit par des modules spécialisés : calcul de résistance, normes, cotes d'une autre pièce, contraintes d'usinage,...

## 2.1 Les fonctionnalités de base d'un logiciel de CAO-3D

### 2.1.1 L'arbre de création

Pour une pièce, l'*arbre de création* est la liste des fonctions technologiques qui, associées séquentiellement, créent un modèle volumique.

Cet arbre permet de comprendre comment est construit le modèle, de le modifier à tout moment.

Pour illustrer la démarche et les concepts utilisés, nous allons utiliser le carter principal de la transmission du scooter électrique (fig. 11.3).

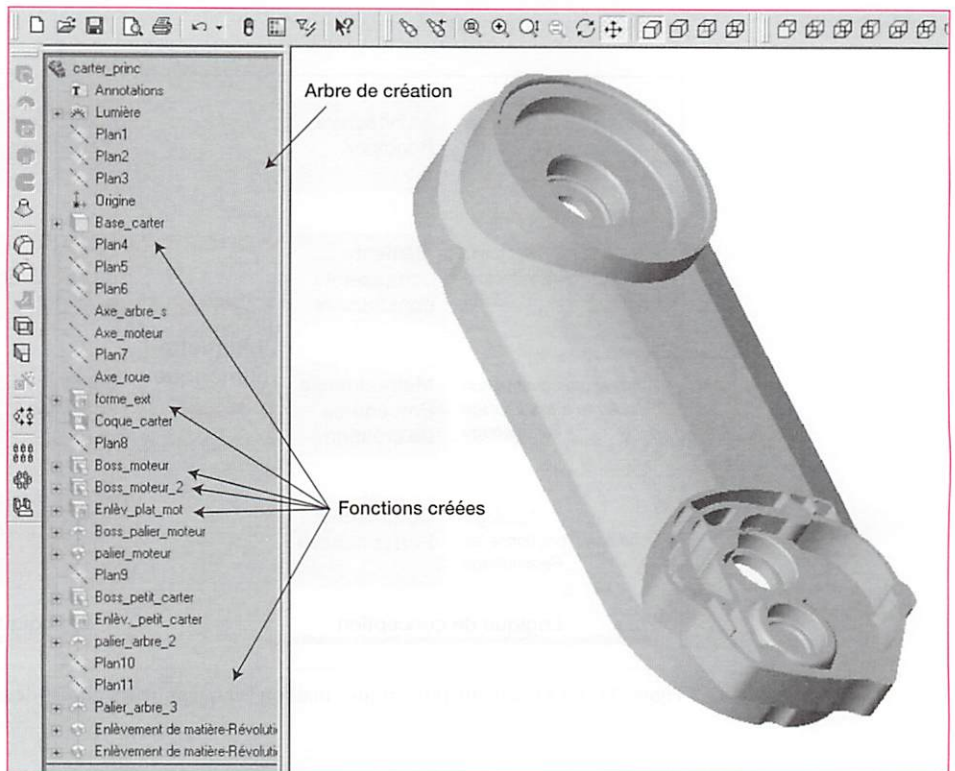


Figure 11.3 Conception du carter principal de la transmission du scooter électrique

### 2.1.2 Les fonctions technologiques

Les logiciels proposent un choix plus ou moins large de fonctions technologiques courantes : bossage, perçage, chanfrein, congé, coque, pliage, etc.

La première fonction créée dans une pièce est la *fonction de base*. Elle est réalisée, comme d'autres fonctions d'ailleurs, à partir d'une *esquisse*.

Une esquisse est un contour plan qui délimite une section dans un plan (fig. 11.4). Celui-ci, appelé *plan d'esquisse*, est attaché à une surface ou un plan du modèle géométrique.

Le terme « esquisse » vient du fait que celle-ci peut être tracée à main levée. Le logiciel interprète les formes géométriques de l'esquisse et détecte automatiquement un certain nombre de situations géométriques particulières.



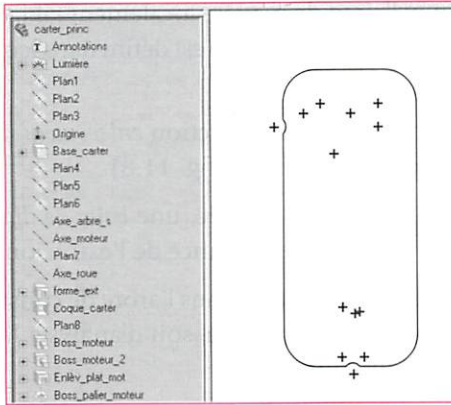


Figure 11.4 Esquisse de la base du carter

Les volumes sont ensuite engendrés par le déplacement de la section plane de l'esquisse le long d'une courbe :

- la base du carter est obtenue par *extrusion* de l'esquisse dans la direction 1 (fig. 11.5) ;
- la forme extérieure est obtenue par la fonction *extrusion-enlèvement de matière*, vers l'extérieur du contour, suivant la direction du plan milieu (fig. 11.6).

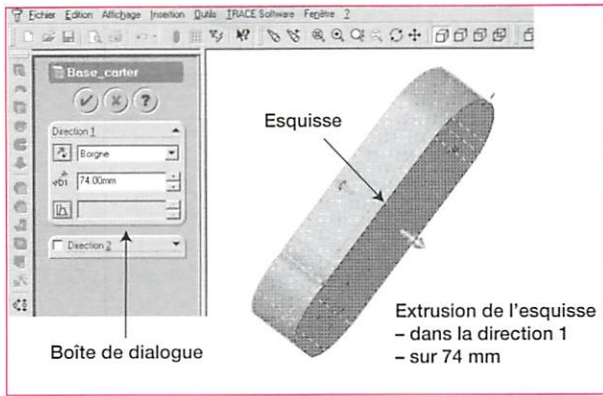


Figure 11.5 Construction de la base du carter

La *fonction Coque* creuse la pièce en laissant ouvertes les faces que vous sélectionnez et en laissant des parois minces sur les faces restantes (fig. 11.6).

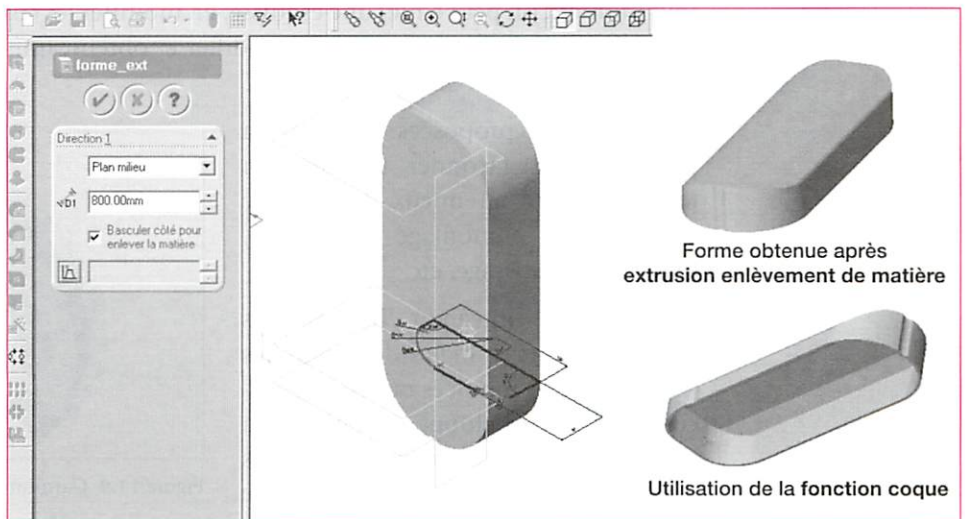


Figure 11.6 Conception de la forme extérieure du carter

La fonction *Bossage* permet l'ajout de matière localement : il faut réaliser le guidage de l'arbre moteur. Un nouveau plan d'esquisse est défini dans lequel est tracée l'esquisse, un cercle (fig. 11.7).

La création du palier moteur utilise la fonction *enlèvement de matière par révolution* autour d'un axe d'une nouvelle esquisse (fig. 11.8).

Lors de la définition de la fonction utilisée, une *boîte de dialogue* permet d'en préciser les caractéristiques : direction et distance de l'extrusion, par exemple.

Il est possible à tout instant de remonter dans l'arbre de construction (ici, par déplacement de la *barre de reprise* (fig. 11.8) afin, soit d'analyser la méthode conception, soit d'introduire de nouvelles fonctions.

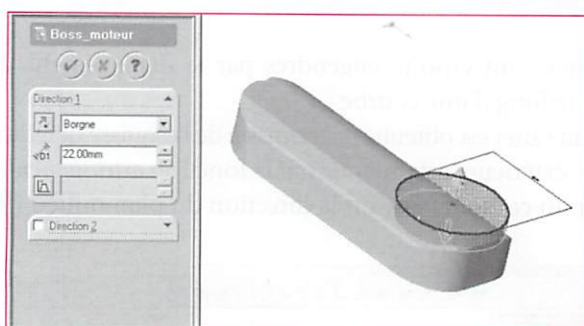


Figure 11.7 Création d'un bossage

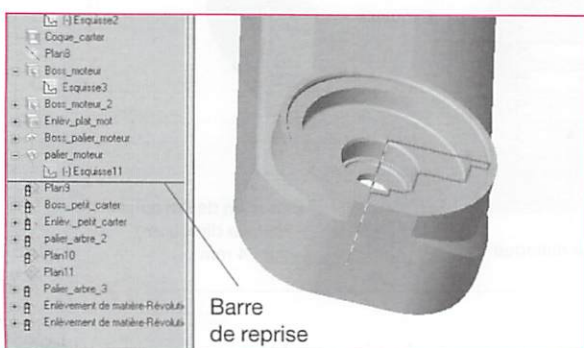


Figure 11.8 Réalisation du palier moteur

L'associativité entre l'arbre de construction et le modèle géométrique est telle qu'à tout moment on peut éditer une esquisse, en modifier les contraintes, les cotes, éditer la définition d'une fonction, la modifier et obtenir immédiatement la reconstruction de la pièce.

Les fonctions proposées donnent la possibilité de façonner la pièce en tenant compte au mieux du procédé d'élaboration : moulage (fig. 11.9), pliage, emboutissage, etc.

Les logiciels intègrent les options correspondantes : angles de dépouilles pour les pièces moulées ou forgées, calcul exact du développé à partir de la pièce 3D ou inversement calcul des dimensions de la pièce après pliage pour les pièces chaudronnées.

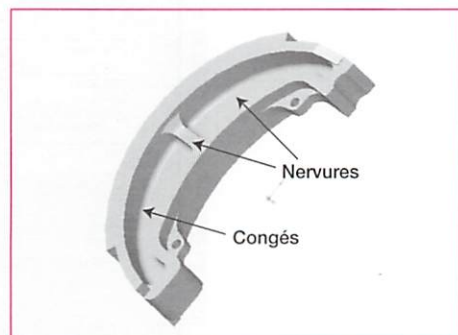


Figure 11.9 Garniture de frein

Le modèle de la pièce étant créé, il est possible de définir également celui des outillages permettant de la fabriquer : par exemple, l'empreinte de l'outil de moulage en tenant compte du facteur de retrait,...

### 2.1.3 Méthode de conception d'une pièce

En analysant précédemment la construction partielle du carter principal de la transmission, on peut se poser la question : « quelle méthode doit-on adopter pour concevoir une pièce ? »

Le mécanisme doit satisfaire un certain nombre de fonctions techniques. Celles-ci ont été définies dans une phase précédente. Le cahier des charges a imposé, par exemple, un encombrement maximal de la transmission ; l'étude cinématique, le rapport de transmission du système poulies/courroies donc le diamètre des poulies et l'entraxe, etc. (fig. 11.10).

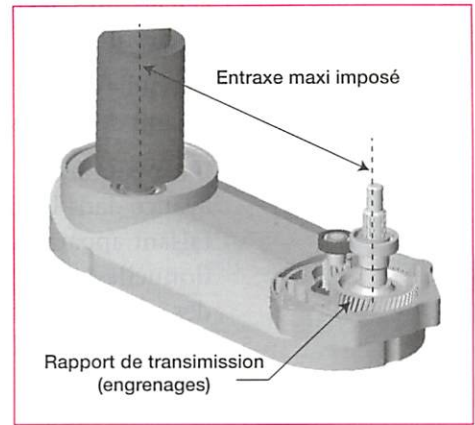


Figure 11.10 Exemples de contraintes imposées

Le carter principal doit donc respecter des contraintes fonctionnelles, dimensionnelles et structurelles :

- contenir les poulies crantées (fig. 11.1) ;
- guider les différents arbres moteur, intermédiaires, etc.

Concevoir une pièce nécessite donc une démarche de construction :

- analyser les surfaces fonctionnelles ;
- inventorier les entités géométriques associées aux liaisons et aux surfaces fonctionnelles,
- définir les volumes élémentaires ;
- ordonner les fonctions.

Chaque volume élémentaire est créé à partir d'une esquisse, contenue dans un plan. Celui-ci peut être une face plane du modèle ou un *plan de référence* (fig. 11.11).

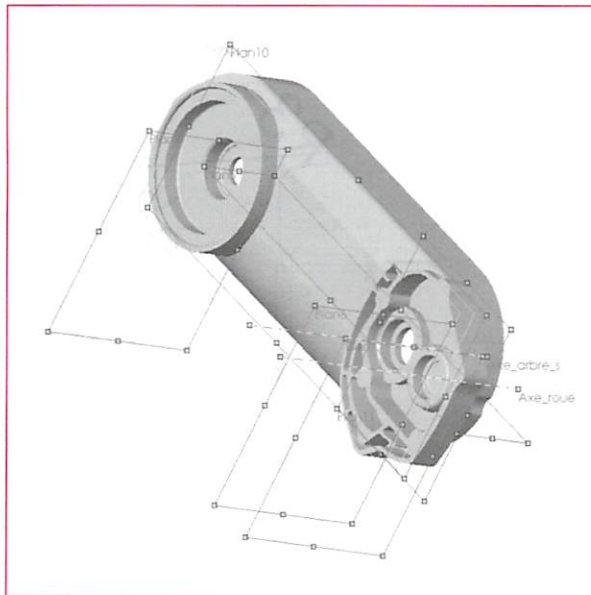


Figure 11.11 Les plans de référence

La position d'un plan de référence, servant à la définition du volume à créer, est définie par des *contraintes géométriques* : décalé d'une distance donnée ; à angle donné avec une face ou un plan ; passant par 3 points ; parallèle à un plan, passant par un point ; etc.



L'esquisse est formée d'entités : lignes, cercles, arcs, rectangles, lignes de construction.

La poulie crantée (fig. 11.12) est obtenue à partir de l'esquisse définie figure 11.13.

On peut, au fur et à mesure que l'on avance dans le projet, *coter l'esquisse* en faisant apparaître les dimensions fonctionnelles retenues. Ajouter ou changer des cotes dans une esquisse est possible à tout moment, les modifications étant intégrées dans la pièce.

On peut utiliser des équations pour définir des *relations mathématiques* entre les cotes ou les paramètres.

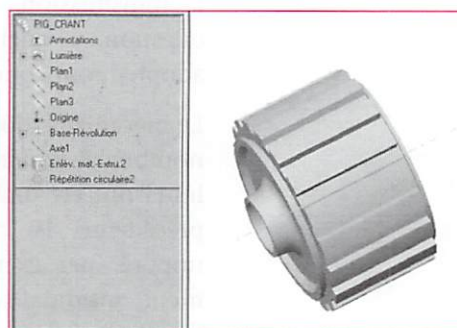


Figure 11.12 La poulie crantée

## exemple

"D2 @ Esquisse1"="D1 @ Esquisse1"/2 : ceci signifie que, quelle que soit la valeur de la cote D2, D1 aura une dimension double.

.....

Les noms de cote (D1 et D2 dans l'exemple) sont les variables.

Les paramètres sont, par exemple, les paramètres de fonction tels que la profondeur d'une extrusion.

Ainsi, chaque entité d'esquisse peut être associée à des contraintes dimensionnelles (cotes). De plus, entre les entités d'esquisse ou entre des entités d'esquisse et des plans, des axes, des arêtes ou des sommets, il est possible de créer des relations ou contraintes géométriques (fig. 11.13) : parallélisme, perpendicularité, tangence, concentricité, etc.

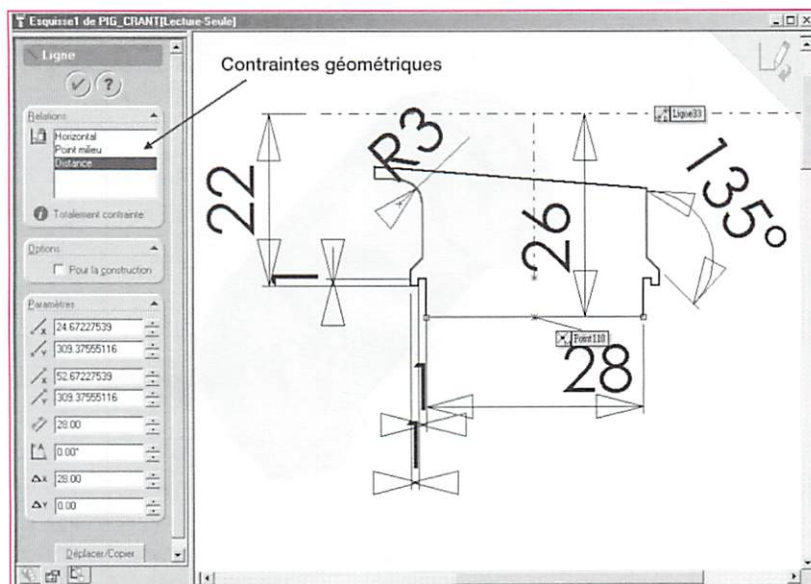


Figure 11.13 Construction de l'esquisse de la poulie crantée

Une géométrie d'esquisse se trouve alors :

- totalement contrainte : si les cotes et les relations sont totalement et correctement décrites ;
  - sur-contrainte : si cette géométrie est contrainte par trop de cotes ou de relations ;
  - sous-contrainte : si les cotes et les relations ne sont pas contraintes correctement.
- Les lignes peuvent se déplacer ou changer de taille.

Les modeleurs variationnels résolvent les problèmes liés aux constructions réalisées à partir d'esquisses sous-contraintes. Les paramètres manquants sont calculés pour avoir une solution proche du dessin à main levée. Les contraintes pourront être fixées ultérieurement.

#### 2.1.4 Le paramétrage dimensionnel et fonctionnel

Les modèles géométriques dépendent de dimensions caractéristiques données dans une esquisse et lors de l'opération de génération. Le paramétrage permet de piloter les volumes du modèle par simple modification de dimensions.

Par exemple, le Scoot'elec existe en deux versions : une version 45 km/h et une version 25 km/h destinée à certains pays. La solution choisie pour la deuxième version peut entraîner des modifications du carter. Il est donc intéressant de stocker la méthode de conception de la géométrie plutôt que la géométrie elle-même. Les dimensions, éventuellement les formes particulières, etc., deviennent des paramètres dont la valeur peut être modifiée à tout moment.

On peut distinguer deux types de paramétrages.

Le *paramétrage dimensionnel*, permettant de piloter les dimensions d'un modèle à partir de cotes pré-établies et enregistrées dans un tableur. Dans ce cas, les formes finales sont variables mais toutes les fonctions technologiques de construction sont conservées.

On définit ainsi une famille de produits paramétrée en dimensions.

Le *paramétrage fonctionnel*, permettant de gérer des fonctions technologiques d'une pièce selon des déclarations enregistrées dans un tableur. Cette propriété permet de construire des géométries différentes à partir d'un seul fichier.

On définit ainsi une famille de produits paramétrés en formes et fonctions.

## 2.2 Construction d'un assemblage de pièces

Pour créer un assemblage de pièces, deux méthodes de conception sont possibles : la méthode de *construction par assemblage* (conception ascendante) et la méthode de *construction dans l'assemblage* (conception descendante).

### 2.2.1 Méthode de construction par assemblage

Dans la conception ascendante, les pièces sont conçues indépendamment (fig. 11.14). Puis les pièces sont insérées dans un assemblage (fig. 11.15) et assemblées selon les besoins de la conception.

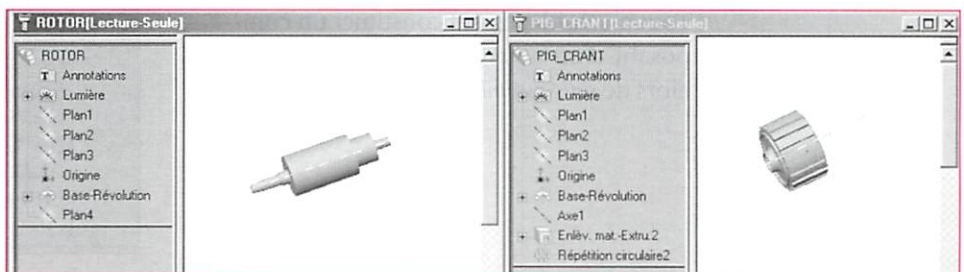


Figure 11.14 Construction des pièces rotor et pignon cranté

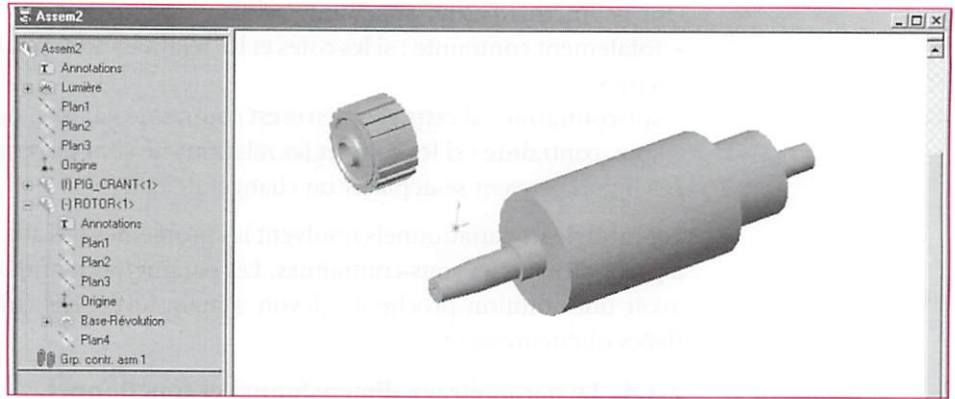


Figure 11.15 Insertion des pièces dans l'assemblage

La première pièce insérée dans le fichier assemblage est généralement fixée ; il est nécessaire ensuite de positionner le composant suivant par des *contraintes d'assemblage*.

Les relations de contrainte permettent de contrôler avec précision l'orientation des composants les uns par rapport aux autres. Elles font intervenir des notions de positionnement relatif. Ce sont des relations géométriques telles que coaxial, coïncident à distance, parallèle, perpendiculaire, etc.

Toute relation de contrainte créée est ajoutée à un *groupe de contraintes d'assemblage* (fig. 11.16) ; celui-ci est inclus dans l'*arbre d'assemblage*.

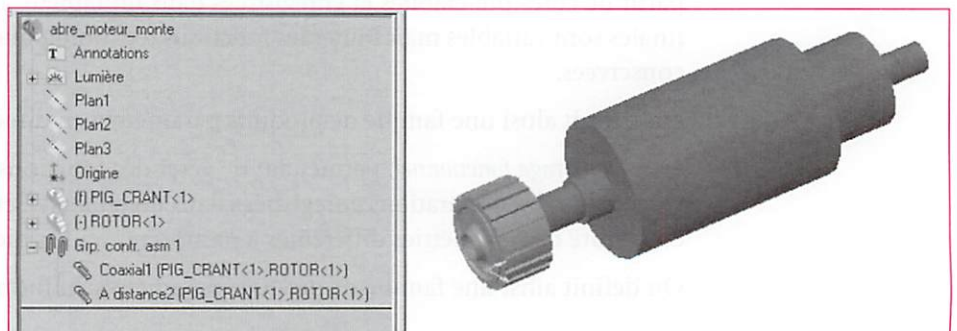


Figure 11.16 Assemblage de l'arbre moteur avec le groupement de contraintes développé

Pour un assemblage, l'*arbre d'assemblage* est la liste des pièces le composant, permettant de visualiser le type de contraintes d'assemblage qui les lient et les relations entre dimensions paramétrant l'assemblage, choisies par le concepteur.

Tout assemblage peut constituer un composant d'un autre assemblage : on parle alors de *sous-assemblage* (fig. 11.17).

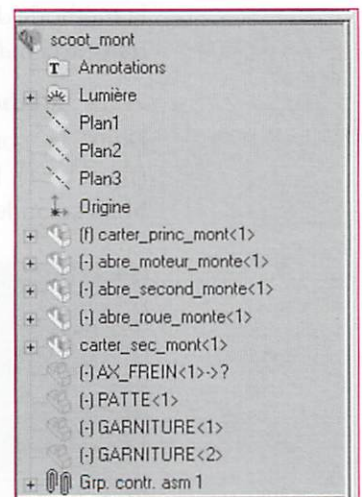


Figure 11.17 Arbre d'assemblage de la transmission du scooter



Des *composants standard*, issus de bases de données techniques, interfacées au logiciel volumique (fig. 11.18), tels que roulements, coussinets, segments d'arrêt, éléments de centrage, joints d'étanchéité, etc., peuvent s'insérer dans les projets. Le concepteur gagne ainsi un temps appréciable.

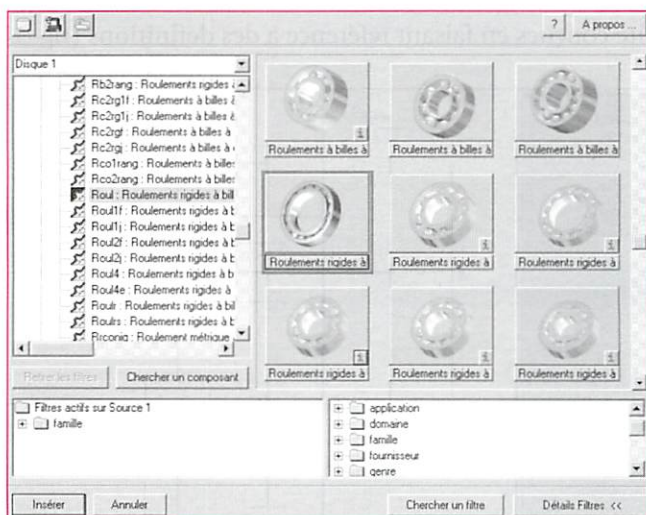


Figure 11.18 Famille de roulements à billes extraite d'une bibliothèque TRACE part

Cette méthode permet :

- d'assembler les pièces du mécanisme selon des contraintes fonctionnelles ;
- de vérifier le fonctionnement par déplacement des pièces ;
- de proposer un nouvel agencement, les pièces constitutives existant ;
- d'archiver des éléments de solutions que l'on pourra reprendre au gré des modifications.

### 2.2.2 Méthode de construction dans l'assemblage

La conception descendante est différente car on commence à travailler dans l'assemblage. On utilise la géométrie d'une pièce pour définir d'autres pièces ou créer des fonctions usinées qui ne sont ajoutées qu'après l'assemblage des pièces.

Dans l'exemple du scooter électrique, il est intéressant de construire le petit carter à partir de la géométrie du carter principal sur lequel il vient se fixer. D'autre part, les paliers sont respectivement coaxiaux (fig. 11.19 et 11.20).

Un avantage important de cette méthode est que la modification de la géométrie sur le carter principal se répercute sur celle du petit carter : la forme et les dimensions de la surface d'appui et de mise en position des deux parties du carter, l'entraxe des paliers, par exemple.

Comme la nouvelle pièce a son propre fichier, elle peut être modifiée indépendamment de l'assemblage.

Il est évident que, pour créer un mécanisme, on peut associer ces deux méthodes.

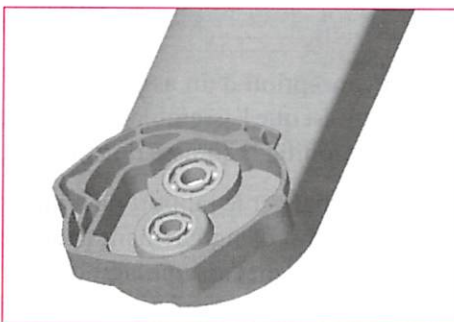


Figure 11.19 Carter principal

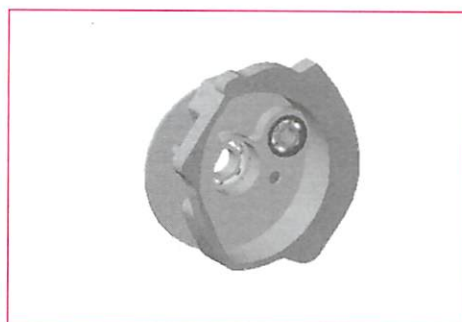


Figure 11.20 Petit carter

### 2.2.3 Méthode de construction en mode plan

Il est possible de concevoir un assemblage d'une manière descendante en utilisant les esquisses de *représentations schématiques*. Ces esquisses montrent où se situent les différents composants d'assemblage, des plans, des axes de construction, correspondant à des conditions limites d'encombrement, etc. (fig. 11.21). Les pièces sont ensuite conçues en faisant référence à des définitions (fig. 11.22).

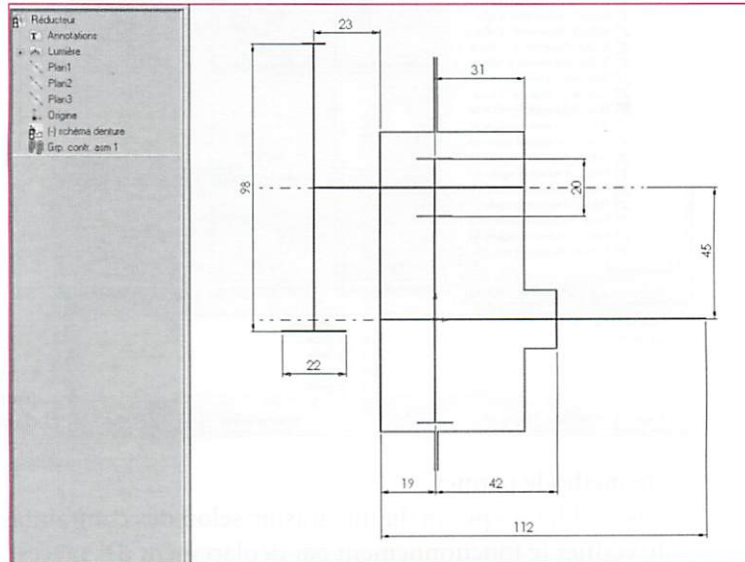


Figure 11.21 Esquisse de représentation schématique du réducteur

C'est une conception dans l'assemblage car on crée une nouvelle pièce en définissant son esquisse, à main levée, mais en s'appuyant sur le schéma sur lequel les éléments le définissant sont plus ou moins contraints : le diamètre de la roue dentée et sa largeur sont imposés, par exemple (fig. 11.22).

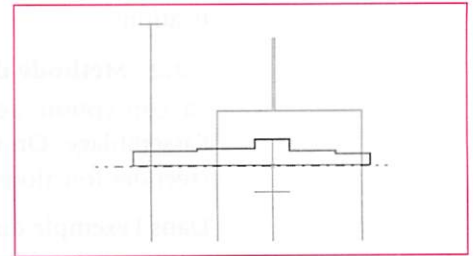


Figure 11.22 Création de l'esquisse de l'arbre

La création de la pièce s'effectue ensuite en appliquant les fonctions d'extrusion (fig. 11.23).

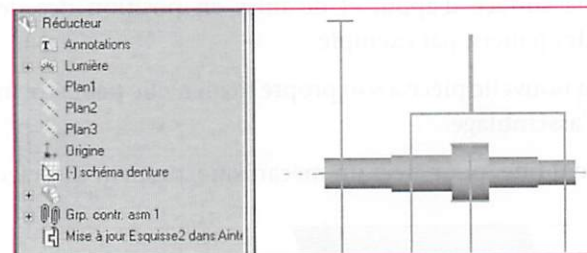


Figure 11.23 Création de l'arbre intermédiaire par révolution

Le principal avantage de la conception d'un assemblage au moyen d'une esquisse de représentation schématique est que l'assemblage et ses pièces sont automatiquement mis à jour lorsque l'on modifie l'esquisse de représentation schématique.

Par exemple, il est possible de changer le rapport de réduction en modifiant, sur le schéma initial, la position du point d'engrènement (nouvelle proportion entre les diamètres primitifs). En reconstruisant l'assemblage, on obtient un nouveau réducteur où les diamètres des roues et les formes de leur passage dans le carter sont automatiquement modifiés.

On peut également changer les formes extérieures du carter en dissociant les contraintes fonctionnelles des contraintes de formes.

## 3 La logique d'exploitation

### 3.1 Découverte du système

La maquette autorise la découverte des organes et composants, de leur agencement (fig. 11.24) grâce à la connaissance de quelques fonctionnalités de visualisation (zoom), de déplacement (rotation, translation). Cela permet d'établir des liens entre le réel et le virtuel.

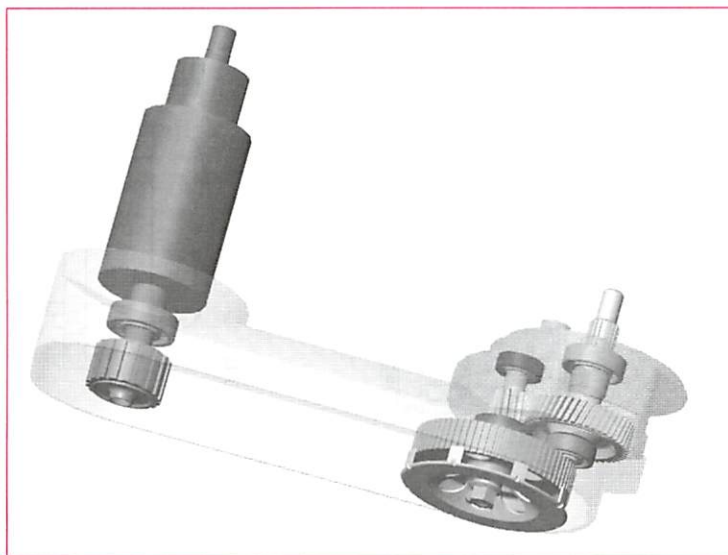


Figure 11.24 Transmission du scooter

Une pièce sélectionnée dans l'arbre de construction change de couleur sur la maquette.

On peut rendre une pièce transparente ou invisible pour en visualiser une autre derrière elle, et ainsi se déplacer à l'intérieur du système. La maquette apporte là des possibilités d'observation que n'offre pas le réel.

Par exemple, la serrure électronique (voir chapitre 10) n'autorise pas un démontage facile. Il n'est donc pas aisé d'en comprendre le fonctionnement à partir du réel.

Des outils d'animation, associés au modèle volumique, permettent de simuler le fonctionnement du mécanisme et d'en faciliter la compréhension (fig. 10.8, fig. 10.9).

### 3.2 Édition de documents industriels

#### 3.2.1 Mise en plan

À partir des pièces volumiques 3D et des assemblages, on peut créer des mises en plan 2D.

Une *mise en plan* consiste en plusieurs vues issues de la projection d'une forme spatiale sur un plan d'orientation particulière. Ceci permet de montrer les dimensions réelles de tout ou partie d'un mécanisme.



Les pièces, les assemblages et les mises en plan sont des documents enchaînés ; tous les changements effectués sur la pièce ou l'assemblage se répercutent dans le document de mise en plan.

Ces représentations planes (fig. 11.25) utilisent un code graphique, associé à des normes, destiné à faciliter la communication entre techniciens : disposition normalisée des vues, vues en coupe, vues de détail, vues interrompues, sections, perspective, etc.

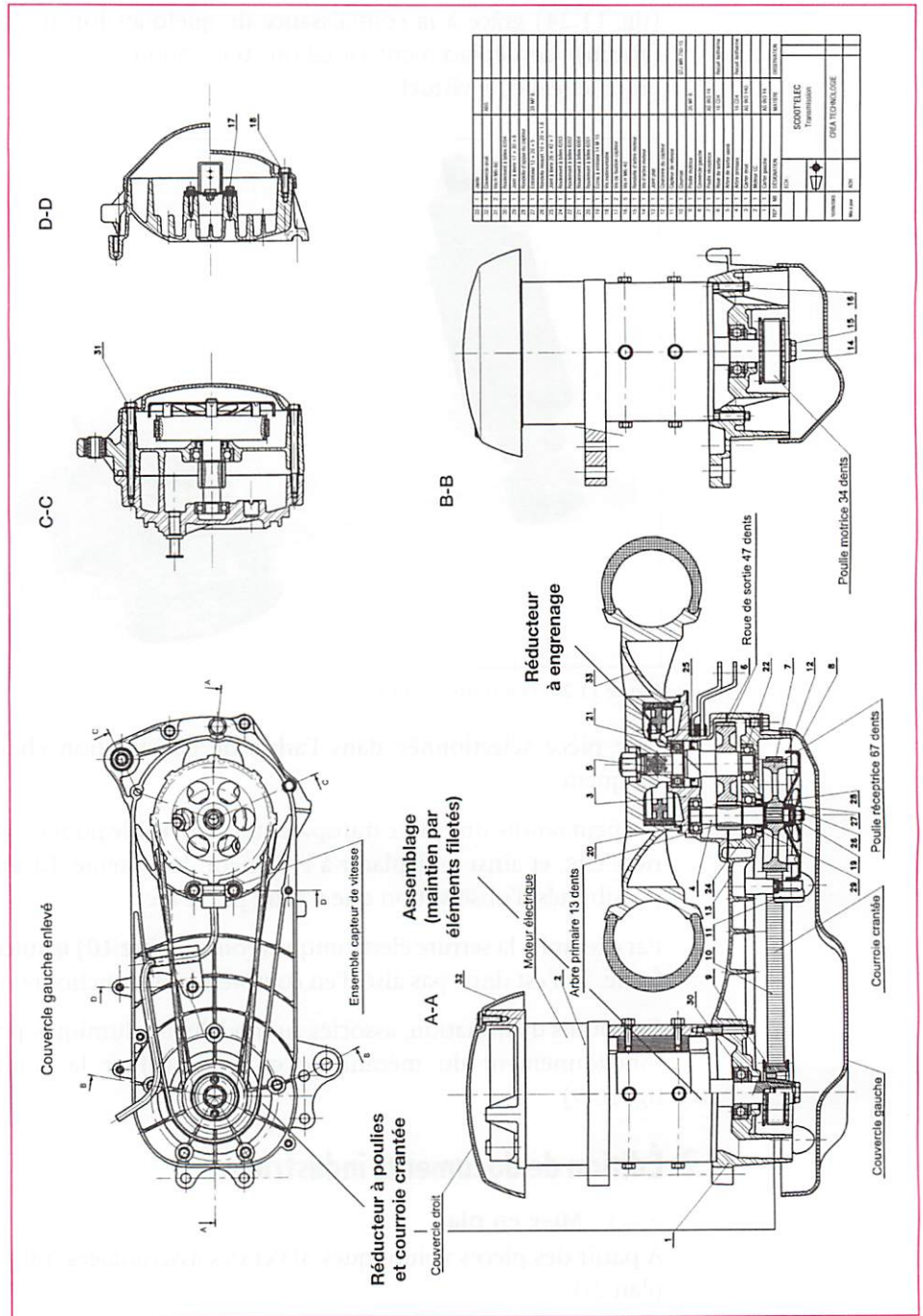


Figure 11.25 Mise en plan de la transmission du scooter

Une nomenclature (fig. 11.26) peut être insérée dans la mise en plan d'un assemblage, avec une mise à jour automatique lors de la modification des assemblages : ajout, suppression, remplacement de composants, changement de leurs noms, etc.

33	1	Jante		
32	1	Couvercle droit	ABS	
31	2	Vis H M6-60		
30	1	Roulement à billes 6204		
29	1	Joint à lèvres 17 × 30 × 6		
28	1	Rondelle d'appui du capteur		
27	1	Entretien 12 × 20 × 5	35 MP 6	
26	1	Rondelle ressort 10 × 20 × 1,6		
25	1	Joint à lèvres 26 × 42 × 7		
24	1	Roulement à billes 6203		
22	1	Roulement à billes 6202		
21	1	Roulement à billes 6004		
20	1	Roulement à billes 6201		
19	1	Écrou à embase 14 M 10		
18	1	Vis indémontable		
17	2	Vis de fixation capteur		
16	5	Vis H M6-40		
15	1	Rondelle d'arbre moteur		
14	1	Vis d'arbre moteur		
13	1	Joint plat		
12	1	Couronne du capteur		
11	1	Capteur de vitesse		
10	1	Courroie		GTJ MR 750-15
9	1	Poulie motrice	35 MF 6	
8	1	Couvercle gauche		
7	1	Poulie réceptrice	AS 9V3 Y4	
6	1	Roue de sortie	16 CD4	Recuit isotherme
5	1	Arbre de sortie usiné		
4	1	Arbre primaire	16 CD4	Recuit isotherme
3	1	Carter droit	AS 9V3 Y40	
2	1	Moteur CC		
1	1	Carter gauche	AS 9V3 Y4	
REP	NB	DÉSIGNATION	MATIÈRE	OBSERVATION
		ECH :		
			<b>SCOOT'ELEC</b> Transmission	
10/09/2003			CREA TECHNOLOGIE	
Mis à jour	ADH			

Figure 11.26 Nomenclature

Les plans cotés (fig. 11.27) définissent les formes, les dimensions et les contraintes particulières d'une pièce : symboles d'état de surface, symboles de tolérance géométrique,...

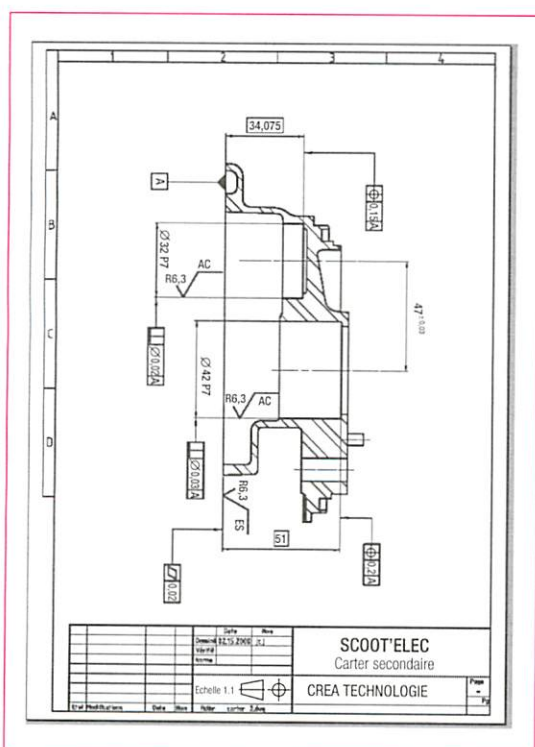


Figure 11.27 Dessin de définition coté

### 3.2.2 Éclatés, écorchés

Destinés à illustrer l'agencement des constituants d'un mécanisme, les éclatés (fig. 11.28) et les écorchés permettent aux non-initiés une compréhension et une analyse plus ou moins approfondie d'un système. Ils constituent une aide à la lecture d'un dessin d'ensemble.

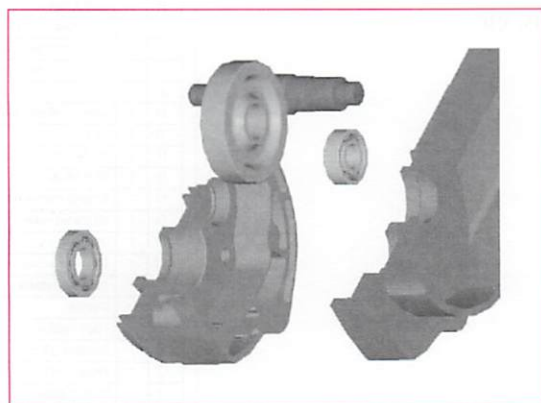


Figure 11.28 Éclaté

Certains logiciels disposent d'outils permettant l'animation des vues éclatées.

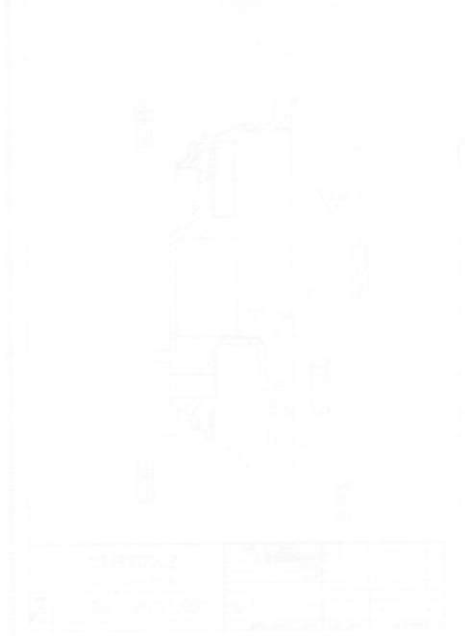
Ce type de documents est exploité lors de travaux de maintenance, facilitant les explications de montage et de démontage d'un mécanisme par exemple ou par les services après-vente.

### 3.2.3 Produit virtuel

Par le choix des textures, des états de surface, des couleurs, la maquette virtuelle représente les mécanismes de façon très réaliste.

La composition d'une scène peut améliorer le réalisme visuel car cela donne une meilleure impression du volume de la pièce et donc un 3D plus réaliste : création des ombres pour les lumières définies dans la scène, reflets, ajout d'un fond d'image, etc.

Au final, l'image du produit virtuel égale la réalité. Ainsi, certains produits sont mis en vente par des sociétés avant leur date de sortie des chaînes de fabrication.





La maquette numérique est le maillon central situé entre la phase de conception et la phase d'exploitation d'un produit.

Concevoir une pièce nécessite une démarche de construction.

L'utilisation d'un modèleur paramétrique et variationnel, quelle que soit la méthode de conception du mécanisme (par assemblage ou dans l'assemblage), permet de créer un modèle avec rigueur, tout en conservant une grande souplesse dans les possibilités de modifications.

Le paramétrage dimensionnel et fonctionnel permet notamment de définir une famille de pièces ainsi que des assemblages correspondants pour obtenir plusieurs configurations d'un même produit.

La maquette numérique facilite la découverte d'un système, permet l'élaboration de documents industriels (mises en plan de pièces ou d'assemblages), commerciaux (rendus réalistes), de maintenance et de SAV (éclatés).

**Mots clés :** *modèleur paramétré et variationnel, arbre de création, esquisse, fonction extrusion-bossage, fonction extrusion-enlèvement de matière, fonction coque, contraintes géométriques, contraintes dimensionnelles, arbre d'assemblage, groupe de contraintes d'assemblage, paramétrage dimensionnel, paramétrage fonctionnel, mise en plan, éclatés.*

## exercices

### EXERCICE

La transmission du scooter électrique, définie à la figure 11.24 de ce chapitre, a été réalisée par un modèleur volumique.

L'arbre de création associé à sa construction vous est proposé figure 11.17 non développé. Celui-ci met en évidence les différents sous-ensembles, appelé sous-assemblages. La figure 11.16 (sous-ensemble 2) développe l'assemblage Arbre moteur monté. Les figures 11.29 et 11.30 développent les constituants de trois des sous-ensembles.

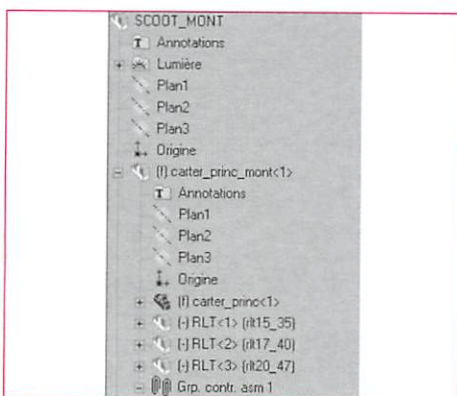


Figure 11.29 Sous-ensemble 1

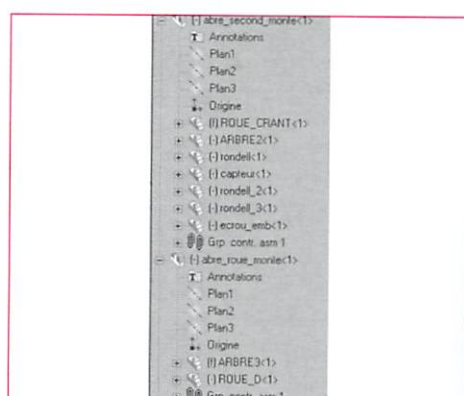


Figure 11.30 Sous-ensembles 3 et 4

1. Définir les 4 premiers sous-ensembles participant à la construction de la transmission, en précisant pour chacun les constituants. On pourra s'aider notamment de la figure 11.24.

2. Préciser les contraintes à associer à l'assemblage de ces différents sous-ensembles afin d'obtenir la transmission finale.



# Projet pluritechnique



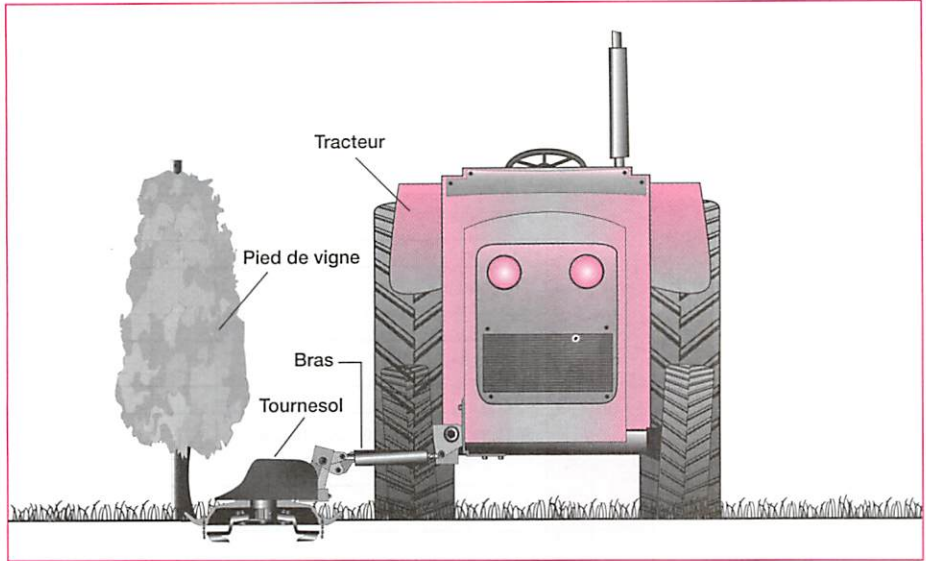


Figure 12.1 Mise en situation du « Tournesol »

L'étude d'un produit répond à une démarche temporelle ordonnée qui part de l'idée du produit (naissance) en passant par la conception, la fabrication, la commercialisation jusqu'à sa disparition (mort). Cette démarche fait appel à des méthodologies, adaptées à chacune des étapes.

L'étude suivante est relative à un produit utilisé dans le domaine agricole pour désherber les vignes. Il se nomme « Tournesol ». Ce produit a été conçu et réalisé par l'entreprise Pellenc. Il est breveté en France et dans le monde.

### Compétences

À partir d'un dossier technique fourni :

- Établir l'expression du besoin.
- Organiser le déroulement de l'étude.
- Établir un bilan.

À partir du tableau fonctionnel :

- Juger de la réponse au cahier des charges.
- Juger du choix des solutions.



# 1 La démarche de projet

## 1.1 Présentation générale

Le tableau 12.1 donne les correspondances entre le temporel et le méthodologique d'une étude. Ce tableau contribue à donner une vision générale d'une démarche de conception de produit. Chaque produit de notre environnement quotidien n'a pas eu, nécessairement, une étude correspondant parfaitement à chaque étape et à chaque méthode. La réalité industrielle diverse et complexe n'est pas toujours formalisable de façon linéaire et universelle.

		Temporel							
		Idées	Concept	Spécifications	Dessins	Maquettes	Prototypes	Modèles de présérie	Modèles de série
Études	stratégiques								
	d'opportunité								
	de marchés								
	de faisabilité technico-économique								
	de viabilité commerciale								
	de design								
	d'industrialisation								
	de commercialisation								
	de lancement								
Méthodologie	Créativité								
	Analyse de la valeur								
	Gestion de projet								
	Essais								
	Information documentaire								
	Représentation graphique								

Tableau 12.1 Correspondance temporel/méthodologique pour une étude

## 1.2 L'idée



L'idée est une notion globale et simpliste, qui n'est pas « arrêtée » et qui demande à être développée.

### exemple

L'idée du « Tournesol » (fig. 12.2) est de désherber mécaniquement la vigne sur toutes sortes de sols (sable, terre végétale, pierre) le plus près possible du pied de vigne. Le désherbage chimique utilisé encore de nos jours est appelé à disparaître, voire même à être interdit pour des raisons écologiques.



Figure 12.2 Le produit « Tournesol »



## 1.3 L'expression du besoin

Le *besoin* du viticulteur est d'enlever les herbes qui nuisent au bon développement de la vigne (fig. 12.3).

La condamnation des moyens chimiques non écologiques, conduira à favoriser une évolution vers une intervention essentiellement mécanique.

La disparition du besoin du « Tournesol » est envisageable si d'autres méthodes de désherbage voient le jour, ce qui est probable, mais pas dans un avenir immédiat. La disparition des vignes, qui ferait disparaître le besoin, est très peu probable.

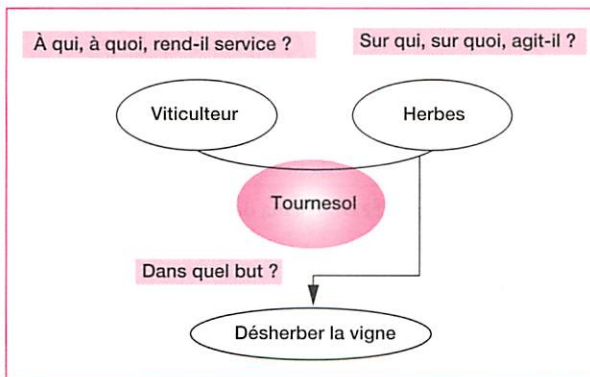


Figure 12.3 Expression du besoin du « Tournesol ».



## 1.4 L'analyse fonctionnelle

Le diagramme fonctionnel (fig. 12.4) fait apparaître les éléments extérieurs ainsi que la fonction principale et les fonctions contraintes pour le « Tournesol ».

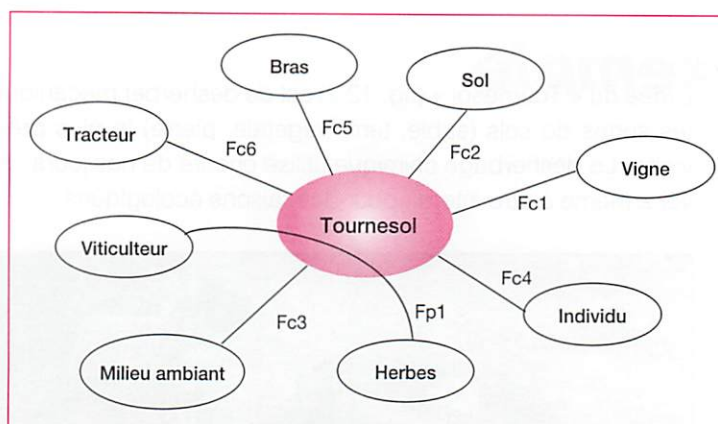


Figure 12.4 Analyse fonctionnelle du « Tournesol »

Le tableau 12.2 présente les principales fonctions du « Tournesol ».

Fonction
Fp1 : Permettre au viticulteur de désherber mécaniquement la vigne
Fc1 : Contourner au plus près chaque pied de vigne
Fc2 : S'adapter au sol
Fc3 : Résister au milieu ambiant
Fc4 : Assurer la sécurité de tout individu
Fc5 : S'adapter au bras
Fc6 : Recevoir l'énergie hydraulique

Tableau 12.2 Principales fonctions du « Tournesol »

## 1.5 Le concept



**Le concept est une notion plus précise que l'idée, indiquant le type de moyen. Il ne prend en compte que l'aspect essentiel du produit. Aucun moyen envisagé n'est figé. Il est communicable sous forme de schéma.**

La solution étudiée se fait par un outil rotatif qui est autoguidé par le sol et par le pied de vigne (fig. 12.5).

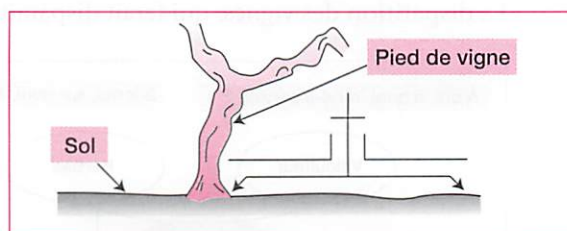


Figure 12.5 Schéma de concept du « Tournesol »

## 1.6 Les spécifications



**Les spécifications indiquent les performances que devra satisfaire le produit dans le domaine économique, d'usage et technique.**



La rédaction des spécifications conduit à élaborer le cahier des charges.

Vitesse de déplacement du tournesol : 3 à 4,5 km/h.

Tolérance de creusement du sol : 5 cm.

Afin de s'adapter au matériel agricole existant et sachant qu'un tracteur peut utiliser quatre « Tournesols » à la fois, la puissance ne doit pas dépasser 7 360 watts.

Le produit ne doit pas provoquer d'éjection de terre ou de pierres et ne doit pas lever la poussière.

Le produit doit pouvoir se monter à droite ou à gauche du tracteur.

## 1.7 Le tableau fonctionnel

Dans le cadre de l'analyse de la valeur, les spécifications apparaissent sous la forme d'un tableau fonctionnel (tableau 12.3).

Fonction	Critère	Niveau	Flexibilité
<b>FP1</b> Permettre au viticulteur de désherber mécaniquement la vigne	Profondeur de labourage Largeur de désherbage Défaut de forme	7 cm maximum 50 cm 5 cm	F0 F2 F1
<b>Fc1</b> Contourner au plus près chaque pied de vigne	Écartement entre pieds Écartement entre rangées Diamètre du pied	0,7 à 1 m 1,2 m à 3 m $10 < d < 200$ mm	F0 F0 F0
<b>Fc2</b> S'adapter au sol	Nature  Angulaire longitudinal Angulaire transversal Position	Pierreux Herbeux Sablonneux $0 < a < 10^\circ$ $0 < b < 30^\circ$ $0 < z < 15$ cm	F0 F0 F0 F1 F1 F1
<b>Fc3</b> Résister au milieu ambiant	Poussière Pluie Soleil		F0 F0 F0
<b>Fc4</b> Assurer la sécurité de l'individu	Protection Poussière Jet de cailloux	Règles de sécurité	F0 F0 F0
<b>Fc5</b> S'adapter au bras	Fixation	Dessin (non fourni)	F0
<b>Fc6</b> Recevoir l'énergie hydraulique	Puissance Pression max. Débit max.	7 360 W 14 Mpa $0,0525$ m <sup>3</sup> /s	F1 F1 F1

F0 : niveau impératif ; F1 : niveau peu négociable ; F2 : niveau négociable ; F3 : niveau très négociable

Tableau 12.3 Tableau fonctionnel du « Tournesol »

## 1.8 L'ordonnancement temporel (planning)



**Le planning est un programme qui définit et ordonne dans le temps les différentes tâches à accomplir. Le planning est spécifique à chaque étude et à chaque entreprise.**

### exemple

Une partie du planning concernant le « Tournesol » est donnée par la figure 12.6.

La ligne 06 indique que 40 heures étaient prévues pour concevoir le réducteur, seulement 30 heures ont été réellement consacrées entre janvier et mars 2000.

La ligne 14 montre que les réunions consacrées aux revues ont nécessité 21 heures alors que 10 heures étaient prévues seulement.

Une comptabilité des heures passées permet de mesurer les écarts entre le temps prévisionnel et le temps réellement consacré à chaque tâche. Cette connaissance permettra d'améliorer la prévision pour un prochain projet.



## 1.9 Les revues de projet

 **Une revue est la réunion d'un groupe de personnes autour d'un objectif précis.**

Les revues de projet ont pour objectif de donner au chef de projet l'assurance que les décisions prises ont été :

- examinées ;
- évaluées ;
- appliquées.

La *composition* du groupe de revue, les *objectifs*, la *fréquence* des réunions dépendent essentiellement du type, de la taille, et de la culture de l'entreprise.

On peut donner, à titre d'exemple, les objectifs des différents groupes :

- analyser le cahier de charges ;
- analyser la faisabilité ;
- analyser la conception ;
- analyser la définition ;
- analyser la planification du programme ;
- analyser les aspects industriels ;
- analyser les aspects juridiques et financiers.

Plusieurs méthodes sont utilisées pour composer la revue ; soit un chef de revue est désigné et compose le groupe participant à la revue ; soit le groupe est composé et le chef de projet est désigné par le groupe.

La taille du groupe dépend de l'entreprise, du projet et du type de revue.

## 1.10 Les dessins d'avant-projet

Il existe généralement plusieurs dessins d'avant-projet figures 12.7 et 12.8.

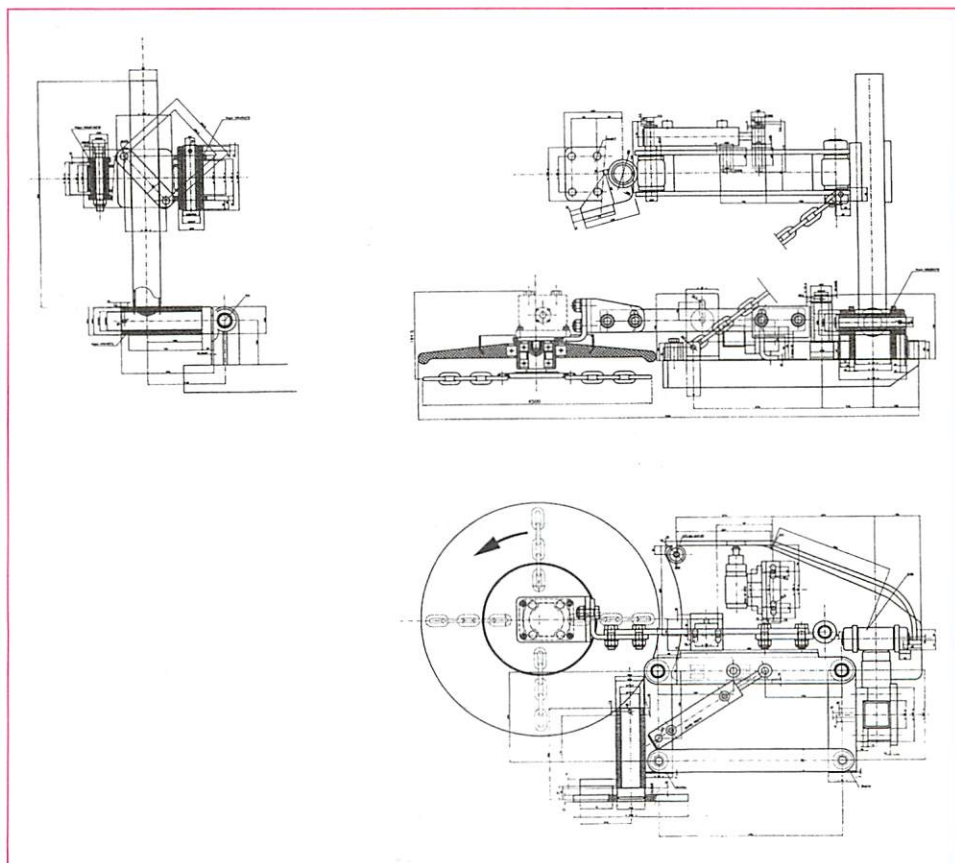


Figure 12.7 Avant-projet « Tournesol » - Solution 1



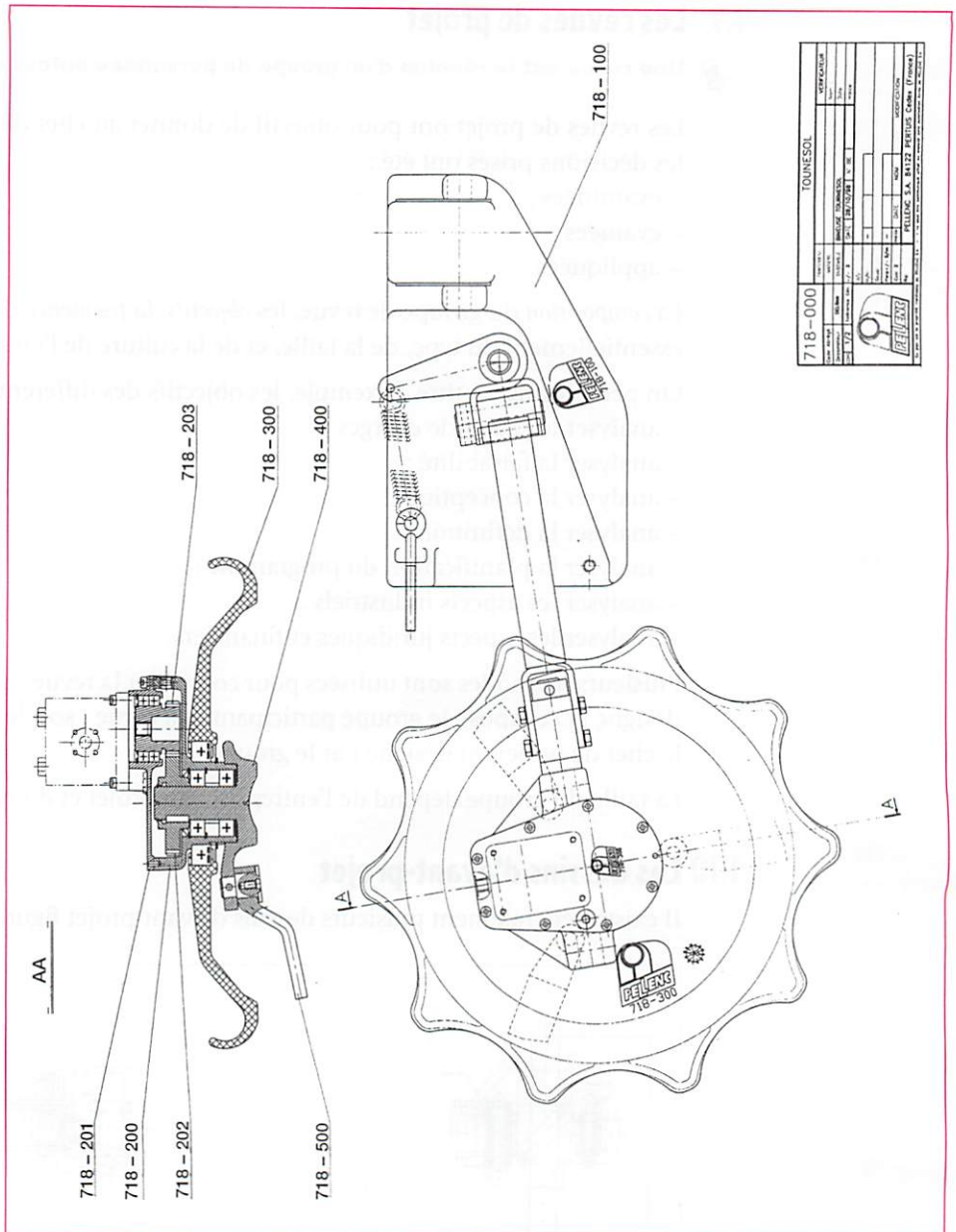


Figure 12.8 Avant-projet « Tournesol » – Solution 2

L'analyse détaillée des avant-projets lors d'une revue d'avant-projets permet d'orienter la suite de l'étude vers une solution qui aboutira au dessin de projet retenu (paragraphe 12.1.11).

## 1.11 Le dessin de projet



**Le dessin est la représentation du produit en deux ou en trois dimensions à l'aide d'un ordinateur.**

Il existe généralement plusieurs dessins du produit qui sont :

- les dessins de projets ;
- le dessin du prototype ;
- le dessin du produit de présérie ;
- un ou plusieurs dessins de série.

L'analyse critique des avant-projets permet d'élaborer une solution de projet qui prend la forme d'un schéma avant de voir le jour sous la forme de dessin.

## exemple

La figure 12.9 présente le schéma de solution de projet.

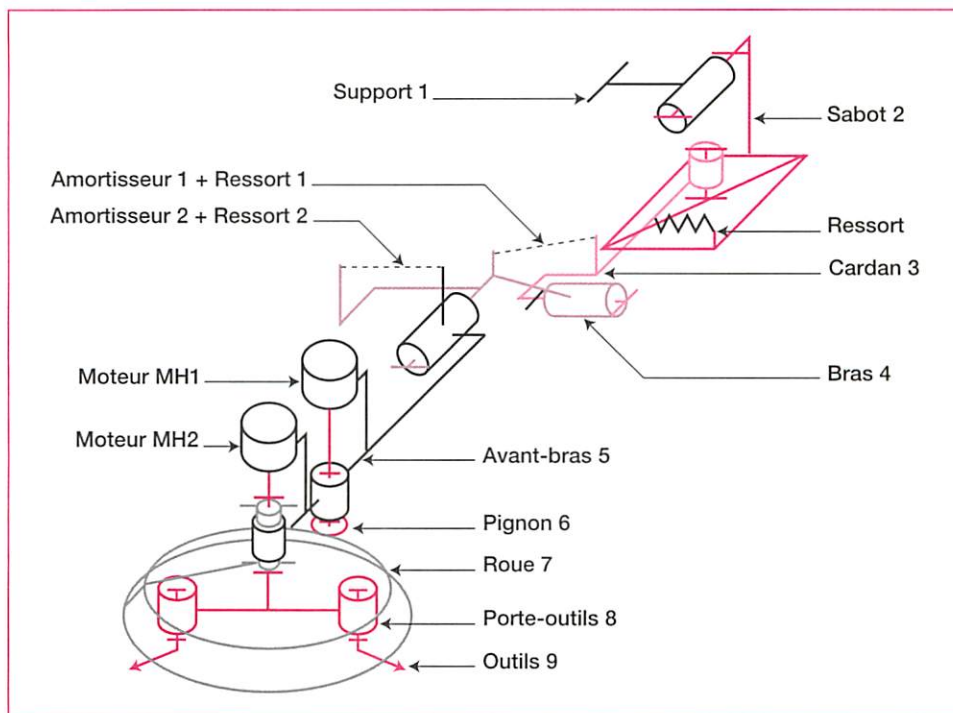


Figure 12.9 Schéma de la solution de projet « Tournesol »

.....

La figure 12.10 représente le dessin de la solution de projet.

### 1.12 Les dessins de définition



**Les dessins de finition représentent chaque pièce composant le produit dessiné avec toutes les spécifications nécessaires à la définition fonctionnelle de la pièce.**

### 1.13 La maquette



**La maquette est un objet simplifié du produit en trois dimensions généralement à une échelle réduite destinée à valider expérimentalement des hypothèses de comportement. Elle est de plus en plus remplacée par une simulation virtuelle sur ordinateur.**

## exemple

Aucune maquette n'a été réalisée pour le « Tournesol », la simulation informatique a été choisie.

.....

### 1.14 Le prototype



**Le prototype est un produit réalisé impérativement à l'échelle 1 de façon identique à ce que sera le produit fini mais avec des matériaux et des procédés d'industrialisation différents et donc des performances différentes.**

Le but du prototype est de valider les choix de principes, ainsi que les solutions technologiques sans engager les moyens financiers, beaucoup plus importants, correspondant aux solutions de la production sérielle.

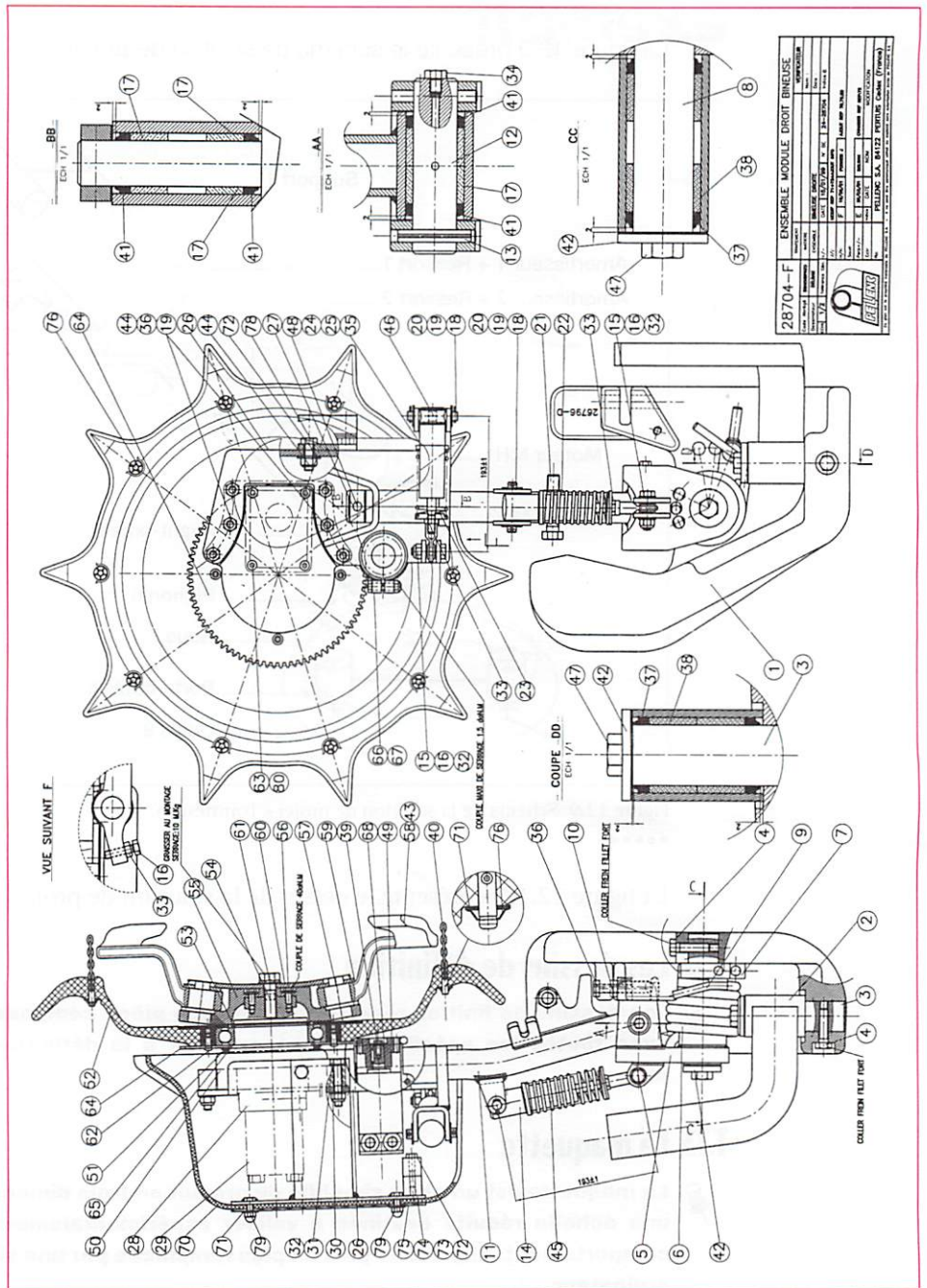


Figure 12.10 Dessin de projet « Tournesol »

## exemple

Le cardan a été réalisé en soudage sur le prototype alors qu'il sera moulé sur le modèle de série.

.....

### 1.15 Les modèles de présérie



**Le modèle de présérie est un produit fabriqué en petite série, généralement remis à des clients collaborateurs, dans le but de tester le produit dans les conditions réelles.**

**Les modèles de présérie mettent en évidence des problèmes pratiques non prévisibles de manière théorique. Cela permet des corrections par retour d'expérience.**



## 1.16 Les modèles de série

 **Le modèle de série est le produit fabriqué en série dans la version commercialisée.**

## 1.17 Le produit réel en cours de vie


 **Le produit en cours de vie désigne les différentes générations du même produit.**

Chaque génération du produit en cours de vie se différenciera de la précédente génération par de légères modifications. Les modifications s'expliquent essentiellement par une meilleure solution technique, une solution moins coûteuse, une solution d'une esthétique nouvelle.

## exemple

Les modifications d'une génération à l'autre conserveront l'*interchangeabilité* des pièces (paragraphe 12.3.2).

## 1.18 Le produit hors d'usage

 **Le produit est mis hors d'usage lorsqu'il n'est plus en état de satisfaire le besoin du client. Cet état survient à l'issue d'une panne ultime, d'un abandon, ou d'un coût de réparation jugé prohibitif.**

Le produit peut avoir une nouvelle vie par détournement de fonction d'un bricoleur ou d'un artiste inventif ou constituer une pièce de musée.

## 1.19 Le rebut

 **Le rebut survient après épuisement de toutes les solutions d'utilisation normale ou détournée.**

Aujourd'hui, cette étape doit être prise en compte dès le début de l'étude du produit nouveau.

# 2 Les performances des solutions constructives

## 2.1 Critères de pondération

Les membres de la revue de faisabilité examinent les deux avant-projets notés « solution 1 » et « solution 2 » représentés respectivement sur les figures 12.7 et 12.8. La comparaison des deux solutions nécessite l'élaboration de critères de jugement ainsi que des *coefficients de pondération* (tableau 12.4). La solution de projet est une amélioration de la solution 2.

## 2.2 Réponse au cahier des charges

La note affectée à chaque critère et chaque solution est attribuée par estimation des fonctions réalisées en comparaison des attentes du cahier des charges.

## 2.3 Critères économiques

L'examen de l'industrialisation du cardan 5 et du bras 11 du dessin représenté (fig. 12.10) conduit à repenser les deux pièces simultanément.

Le cardan 5 initialement en mécano soudé (fig. 12.11a) est maintenant moulé (fig. 12.11b).

	Coefficient de pondération	Solution 1		Solution 2	
		Note	Total	Note	Total
<b>Efficacité de désherbage</b>	5	2	10	5	25
<b>Suivi des pieds de vigne</b>	4	1	4	4	16
<b>Émission de poussière</b>	3	0	0	2	6
<b>Protection de l'individu</b>	2	1	2	3	6
<b>Paramètres adaptés</b>	2	1	2	3	6
<b>S'adapter au sol</b>	2	2	4	2	4
<b>Prix</b>	2	2	4	4	8
<b>Total</b>			26		71

Coefficient de pondération de 1 à 5. Note de 1 à 5.

Tableau 12.4 Tableau comparatif des avant-projets, solutions 1 et 2

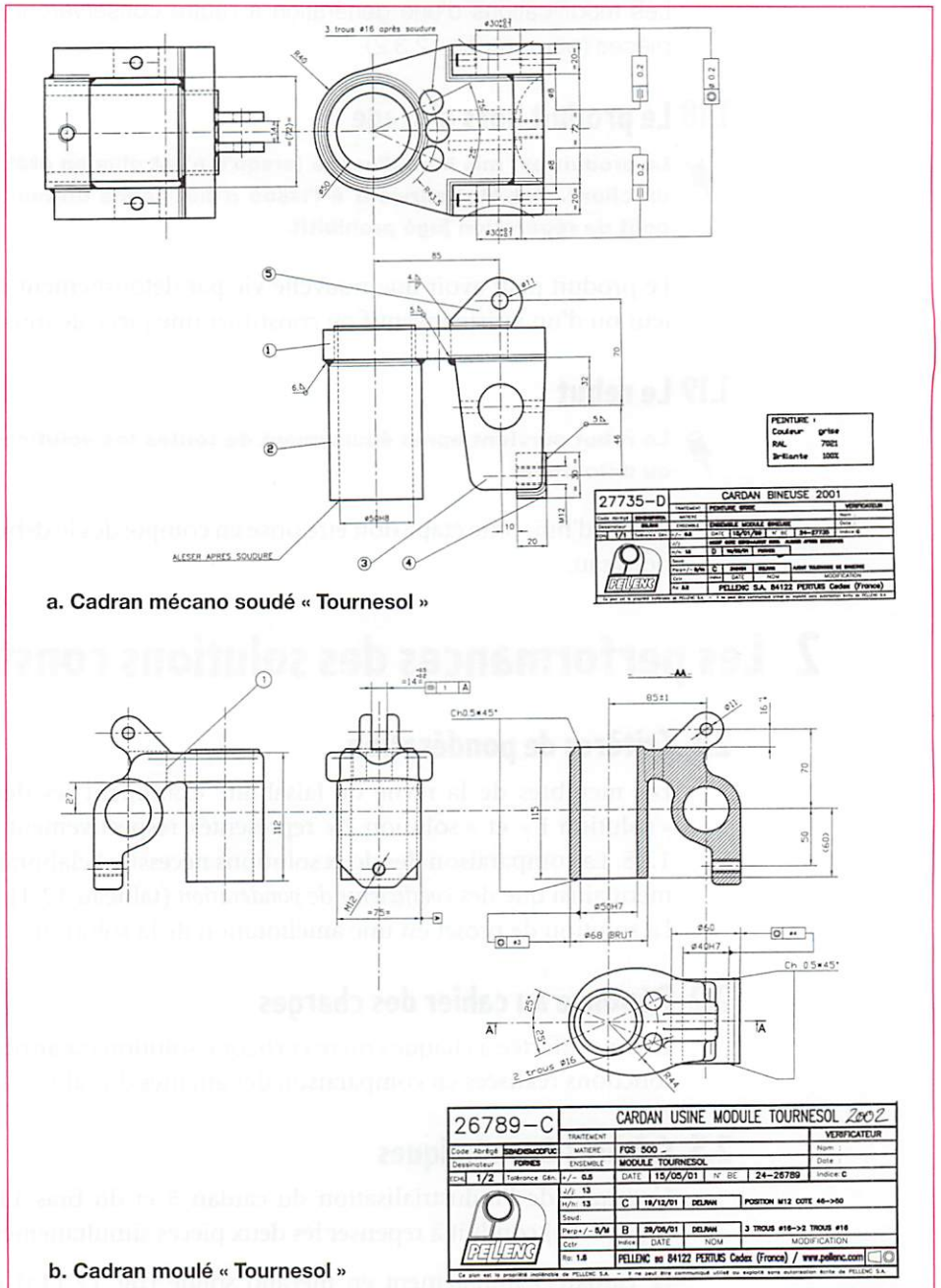


Figure 12.11 Cardan mécano soudé et cadran moulé « Tournesol »

Le bras 11 est toujours fabriqué par mécano soudure (fig. 12.13a), mais est modifié (fig. 12.13b).

La forme en chape du cardan (fig. 12.12) est reportée sur le bras. Les conséquences sont :

- la chape est obtenue par un fer plié dont seul l'alésage du passage de l'axe est usiné ;
- l'extrémité du tube du bras qui était usinée par fraisage de forme pour la soudure est maintenant sciée droite.

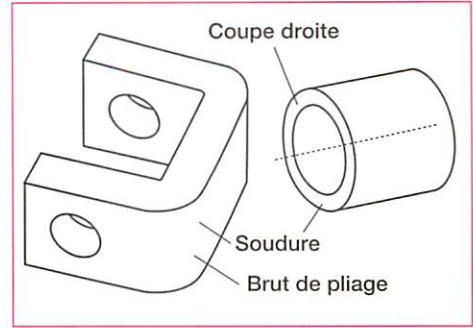


Figure 12.12 Cardan du « Tournesol »

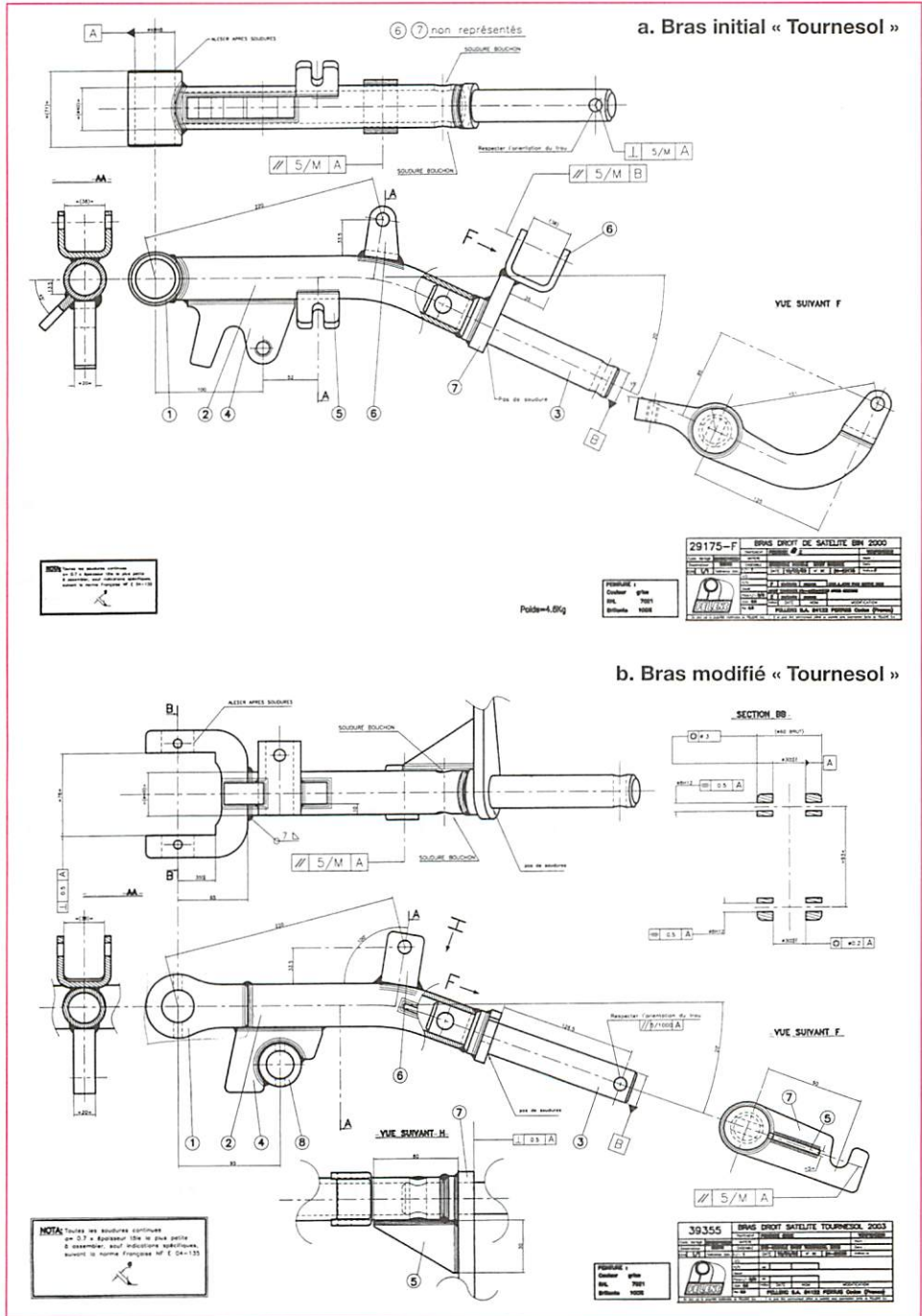


Figure 12.13 Bras initial et bras modifié « Tournesol »



# 3 Les composantes de la compétitivité

## 3.1 La standardisation



La standardisation consiste à uniformiser tous les éléments semblables d'une production.

La standardisation s'applique à l'ensemble de la production d'une entreprise voire de plusieurs entreprises et non sur un seul produit.

La standardisation a ses avantages et ses inconvénients (tableau 12.5).

Avantages	Inconvénients
Baisse des prix des pièces	Adaptation de l'environnement
Amélioration de la qualité	Risque de sclérose
Réduction des coûts d'investissement	
Concentration des efforts sur la technologie	
Flexibilité des livraisons	

Tableau 12.5 Avantages et inconvénients de la standardisation

### exemple

Les bagues 17 sont standardisées en dimension pour différents ensembles ce qui permet d'avoir un seul outillage de montage (fig. 12.14).

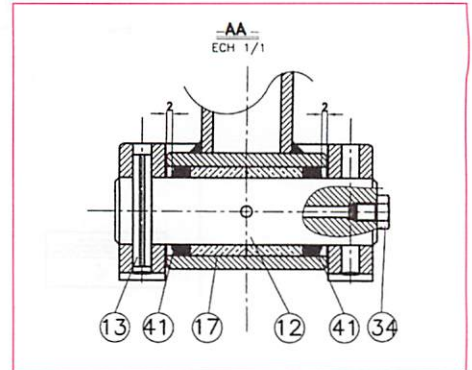


Figure 12.14 Bague de liaison pivot cardan/bras

## 3.2 L'interchangeabilité des pièces et des composants

Toute évolution du produit et des pièces concernées se fait sans modification des pièces voisines.

### exemple

Le nouveau cardan 5 et le bras 11 s'adaptent parfaitement en lieu et place des pièces de l'ancienne conception, mais le changement de l'une des pièces implique le changement de l'autre, si l'on change de modèle.

## 3.3 Adéquation produit-procédé-matériaux

La nouvelle étude des amortisseurs permet de passer d'une solution « entièrement métallique » à une solution utilisant des plastiques. L'utilisation d'une mousse permet la compensation de la variation de volume d'huile due à la pénétration de la tige, et supprime le ressort.

- L'adéquation produit-procédé-matériaux permet :
- de diminuer le nombre de pièces ;
  - de faciliter le montage ;
  - d'augmenter la course ;
  - de diminuer le prix de l'amortisseur de 30 %.

**exemple**

Les figures 12.15 et 12.16 montrent les évolutions de conception pour chaque pièce.

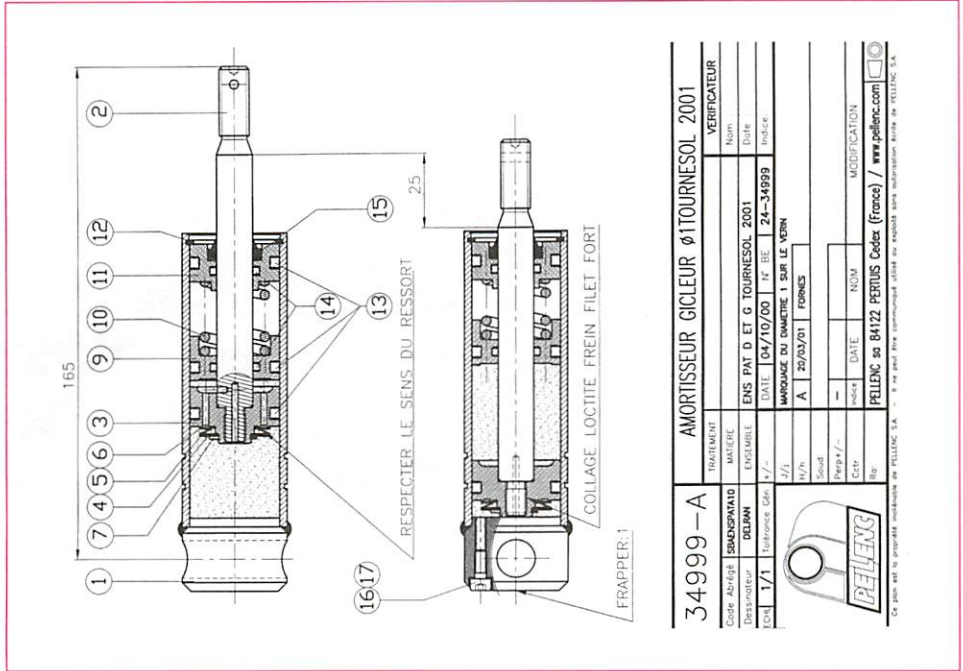


Figure 12.15 Ancienne conception de l'amortisseur gicleur du « Tournesol »

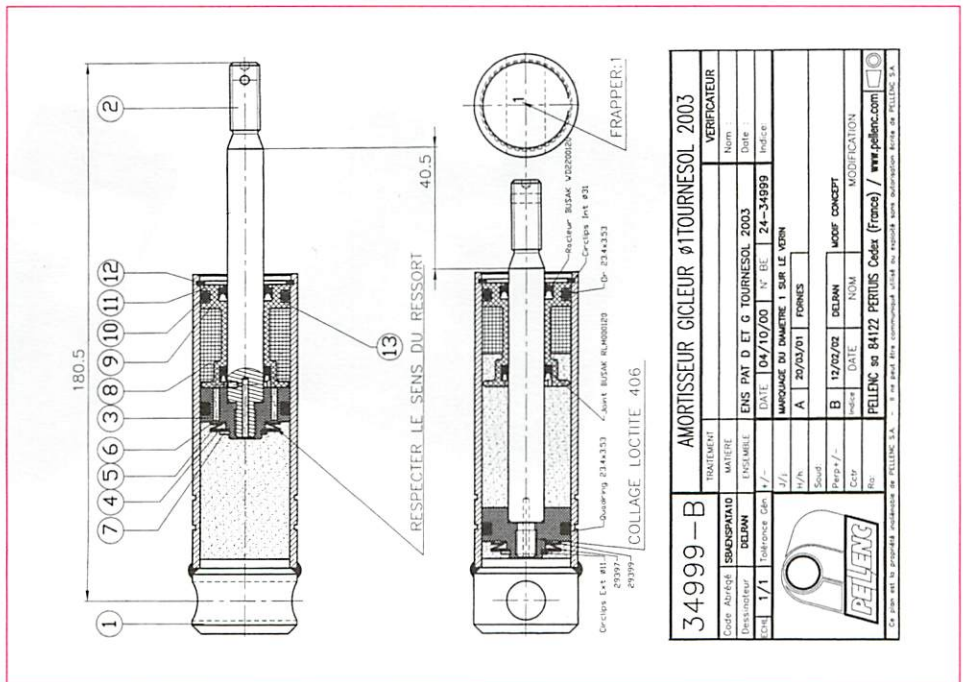


Figure 12.16 Nouvelle conception de l'amortisseur gicleur « Tournesol »



## 4 Les outils et les méthodes de la compétitivité

### 4.1 La CAO, le prototypage rapide

#### 4.1.1 La CAO, la CFAO

L'avènement de la conception assistée par ordinateur et particulièrement le modèle 3D a permis l'élaboration d'un modèle unique, immédiatement disponible à toute l'équipe, ce qui permet des simulations virtuelles beaucoup plus rapides et moins coûteuses.

La figure 12.17 représente le modèle 3D du « Tournesol ».

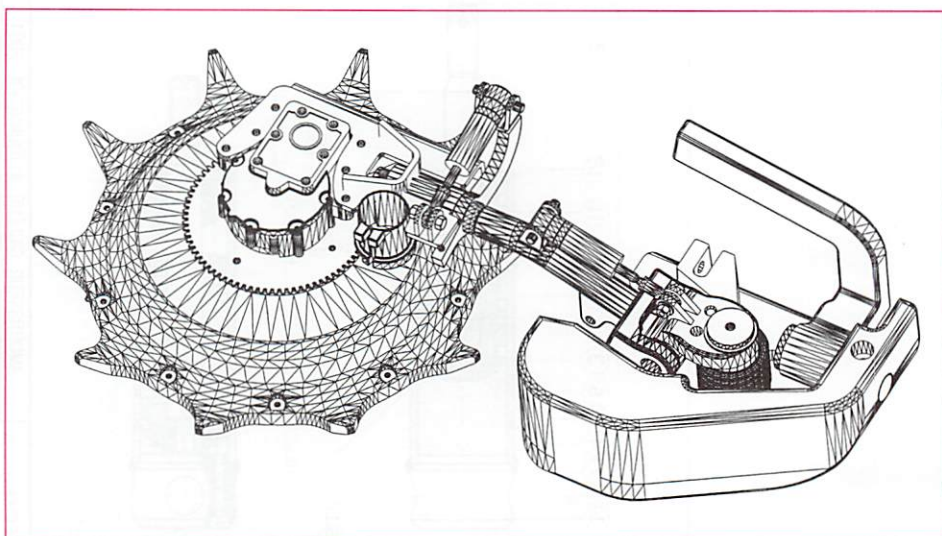


Figure 12.17 CAO 3D du « Tournesol »

La modélisation du cardan en 3D permet, en utilisant un logiciel de calcul et en modélisant les liaisons et les efforts sur la pièce, de visualiser les contraintes (fig. 12.18) et les déplacements (fig. 12.19).

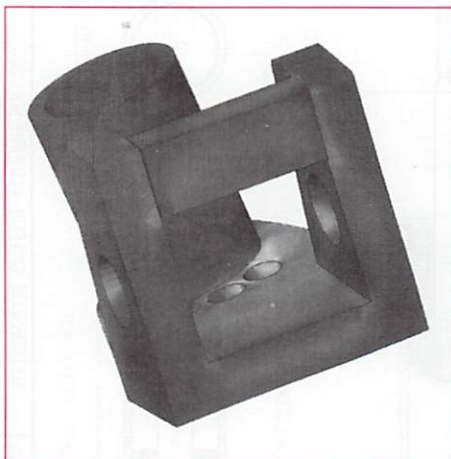


Figure 12.18 Visualisation des contraintes

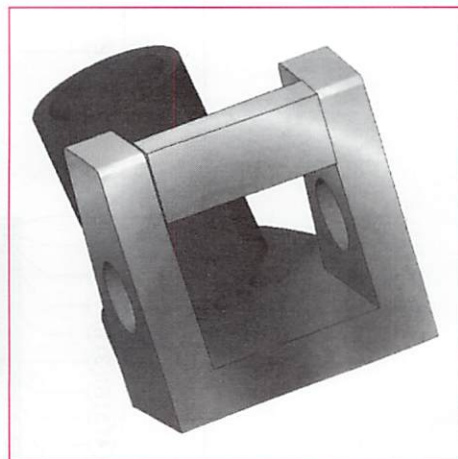


Figure 12.19 Visualisation des déplacements

La concertation concourante du dessinateur et du fabricant a permis de décider de l'opportunité d'une barre reliant les deux oreilles ou éventuellement d'une plaque. Le choix de la solution est un compromis à trouver entre la rigidité, le montage de soudage et le coût.



### 4.1.2 Le prototypage rapide

 **Le prototypage rapide est un procédé permettant, en quelques heures, de passer du modèle CAO 3D d'un produit à sa réalisation dans un autre matériau.**

Le prototypage rapide se résume par les trois étapes de la figure 12.20.

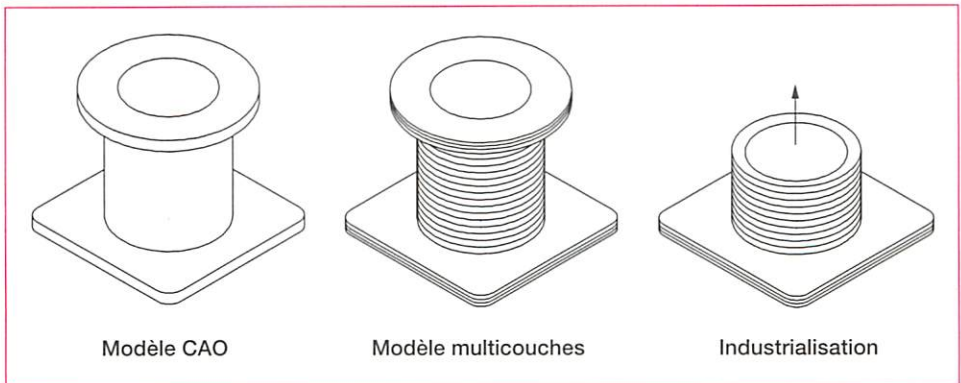


Figure 12.20 Procédé de prototypage rapide

Un plan, une image 3D sur écran d'ordinateur ne peuvent se substituer à un objet réel. À partir de cette idée, des industriels ont développé différentes techniques pour obtenir une pièce « palpable » en quelques heures à partir du modèle CAO. Ces techniques sont regroupées sous le vocable explicite de « prototypage rapide ».

Les avantages attendus du prototypage rapide sont :

- de valider rapidement la conception et de détecter au plus tôt les problèmes ;
- de fabriquer des prototypes sans outillage coûteux ;
- de valider une ergonomie, une esthétique, un aérodynamisme ;
- de tester au plus tôt des solutions alternatives des formes géométriques et de les optimiser ;
- de valider au plus tôt la faisabilité industrielle, d'optimiser les coûts d'outillages futurs, et d'assemblage pour la fabrication sérielle ;
- d'impliquer simultanément toute l'équipe de projet ;
- d'avoir un support réel de marketing pour le futur client avant le lancement de la série.

## exemple

Dans le cas du produit « Tournesol », seul le capot (fig. 12.21), de part sa complexité, a nécessité l'élaboration de la pièce en prototypage rapide afin de juger des accostages et de la faisabilité du moule.



Figure 12.21 Capot de « Tournesol »



Les principaux procédés de prototypage rapide sont présentés dans le tableau 12.6.

Fabrication par couches	Soustractive	Couche entière	Avec laser	Fabrication par découpe et laminage			Helisys ESSTIN
	Additive	Couche entière	Sans laser	Flashage couche par couche			Cubital
		Point par point	Sans laser	Dépôt de fil fondu	Projection de colle	Projection de cire ou d'encre	Stratasys Solingen BPM
			Avec laser	Solidification de résine (stéréolithographie)			3D Systems Laser 3D
				Frittage poudre			DTM

Tableau 12.6 Principaux procédés de prototypage rapide

Les caractéristiques des différents procédés sont présentées dans le tableau 12.7.

Procédés	Cubital	3D Systems	DTM		Helisys
	Flaschage UV	Polymérisation	Fusion laser		Découpage
Matériau	Acrylate	Époxy	Nylon fin	Nylon chargé	Papier+ Polyéthylène
Épaisseur couche	0,15-0,2	0,06-0,13	0,13	0,13	0,1-0,2
Épaisseur mini. de paroi	1	0,6	1,2	1,2	2
Finesse détail	0,2	0,1	0,4	0,4	1
Complexité	Pas de limite	Pb supports	Pas de limite	Pas de limite	Accès décubage
Pièces massives	Oui	Non	Non	Non	Oui
Stabilité dans le temps	Non	Sensibilité à l'humidité	Bonne	Très bonne	Sensibilité à l'humidité
Retrait	0,15 %	0,1 %	Nul	Nul	Nul
Résistance mécanique	20 Mpa	50 Mpa	35 Mpa	50 Mpa	Très faible
Élasticité	15 %	10 %	30 %	6 %	Très faible
Résistance thermique	< 40 °C	< 60 °C	< 80 °C	< 120 °C	< 60 °C

Tableau 12.7 Caractéristiques des différents procédés de prototypage rapide

## 4.2 Ingénierie concourante et simultanée (ou intégrée)



**L'ingénierie concourante et simultanée est une méthode d'étude qui intègre le plus en amont possible les connaissances des différents métiers concourant à l'élaboration d'un produit.**

Les principaux objectifs de l'ingénierie intégrée sont :

- réaliser le produit correctement du premier coup ;
- réduire la durée des cycles de réalisation ;
- réagir rapidement et efficacement aux aléas d'un projet.

L'ingénierie intégrée doit être conçue comme une approche tendant à ramener vers l'amont la connaissance des métiers s'exerçant en aval et non comme l'obligation de réaliser simultanément toutes les phases d'activité du cycle de vie du produit.

## exemple

La figure 12.22 illustre synthétiquement la démarche de l'ingénierie intégrée pour une filière outillage.

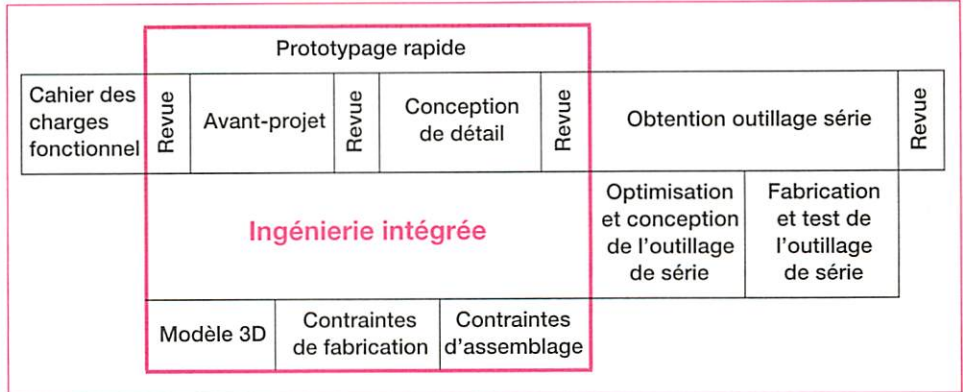


Figure 12.22 Ingénierie concurrente et simultanée (ou intégrée)

.....

### 4.3 La démarche qualité

La gestion de la qualité comporte trois axes :

- veiller à ce que les spécifications du produit prennent en compte les besoins et les demandes du client ;
- faire respecter les règles nécessaires à toute obtention d'un produit conforme à la spécification le définissant ;
- informer régulièrement les différents services concernés, et la direction générale, des résultats obtenus, des écarts enregistrés et des risques encourus.

Les outils principalement utilisés sont :

- l'audit ;
- la Maîtrise Statistique de Procédés (MSP) ;
- l'Analyse des Modes de Défaillances de leurs Effets et de la Criticité (AMDEC) ;
- la check-list ;
- la capabilité ;
- les revues ;
- les plans d'expériences.



La démarche de projet nécessite l'organisation dans le temps d'un travail en équipe rassemblant des compétences complémentaires.

Ce travail utilise des méthodes qui concourent à obtenir le produit donnant la plus grande satisfaction du client au coût le plus bas.

Seule l'analyse des besoins du client permet d'élaborer un cahier des charges fonctionnel.

La démarche consiste à raisonner en terme de fonctions avant de mettre en œuvre des solutions.

La compétence de chaque technicien est intégrée le plus tôt possible.

Les moyens matériels mis en œuvre, en phase d'étude, contribuent à valider des solutions avant de figer les processus coûteux d'élaboration des produits.

En dehors de sa compétence propre le technicien doit maîtriser les méthodologies telle que l'analyse de valeur, la démarche qualité ainsi que l'outil informatique.

**Mots clés :** adéquation produit-procédé-matériau, analyse de la valeur, CAO, CFAO, concept, coût, créativité, critères, expression du besoin, gestion de projet, idées, ingénierie concurrente et simultanée, interchangeabilité, maquette, modèle de série, prototype, prototypage rapide, qualité, revue, spécifications, standardisation.

## exercices

### EXERCICE

On donne un organigramme de mise en œuvre d'un projet (fig. 12.23). Illustrer certaines étapes de la démarche en s'aidant de l'exemple du « Tournesol » pour chaque question.

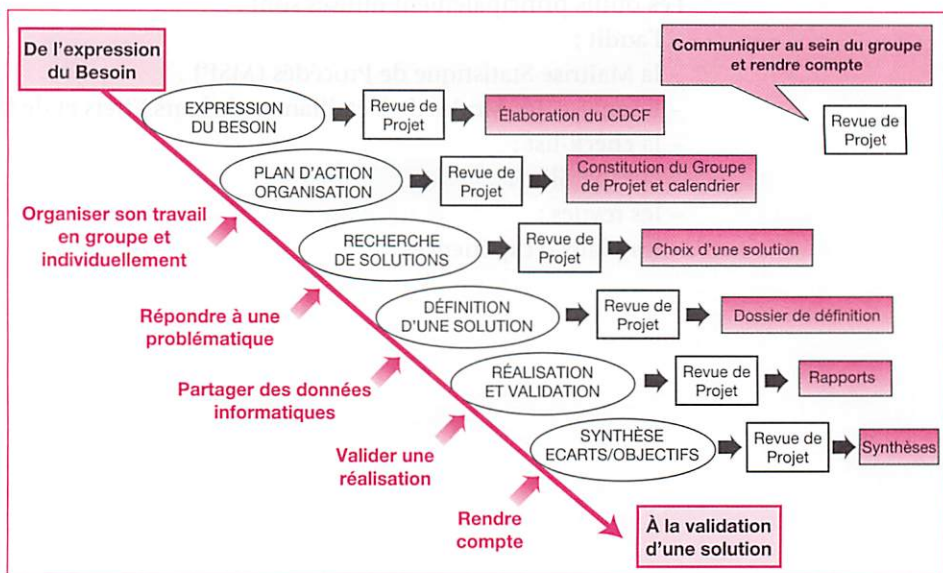


Figure 12.23 Exemple de mise en œuvre d'un projet

1. Donner les outils qui ont permis d'effectuer le choix d'une solution entre les avant-projets 1 et 2 du « Tournesol ».
2. La pièce 52 du projet « Tournesol » (fig. 12.10) comporte un rideau de chaînettes repéré 40 alors que la pièce 52 de l'avant-projet Solution 2 (fig. 12.8) n'en comporte pas. Quelle fonction contrainte n'était pas satisfaite pour justifier cette modification ?
3. Quel moyen a été utilisé pour valider le choix de la forme du capot du « Tournesol » (fig. 12.21) ?

# Les outils de la communication





# Analyse fonctionnelle technique : diagramme de type Fast

## 1 Analyse fonctionnelle technique

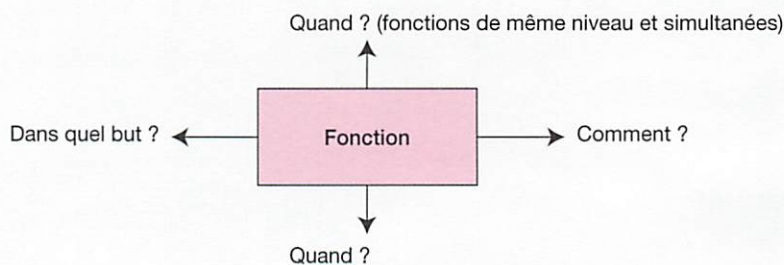
L'analyse fonctionnelle du besoin permet de définir les fonctions de service du produit.

L'analyse fonctionnelle technique d'un produit existant a pour objectif de décrire la manière dont les éléments qui composent le produit s'articulent pour remplir les fonctions de service attendues : elle définit les fonctions techniques.

Le FAST de description (Functional Analysis System Technic) peut se traduire par « Technique d'analyse fonctionnelle systématique ».

Il visualise par un diagramme toutes les fonctions techniques permettant de répondre à chacune des fonctions de service du produit et d'associer, à chaque fonction technique, la solution choisie afin de répondre à trois questions.

1. Dans quel but ? (est réalisée cette fonction). La réponse commence par « Pour... ».
2. Comment ? La réponse commence par « En... ».
3. Quand ? La réponse commence par « Si simultanément... ».



## 2 Règles de lecture d'un Fast en phase d'analyse

Pour un produit existant, un Fast de description se lit :

- de gauche à droite si l'on veut comprendre comment une fonction de service a été décomposée puis réalisée ;
- de droite à gauche si l'on veut comprendre à quoi sert la solution analysée.

## 3 Le Fast de description de la serrure électronique munie d'une tête de commande à clavier à code

Le Fast de description simplifié de cette serrure électronique relatif à deux fonctions de service :

- s'adapter à la porte (position et fixation) (fig. F 1.1) ;
- permettre l'ouverture d'une porte à accès contrôlé (fig. F 1.2).



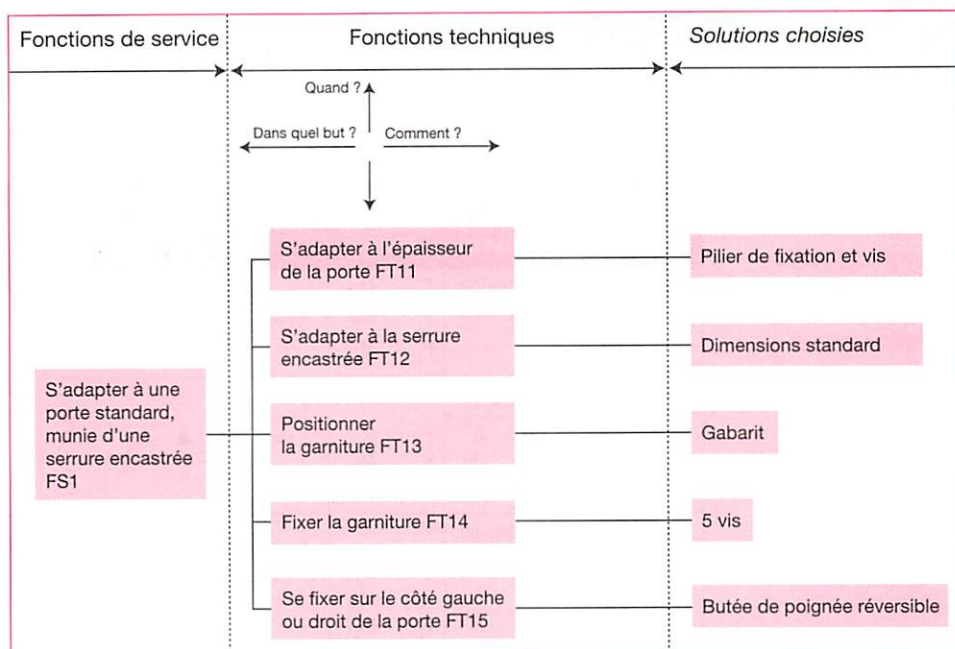


Figure F 1.1 Diagramme Fast relatif à la fonction « S'adapter à une porte standard »

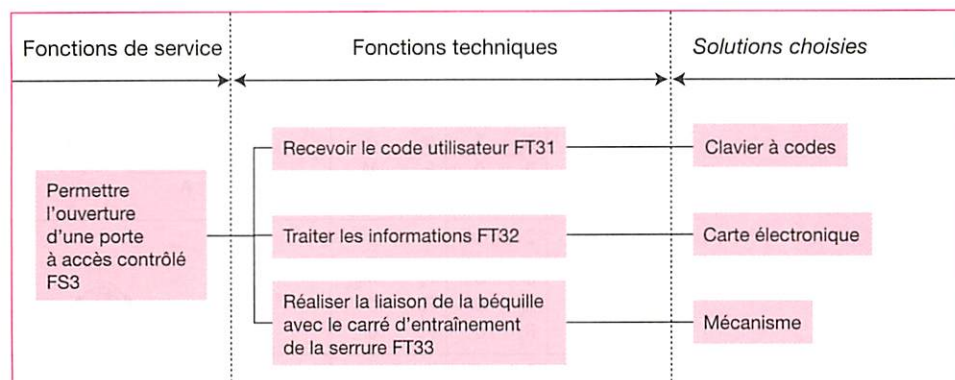


Figure F 1.2 Diagramme Fast relatif à la fonction « Permettre l'ouverture d'une porte à accès contrôlé »

# Schématisation mécanique

## 1 Symbole des liaisons entre pièces

Nom de la liaison	Mouvements relatifs	Efforts transmissibles	Représentation plane (2D)	Représentation spatiale (3D)
Liaison complète ou encastrement	0 deg. lib.	$F_x$ $M_{xA}$ $F_y$ $M_{yA}$ $F_z$ $M_{zA}$		
Liaison pivot	1 deg. lib.	$R_x$ 0 0 0 0 0 $F_x$ 0 $F_y$ $M_{yA}$ $F_z$ $M_{zA}$		
Liaison glissière	1 deg. lib.	0 $T_{xA}$ 0 0 0 0 0 0 $F_y$ $M_{yA}$ $F_z$ $M_{zA}$		
Liaison hélicoïdale	1 deg. lib.	$R_x$ $T_{xA}$ 0 0 0 0 0 0 $F_y$ $M_{yA}$ $F_z$ $M_{zA}$ $R_x$ et $T_{xA}$ conjuguées		
Liaison pivot-glissant	2 deg. lib.	$R_x$ $T_{xA}$ 0 0 0 0 0 0 $F_y$ $M_{yA}$ $F_z$ $M_{zA}$		
Liaison rotule à doigt	2 deg. lib.	0 0 $R_y$ 0 $R_z$ 0 $F_x$ $M_{xA}$ $F_y$ 0 $F_z$ 0		
Liaison rotule	3 deg. lib.	$R_x$ 0 $R_y$ 0 $R_z$ 0 $F_x$ 0 $F_y$ 0 $F_z$ 0		
Liaison appui-plan	3 deg. lib.	0 $T_{xA}$ $R_y$ 0 0 0 0 $T_{zA}$ 0 0 0 $M_{zA}$		
Liaison sphère-cylindre ou linéaire annulaire	4 deg. lib.	$R_y$ $T_{xA}$ $R_y$ 0 $R_z$ 0 0 0 $F_y$ 0 $F_z$ 0		
Liaison linéaire-rectiligne	4 deg. lib.	$R_y$ $T_{xA}$ $R_y$ 0 0 $T_{zA}$ 0 0 0 0 0 $M_{zA}$		
Liaison sphère-plan ou ponctuelle	5 deg. lib.	$R_y$ 0 $R_y$ $T_{xA}$ $R_z$ $T_{xA}$ $F_x$ 0 0 0 0 0		



## 2 Symboles usuels pour mécanismes

### 2.1 Roues dentées et engrenages

Pignon cylindrique	Pignon conique	Roue creuse	Secteur denté	Pignon crémaillère
Cylindrique extérieur	Cylindrique intérieur	Conique	Roue et vis-sans-fin	

### 2.2 Transmissions

Poules et courroie	Roues et chaîne														
<p>Type de la courroie (facultatif)</p> <table border="1"> <tr> <td>Plate</td> <td>—</td> </tr> <tr> <td>Ronde</td> <td>○</td> </tr> <tr> <td>Trapézoïdale</td> <td>▽</td> </tr> <tr> <td>Crantée</td> <td>⋈</td> </tr> </table>	Plate	—	Ronde	○	Trapézoïdale	▽	Crantée	⋈	<p>Type de la chaîne (facultatif)</p> <table border="1"> <tr> <td>Maillons</td> <td>◌</td> </tr> <tr> <td>Rouleaux</td> <td>▭</td> </tr> <tr> <td>Dents</td> <td>⋈</td> </tr> </table> <p>Roue      Pignon</p>	Maillons	◌	Rouleaux	▭	Dents	⋈
Plate	—														
Ronde	○														
Trapézoïdale	▽														
Crantée	⋈														
Maillons	◌														
Rouleaux	▭														
Dents	⋈														

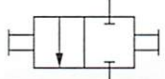
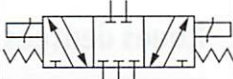
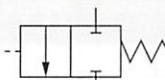
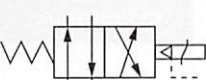
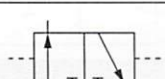
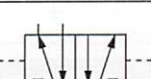
## 3 Symboles pneumatiques et hydrauliques

### 3.1 Vérins








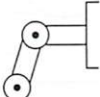

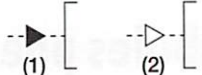

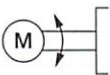


<p>(1) </p> <p>(2) </p>	<p>Vérin à simple effet (1) à rappel par force non définie (2) à rappel par un ressort</p>		Vérin différentiel
	Vérin à double effet avec amortisseur fixe d'un côté		Vérin sans tige
	Vérin à double effet avec amortisseurs réglables des deux côtés		Vérin rotatif
	Vérin à double effet à double tige		Multiplicateur de pression à une seule nature de fluide (ici pneumatique)



### 3.2 Distributeurs

	Distributeur 2/2 (2 orifices, 2 positions) à commande manuelle		Distributeur 5/3 (5 orifices, 3 positions) à commande électrique avec rappel par ressort
	Distributeur 2/2 (2 orifices, 2 positions) à commande par pression avec rappel par ressort		Distributeur 4/2 (4 orifices, 2 positions) à commande par pression accouplée à un distributeur pilote avec rappel par ressort
	Distributeur 3/2 (3 orifices, 2 positions) à commande par pression des deux côtés		Distributeur 5/2 (5 orifices, 2 positions) à commande par pression des deux côtés

### 3.3 Commandes

	Commande manuelle générale		Commande mécanique par poussoir
	Commande par bouton-poussoir		Commande mécanique par ressort
	Commande par levier		Commande mécanique par galet
	Commande par pédale		Commande mécanique par galet escamotable
	Commande électrique (1) à un enroulement (2) à deux enroulements		Commande directe par augmentation de pression (1) hydr. (2) pneum.
			
	Commande par moteur électrique		Commande indirecte par augmentation de pression (3) hydr. (4) pneum.
			

# Schématisme électrique et électronique

## 1 Contacts électriques

### 1.1 Circuits de puissance

Le symbole de base d'un contact électrique (fig. F 3.1) est enrichi, pour les circuits de puissance, des distinctions suivantes : un tiret, une croix, un cercle ou un arc de cercle pour modéliser respectivement les fonctions « sectionneur, disjoncteur, interrupteur et contacteur ».

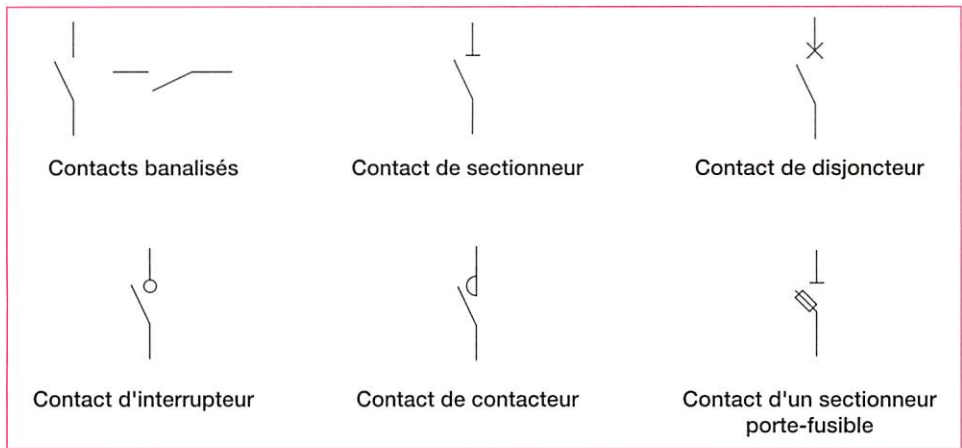


Figure F 3.1 Symboles des différents contacts

### 1.2 Circuits de commande

De même, pour les circuits de commande, est associée au contact une précision sur le dispositif de la commande manuelle (fig. F 3.2) ou sur le type de temporisation (fig. F 3.3) ou sur la grandeur physique l'actionnant (fig. F 3.4)...



Figure F 3.2 Boutons poussoirs-Bouton tournant-Commutateur à trois positions



Figure F 3.3 Contacts retardés à la fermeture-Contacts retardés à l'ouverture



Figure F 3.4 Capteur de température-Capteur de pression-Capteurs de position-Contact de relais thermique



## 2 Récepteurs électriques

La plupart des récepteurs sont représentés par des rectangles (bobine de relais ou de contacteur, résistance) ou des cercles (moteurs, lampes d'éclairage ou de signalisation).

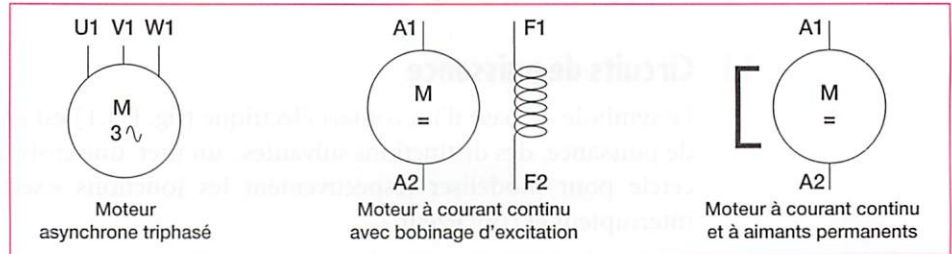


Figure F 3.5 Schématisation de moteurs électriques

## 3 Convertisseurs de puissance

Les convertisseurs de puissance permettent de changer la forme de l'énergie électrique ; par exemple, un redresseur convertit l'énergie alternative du réseau en une énergie électrique de type continu (fig. F 3.6).

Un onduleur (fig. F 3.7) produit une énergie alternative à partir d'une énergie délivrée par une batterie d'accumulateurs. Application : alimentation sans interruption pour micro-ordinateurs.

L'utilisation d'un hacheur (fig. F 3.8) est préconisée pour moduler la tension d'une énergie de type continu.

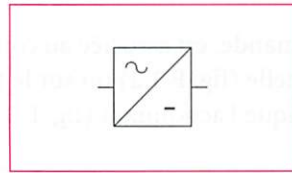


Figure F 3.6 Convertisseur alternatif/continu (redresseur)

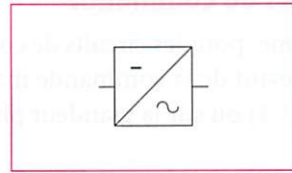


Figure F 3.7 Convertisseur continu/alternatif (onduleur)

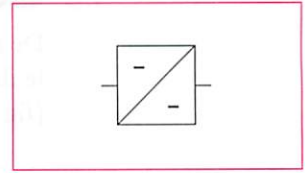


Figure F 3.8 Convertisseur continu/continu (hacheur)

## 4 Symboles logiques

### 4.1 Cadres et symboles distinctifs

Au-dessus de l'empilage représentant les cadres opérateurs, un cadre est réservé aux entrées communes à plusieurs opérateurs. La figure F 3.9 donne la représentation normalisée du circuit intégré 4052 double multiplexeur/démultiplexeur analogique à 4 voies.

Cette symbolisation traduit uniquement l'aspect fonctionnel et ne renseigne pas sur l'alimentation indispensable au fonctionnement du circuit.



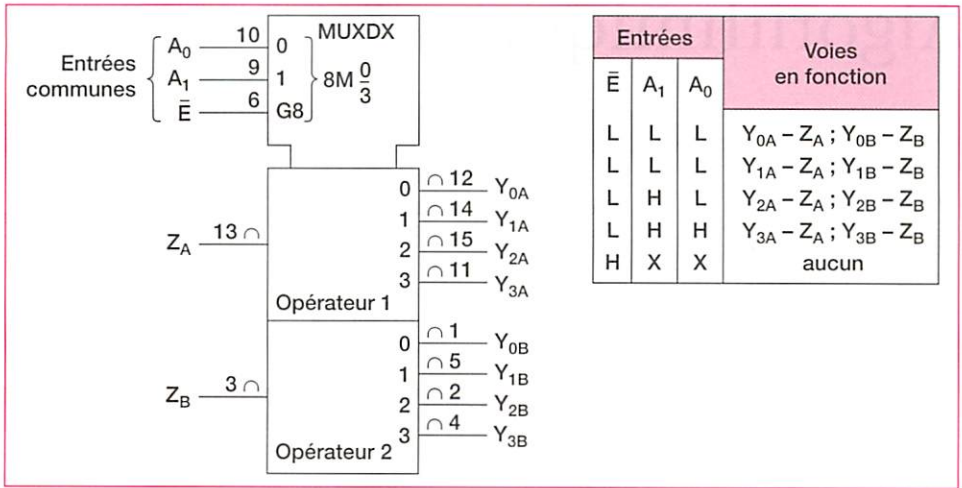


Figure F 3.9 Symbole du CI 4052 et sa table de vérité

## 4.2 Symboles distinctifs associés aux entrées/sorties

Dans le tableau de la figure F 3.10 sont données les distinctions les plus courantes :

- le cercle pour l'inversion logique ;
- le triangle rectangle pour l'activation à l'état bas ;
- le triangle isocèle pour les entrées dynamiques.

Des lettres R, S, EN pour respectivement la mise à zéro (Reset), la mise à un (Set) et la validation (ENable) complètent utilement ces symboles.

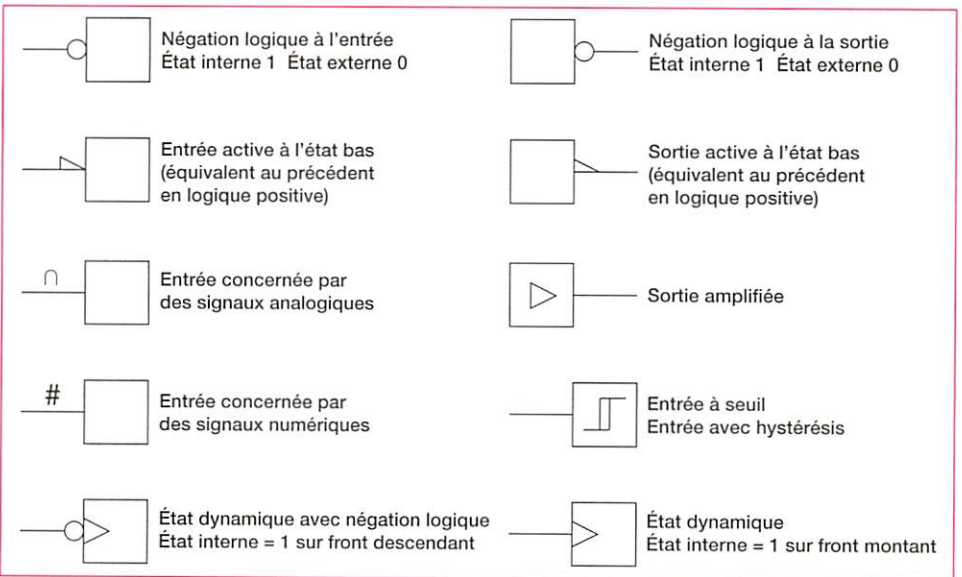
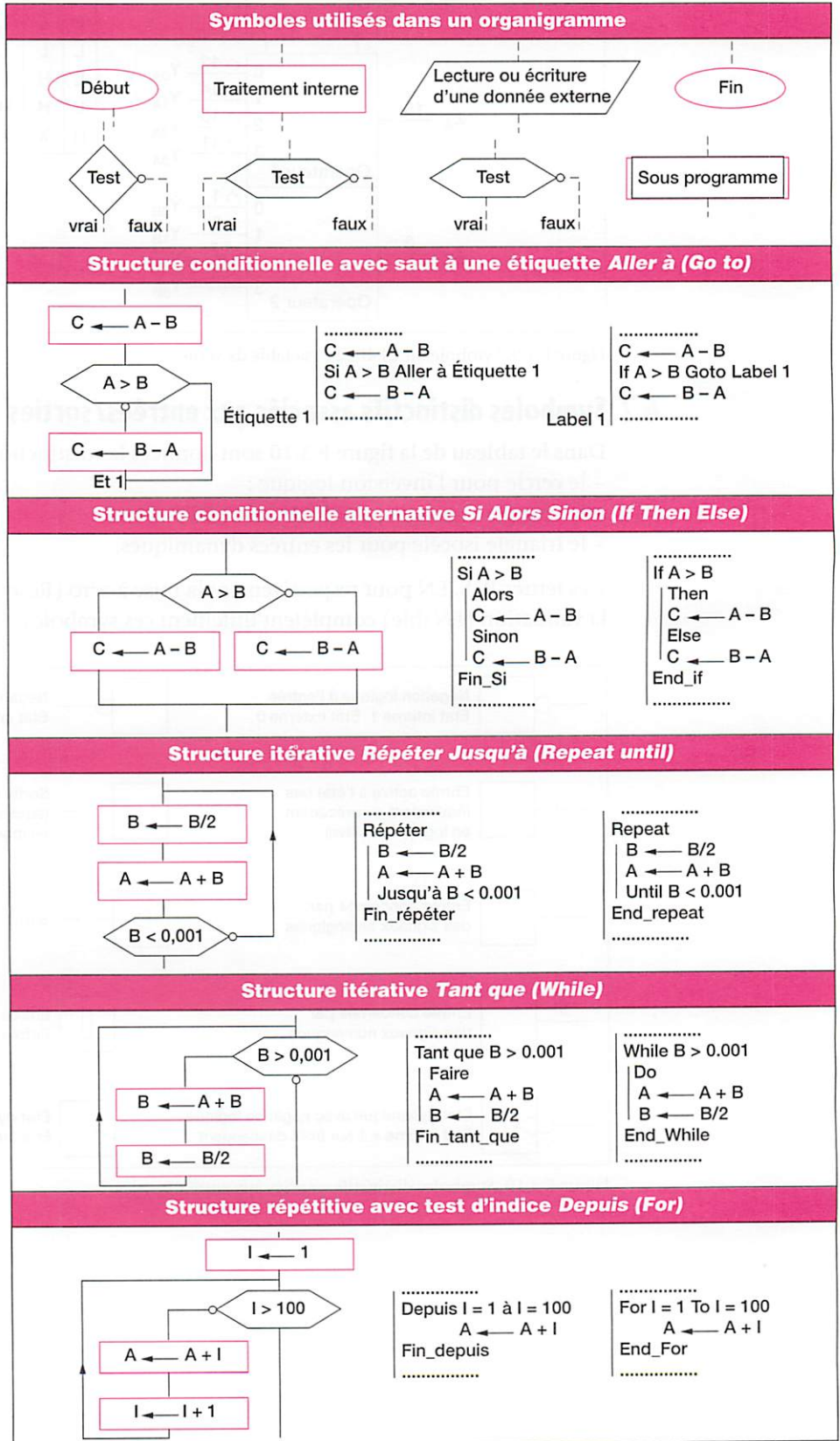


Figure F 3.10 Symboles distinctifs associés aux entrées/sorties

## Algorithmique





# Index

- A**  
Accumulateur 25  
Acquérir 9, 86  
Acquisition 85  
Actionneur 154  
Additionneurs binaires 185  
Adhérence 142  
Adressage 128  
Adresses absolues 107  
Algorigramme 184, 186  
Alimenter 13  
Amortissement 19  
Amplificateurs opérationnels 156  
Analyse fonctionnelle interne 23  
Analyse fonctionnelle technique 23  
API 203  
Approche descendante 177  
Arbre d'assemblage 216  
Arbre de création 210  
Arc-boutement 57  
Architecture matérielle du système 105  
Atelier logiciel spécifique 103  
Automate programmable 103, 116  
Automate programmable industriel 11, 112
- B**  
Bagues de roulement 62  
Bande passante 118  
Barre de reprise 212  
Besoin 227  
Bloc fonctionnel 103  
Bloc-diagramme 24  
Blocs fonctionnels réutilisables 109  
Boîte de dialogue 212  
Bus 115, 118  
Bus de communication 86  
Bus de terrain 9, 10, 88  
Bus numérique série à haut débit 10
- C**  
Câble bifilaire 118  
Câble coaxial 118  
Canal de transmission 118  
Canaux de transmission 124  
Capteur 86  
Capteur « intelligent » 89  
Capteur actif 90  
Capteurs actifs 91  
Capteurs passifs 89, 91  
Caractéristiques mécaniques 150  
Cartes électroniques à base de microcontrôleurs 116  
Cédérom (disque compact à lecture seule) 122  
Centre instantané de rotation 139  
Chaîne cinématique 146  
Chaîne complexe 135  
Chaîne d'acquisition 86  
Chaîne d'énergie 7  
Chaîne d'énergie associée à la chaîne d'information 13  
Chaîne d'information 7, 9  
Chaîne inverse de conversion 157  
Chaîne simple fermée 135  
Chaîne simple ouverte 135  
Cinématique 144  
Circuit de commande 203  
Cisaillement 147  
Classe d'équivalence 54  
Clavier 86  
Codage Manchester 120  
Code ASCII 169  
Code binaire pur 168
- Codes RZ (Return to Zero) 120  
Codifier l'information 117  
Coefficient de sécurité  $s$  151  
Coefficients de pondération 235  
Communication 85  
Communiquer 9, 86  
Commutation 154  
Compas électronique 14  
Compilation 107  
Composants programmables 12  
Composants standard 217  
Composition 231  
Composition de mouvements 139  
Composition de vitesses 139  
Compression 147  
Compromis prix/performance 97  
Compteur 176  
Concept 228  
Conditionnement 86, 87  
Conjoncteur 24  
Conjoncteur-disjoncteur 24  
Console de visualisation 8  
Construction dans l'assemblage 215  
Construction par assemblage 215  
Contacteurs 251  
Contrainte 150  
Contrainte normale  $\sigma$  150  
Contrainte tangentielle  $\tau$  150  
Contraintes d'assemblage 216  
Contraintes géométriques 213  
Contrôle actif de roulis 22  
Conversion d'énergies 15  
Conversion directe 152  
Conversion inverse 153, 154  
Convertir 13  
Convertisseur 252  
Couple 154  
Courant 154  
Critères d'appréciation 21  
Critères technologiques 96  
CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access/Collision Détection) 127
- D**  
Débits et de distances 127  
Débogage 107  
Décalage 185  
Déformations 148  
Description littérale structurée 184  
Dessin 232  
Dessins de finition 233  
Détection d'un « land » 122  
Détection d'un « pit » 122  
Diagramme « pieuvre » 21  
Dialogue entre l'homme et la machine 13  
Dimensionnement 141  
Disjoncteur 24  
Disques durs 121  
Disques souples 121  
Distance linéaire 76  
Distribuer 13  
Distribution 15  
Domaine élastique 151  
Durée de vie 97  
Dynamique 144
- É**  
Édition 107  
Effectuer une mesure 10  
Effet électromagnétique 90  
Effet Hall 90  
Embrayage 67  
Énergie cinétique 153
- Enlèvement de matière par révolution 212  
Enregistrement 121  
Entrer des informations 116  
Éprouvettes 150  
Esquisse 210  
Essais mécaniques 147  
Étape appelante 178  
Ethernet 115  
Étude dynamique 197  
Extensométrie 149  
Extraction 86  
Extrusion 211
- F**  
Fast 23  
Fibre optique 118  
Flambage 147  
Flexibilité d'un niveau 22  
Flux d'énergie 16  
Fonction acquérir 7  
Fonction Bossage 212  
Fonction communiquer 7, 13  
Fonction Coque 211  
Fonction de base 210  
Fonction de transmission de puissance 65  
Fonction distribuer et convertir 7  
Fonction traiter 7  
Fonction transmettre 7  
Fonctions techniques 23  
Forces de cohésion 147, 148  
Format de transmission 119  
Franchissement de la transition 178  
Freiner un solide 74  
Fréquence 231  
Fréquence critique 93  
Frottements 141
- G**  
Génératrice 153  
Grafset 183  
Grafset de coordination des tâches 180  
Grandeur physique 96  
Graphe de liaisons 134  
Gravure des données 123  
Groupe de contraintes d'assemblage 216  
Guidage en rotation 59  
Guidage en translation 56
- H**  
Hacheur 152  
Homogènes 148  
Hub 125  
Hyperstatique 135
- I**  
Idée 227  
Identifier et représenter chaque liaison 195  
Identifier les constituants 195  
Inertie d'un solide 144  
Information analogique 166  
Information binaire 93  
Information logique 166  
Information numérique 93, 166  
Informations analogiques 156  
Ingénierie concourante et simultanée 242  
Interchangeabilité 235  
Interface de développement 103  
Interfaces d'interconnexion 124  
Interfaces de connexion 124  
Internet 115  
Interopérabilité 130  
Isostatique 135  
Isotropes 148



Jauges de contrainte 149

Laminage 62

Langage orienté Grafset 103, 108

Lecture des données 121

Lecture du schéma électrique 203

Liaison complète démontable 54

Liaison glissière 56, 58

Liaison pivot 59

Limite élastique 150

Limiteur de couple 68

Linéarité 97

Logiciels réseau 125

Logigramme 103, 172

Loi de Coulomb 141

Longueur 85

Macro-étape 177

Maintien d'assiette constante 22

Maquette 233

Matériaux 148

Mémoire 173

Méthode CSMA/CD 127

Microcontrôleur 109

Microcontrôleurs 112

Mise en forme, transport et routage des paquets de données 128

Mise en plan 219

Mnémoniques 107

Mode de communication 97

Mode différentiel 94

Mode proportionnel 47

Mode tout ou rien 47

Modèle 134

Modèle de présérie 234

Modèle de série 235

Modem 125

Modulation d'énergie 161

Moment d'inertie 145

Monocâble 8

Moteur à courant continu 40

Moteur asynchrone 39

Mouvement plan 138

Nature des ordres fournis par l'API 11

Niveau d'administration central 115

Niveau de conduite de processus 115

Niveau des actionneurs et des capteurs 115

Niveaux de priorité 129

Nombre binaire est égal à 0 186

Nombre binaire est négatif 186

Nombre en base 10 167

Nombre en base 16 167

Nombre en base 2 167

Nombres binaires 167

Nomenclature 221

Objectifs 231

Opération « ET » 184

Opération « NON » 184

Opérations « OU » 184

Organes de connexions et d'interconnexions 124

Outil « bête à cornes » 19

Paramétrage dimensionnel 215

Paramétrage fonctionnel 215

Pas de la liaison hélicoïdale 76

Performances 97

Périphériques 116

Phase d'exploitation 194, 195

Phase de conception 194, 195, 209

Phase de développement 197

Phase de dimensionnement 194

Phase de réalisation et d'exploitation 209

Pilote automatique 8

Plan d'esquisse 210

Plan de référence 213

Planning 229

Plans cotés 221

Post-processeur 103

Potentiomètre 155

Poutre 147

Préactionneur 162

Précision sur la mesure 97

Principe came-poussoir 79

Principe du câblage 204

Principe fondamental de la dynamique 144

Principe pignon-crémaillère 77

Principe vis-écrou 75

Principes généraux de la résistance des matériaux 148

Prix 97

Procédés industriels 11

Processeur 106

Produit 235

Programmation 108

Programme de configuration 106

Proposition logique 171

Protocoles de communication 125

Prototypage rapide 241

Prototype 233

Puissance électrique absorbée 40

Quadrants 154, 164

Raideur 19

Rapport cyclique 152

Rapport de transmission 72

Rebut 235

Réducteur 157

Relations mathématiques 214

Rendement 154

Répétiteur multipoint 125

Représentation par tâches 178

Représentations schématiques 218

Réseau 118, 123

Réseau de terrain 115, 129

Réseau étendu 123

Réseau ethernet 123

Réseau internet 123

Réseau local 123, 126

Réseaux organisés 124

Réseaux organisés autour de serveurs 124

Réseaux poste à poste 124

Résistance au mouvement 57

Résistance des matériaux 147

Réversibilité 153

Revue 231

Routeur 125

Schéma à contacts 103, 172

Schéma cinématique 194

Schéma d'architecture 197

Schéma distributeur des liaisons 197

Schéma électrique 205

Schéma technologique 198

Schéma-bloc 24

Schémas hydrauliques 201

Schématiser 195

Sectionneur 251

Serveurs 124

Signal analogique 93

Sollicitations 147

Sortir des informations 116

Source d'énergie 15

Sous-assemblage 216

Spécification littérale structurée 186

Spécifications 228

Standardisation 130, 238

Statique 144

Stocker des informations 116

Surfaces fonctionnelles 198

Symbole logique 175

Système d'exploitation réseau 125

Système de commande est dit combinatoire 170

Système de commande est dit séquentiel 173

Système numérique 184

Systèmes actuels 13

Systèmes d'exploitation 125

Systèmes d'exploitation réseau 125

Table de vérité 171

Tableau de karnaugh 171

Tâche 178

Tâche appelée 178

TCP/IP 128

Technique de raccordement 97

Télégestion 130

Temporisation 175

Temps minimal garanti 129

Tension 154

Tension « image » 96

Tension d'alimentation 97

Théorème de l'énergie cinétique 146

Théorème de l'équiprojectivité 140

Théorème de la résultante dynamique 144

Théorème du moment cinétique 146

Théorème du moment dynamique 144

Tolérer les pannes 129

Torseur de cohésion 148

Traitement 85

Traiter 9, 86

Trame 120

Transfert 184

Transformateurs d'énergie 16

Transistor 153

Transistor Mosfet 152

Transitions 178

Transmettre 13

Transmettre les informations 13

Transmission 153

Transmission de mouvement 142

Transmission en bande de base 118

Transmission numérique parallèle 118

Transmission numérique série 94

Transmission numérique série synchrone

ou asynchrone 118

Transmission par chaîne 69

Transmission par courroie 69

Transmission par engrenage 69

Transmission par friction 69

Transmission par modulation d'une porteuse 118

Type de traitement 97

Unidirectionnel en courant 153

Valeur numérique 184

Variateur de vitesse 161

Vitesse 85, 154

Vitesse angulaire 76

Vitesse angulaire du pignon 78

Vitesse linéaire 76, 79

Vitesse linéaire de la crémaillère 78

COMPOSITEUR - STDI

ÉDITIONS FOUCHER - PARIS - N° 39038 - Septembre 2003 - 02 - FM-AS/SM

Imprimé par Mame Imprimeurs à Tours  
N° 03082150 - Dépôt légal : Septembre 2003