

COLLECTION  
A. BIANCIOTTO - P. BOYE

ESPACES  
TECHNOLOGIQUES

P. DENIS D. MURAIL  
A. BIANCIOTTO P. BOYE



# MAINTENANCE

DES SYSTÈMES AUTOMATISÉS

BEP & BAC PRO

**MSMA**



 DELAGRAVE

**ESPACES TECHNOLOGIQUES**

Collection dirigée par A. BIANCIOTTO et P. BOYE

# **LA MAINTENANCE DES SYSTÈMES AUTOMATISÉS**

**Pascal DENIS**

Agrégé de Génie Mécanique

**Daniel MURAIL**

Professeur certifié de Génie Mécanique  
Option Maintenance

**André BIANCIOTTO**

Agrégé de Génie Électrique  
Professeur à l'IUFM de Nantes

**Pierre BOYE**

Professeur honoraire d'ENNA

A l'usage :

- des élèves des classes
  - de BEP en **Maintenance des Systèmes Mécaniques de Production**
  - de Bac Professionnel en **Maintenance des Systèmes Mécaniques Automatisés**
- des apprentis mécaniciens des **Centres d'Apprentissage**
- des auditeurs de la **formation continue.**

## AVANT-PROPOS

La mutation permanente et rapide de la production industrielle se caractérise par :

- une **évolution structurelle** des systèmes de production vers une plus grande automatisation,
- et une **évolution informationnelle** qui touche à la fois la gestion de l'entreprise et l'exploitation des moyens de production.

La **fonction maintenance** est en permanence confrontée à ces évolutions et elle doit s'adapter :

- à des matériels ou des systèmes organisés en **lignes** ou en **unités de production**, pour lesquels la maintenance de premier niveau est assurée par un opérateur,
- à des équipements de plus en plus complexes, **pluritechnologiques et interdépendants**, qui doivent satisfaire au mieux le concept de **flexibilité**,
- à la recherche constante d'une **rapide adaptation des moyens de production** pour améliorer la **productivité** et la **compétitivité** de l'entreprise.

L'efficacité de cette nécessaire confrontation passe obligatoirement par :

- une **imbrication** étroite des services de **maintenance** et de **production**,
- une **rationalisation** des **méthodes de maintenance**,
- une recherche de **minimisation des coûts** des interventions de maintenance.

L'**Agent de Maintenance** doit présenter les **compétences opérationnelles** nécessaires pour l'exécution de ses interventions mais il doit également être capable :

- de prendre en compte les **impératifs de gestion** et de **qualité** des produits de l'entreprise,
- de **communiquer** avec les autres services de l'entreprise et avec le personnel des entreprises prestataires de services.

Cet ouvrage qui traite de **LA MAINTENANCE DES SYSTÈMES AUTOMATISÉS** a comme objectif de proposer les ressources nécessaires à la **structuration des connaissances** que l'**Agent de Maintenance** met au service de ses savoir-faire. La partition entre le **niveau BEP** et le **niveau Bac-Professionnel** n'est pas affirmée car il semble évident qu'une situation d'apprentissage ou de formation en maintenance ne peut s'appréhender que **dans sa globalité**.

C'est ainsi que :

- le respect du mode opératoire proposé,
- l'acquisition des savoirs relatifs :
  - à la justification du mode opératoire,
  - à la justification de l'intervention par rapport au contexte économique de l'entreprise,
- l'exploitation des constatations à des fins d'amélioration des matériels,... peuvent être autant d'**objectifs de formation**.

C'est à l'**Équipe Pédagogique** de définir, en fonction des supports de formation dont elle dispose, le **niveau des objectifs** à satisfaire. Sur un système simple un élève, en début de formation, peut facilement acquérir des notions de fiabilité, de disponibilité, de maintenabilité. En fin de formation, un système ou un matériel plus complexe, doit permettre l'approfondissement de ces mêmes concepts.

Les contenus de **LA MAINTENANCE DES SYSTÈMES AUTOMATISÉS** respectent les **référentiels de ces diplômes de maintenance**.

Les auteurs souhaitent que cet ouvrage apporte un soutien efficace à l'enseignement de la **MAINTENANCE** et ils restent à l'écoute des critiques et des suggestions.

○ **DANS LA COLLECTION ESPACES TECHNOLOGIQUES**

A. BIANCIOTTO — P. BOYE

**LA TECHNOLOGIE AU COLLÈGE — NIVEAU 1 (6° et 5°)**

- Livre de l'élève
- Livre du professeur

**LA TECHNOLOGIE AU COLLÈGE — NIVEAU 2 (4° et 3°)**

- Livre de l'élève
- Livre du professeur

**LA TECHNOLOGIE EN QUATRIÈME ET TROISIÈME TECHNOLOGIQUES**

- Livre de l'élève
- Livre du professeur

C. ROBINET — A. BIANCIOTTO — P. BOYE

**LA LOGIQUE ÉLECTRONIQUE**

P. SALETTE — A. BIANCIOTTO — P. BOYE

**L'ÉLECTRONIQUE ET SES FONCTIONS**

- Tome 1
- Tome 2

A. RIDEAU — A. BIANCIOTTO — P. BOYE

**LA TECHNOLOGIE DES SYSTÈMES AUTOMATISÉS (classe de seconde)**

J.-P. GILLOT — A. BIANCIOTTO — P. BOYE

**L'ÉTUDE ET L'ANALYSE DES SYSTÈMES AUTOMATISÉS**

P. SALETTE — A. BIANCIOTTO — P. BOYE

**L'ÉLECTRONIQUE SES MESURES ET ESSAIS**

- Tome 1
- Tome 2 (à paraître)

○ **DANS LA COLLECTION INFORMATIQUE ET COMMUNICATION**

D. CANEVET

**L'ALGORITHMIQUE ET LE PASCAL**

En couverture : ligne automatisée de Renault Automation

La loi du 11 mars 1957 n'autorisant, aux termes des alinéas 2 et 3 de l'article 41, d'une part, que les « copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective » et, d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration, « toute représentation ou reproduction intégrale, ou partielle, faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause, est illicite » (alinéa 1<sup>er</sup> de l'article 40).

Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon sanctionnée par les articles 425 et suivants du Code Pénal.

# TABLE DES MATIÈRES

	<i>Pages</i>		<i>Pages</i>
<b>Première Partie : LA FONCTION MAINTENANCE ET L'ENTREPRISE</b>			
● Objectifs	7	20. FONCTIONS DE LOGIQUE COMBINATOIRE	91
1. FONCTION MAINTENANCE	8	21. FONCTION DE LOGIQUE SÉQUENTIELLE	95
2. COMPÉTITIVITÉ DE L'ENTREPRISE	12	22. GRAPHE FONCTIONNEL DE COMMANDE ÉTAPE TRANSITION : GRAFCET	98
3. PROCESSUS DE PRODUCTION	16	23. EXEMPLE D'APPLICATION DU GRAFCET	104
4. QUALITÉ	20	24. OBJETS TECHNIQUES D'INFORMATION : LES CAPTEURS	109
5. OUTILS DE LA QUALITÉ	24	25. OBJETS TECHNIQUES DE PUISSANCE : LES ACTIONNEURS	115
<b>Deuxième Partie : AGENCEMENT DES FONCTIONS TECHNIQUES MÉCANIQUES DES SYSTÈMES DE PRODUCTION</b>		<b>Cinquième Partie : CHOIX D'UNE FORME DE MAINTENANCE</b>	
● Objectifs	27	● Objectifs	121
6. ÉTUDE DES LIAISONS MÉCANIQUES	28	26. MAINTENANCE PRÉVENTIVE	122
7. FONCTION ASSEMBLAGE	35	27. MAINTENANCE CORRECTIVE	130
8. FONCTION GUIDAGE	38	28. ANALYSE DES INFORMATIONS : LOI DE PARETO	138
9. FONCTION TRANSMISSION DE PUISSANCE MÉCANIQUE ET TRANSFORMATION DE MOUVEMENTS	40	29. ANALYSE DES COÛTS DE MAINTENANCE	141
10. FONCTION ÉTANCHÉITÉ	43	30. GESTION DE LA MAINTENANCE ASSISTÉE PAR ORDINATEUR : GMAO	147
<b>Troisième Partie : MODES DE REPRÉSENTATION DES SYSTÈMES DE PRODUCTION</b>		<b>Sixième Partie : COMPORTEMENT DU MATÉRIEL</b>	
● Objectifs	47	● Objectifs	149
11. DESSIN TECHNIQUE MÉCANIQUE	48	31. ÉTUDE DES DÉFAILLANCES	150
12. SCHÉMAS ÉLECTROTECHNIQUES ET ÉLECTRONIQUES	59	32. DISPONIBILITÉ. FIABILITÉ. MAINTENABILITÉ	156
13. DÉMARRAGE DES MOTEURS ASYNCHRONES À CAGE	63	33. SUIVI DES MATÉRIELS	166
14. SCHÉMAS DES ÉQUIPEMENTS PNEUMATIQUES ET HYDRAULIQUES	70	<b>Septième Partie : GESTION DU TRAVAIL</b>	
<b>Quatrième Partie : AUTOMATIQUE INDUSTRIELLE</b>		● Objectifs	169
● Objectifs	73	34. ORDONNANCEMENT DES INTERVENTIONS DE MAINTENANCE	170
15. ORGANISATION FONCTIONNELLE D'UN SYSTÈME AUTOMATISÉ	74	35. CONTRATS DE MAINTENANCE	175
16. CONSTITUANTS PROGRAMMABLES DE COMMANDE	77	36. GESTION DES STOCKS	179
17. ACQUISITION DES DONNÉES	82	37. ORGANISATION DU MAGASIN	186
18. AFFECTATION DES SORTIES	85	<b>ANNEXES</b>	
19. DIALOGUE ET COMMUNICATION	89	EMPLOI D'UN MULTIMÈTRE	188
		FORMULAIRE	189
		INDEX	190

# TABLE DES MATIÈRES

LE DÉVELOPPEMENT DE LA FORMATION

LE DÉVELOPPEMENT DE LA FORMATION

- FONCT
- COMPE
- PROCÉ
- QUALI
- OUTILS

Les contenus  
des savoirs  
capacités :

- de j
- de c
- de j
- de c
- de c
- de n
- de n



La com

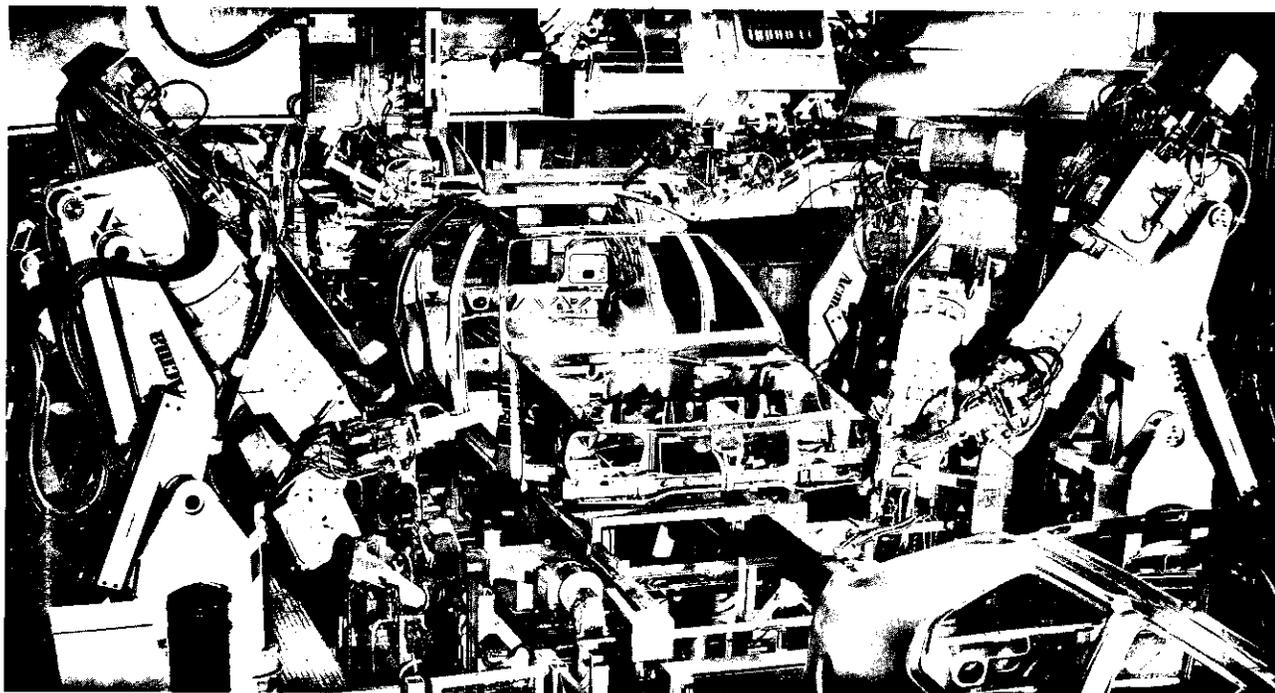
# PREMIÈRE PARTIE

## LA FONCTION MAINTENANCE ET L'ENTREPRISE

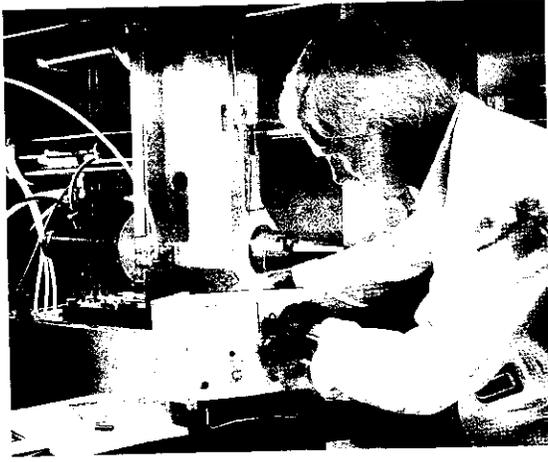
- FONCTION MAINTENANCE
- COMPÉTITIVITÉ DE L'ENTREPRISE
- PROCESSUS DE PRODUCTION
- QUALITÉ
- OUTILS DE LA QUALITÉ

Les contenus proposés dans cette première partie représentent les **ressources nécessaires** à l'acquisition des **savoirs et savoir-faire technologiques** de la maintenance par un développement progressif des **capacités** :

- de justifier la place de la **fonction maintenance** dans l'entreprise ;
- de définir le niveau d'une **action de maintenance** ;
- de justifier les composantes de la **productivité** et de la **compétitivité** de l'entreprise ;
- de classer un **processus de production** ;
- de dégager les **avantages** d'une **gestion de la qualité** ;
- de rechercher les **causes et les conséquences** de la **non-qualité** ;
- de mettre en œuvre un **outil de la qualité**.



La complexité croissante des systèmes automatisés de production impose une bonne organisation de leur maintenance



## 1. FONCTION MAINTENANCE

La maintenance est l'ensemble des actions permettant de maintenir ou de rétablir un bien dans un état spécifié ou en mesure d'assurer un service déterminé (suivant norme NF X 60-010).

Maintenir, c'est donc effectuer des opérations :

- dépannage,
- graissage,
- visite,
- réparation,...

qui permettent de **conserver le potentiel du matériel** pour assurer la continuité et la qualité de la production.

Bien maintenir, c'est assurer ces opérations au **coût global optimal**.

### ● CARACTÉRISTIQUES DES ACTIONS DE MAINTENANCE

La maintenance doit bénéficier de l'organisation la meilleure possible, pour réduire ses coûts. Cette condition est de plus en plus nécessaire compte-tenu :

- des **évolutions technologiques** des moyens de production vers plus de mécanisation et plus d'automatisation,
- des impératifs de **cadence de la production**,
- de la recherche constante de **l'amélioration de la qualité**,...

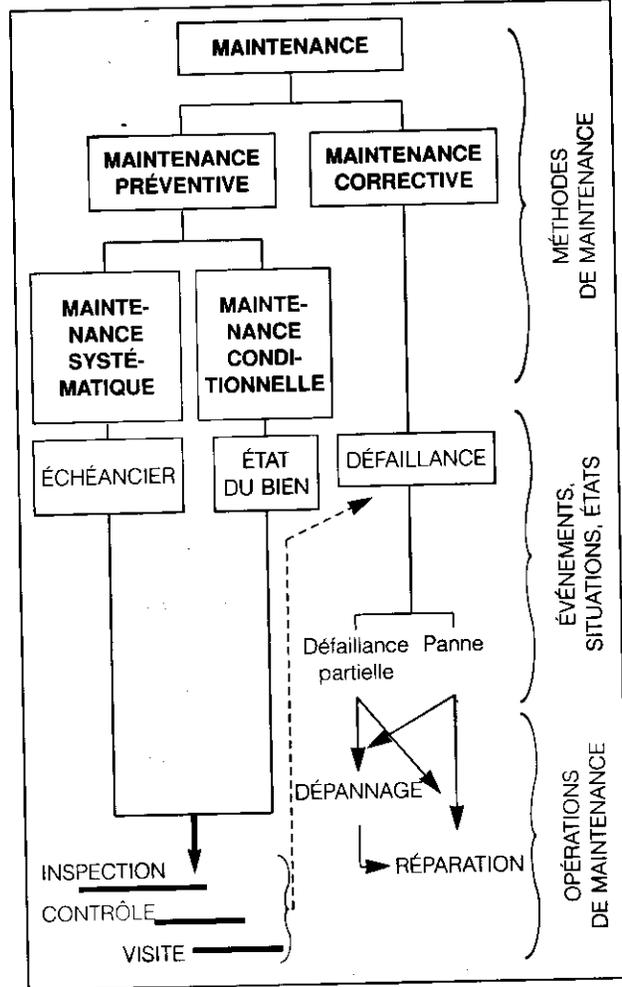
Dans ces conditions il est évident que les **méthodes prévisionnelles de maintenance** appliquées à des matériels de haute production coûtent moins cher que les **pertes de production** dues à l'arrêt de ces matériels.

Le tableau 1a représente le cadre général des actions de maintenance. Elles sont déclenchées en fonction d'événements, de situations et d'états à des instants :

- prévus par un **échéancier**,
- prédéterminés suivant **l'état constaté** du matériel à la suite d'une visite,
- imprévus, résultant d'une **défaillance**.

De l'obligation de pratiquer de nombreuses mesures en maintenance.

# 1 FONCTION MAINTENANCE



1a. Cadre général des actions de maintenance.

Ces actions se déroulent dans le cadre des méthodes de maintenance :

- **maintenance préventive, systématique ou conditionnelle,**
- **maintenance corrective.**

Elles mettent en œuvre des opérations de maintenance telles que : inspection, contrôle, visite, dépannage, réparation,...

Les activités de maintenance concernent également des travaux d'**amélioration**, de **reconstruction** et de **renovation**, des matériels, bâtiments et installations.

## 2. MÉT

Le choix politique en comp

- re
  - re
  - an
  - es
- dans ex

## ● MAI

La main critères réduire la dégra

Exemple

- Da
- préventiv

gie, de c

rations d

La main

- sy
- cu

## ● MAI SYS

La main tue suiv ou le no L'unité d

Exemple

- le
- la
- la

Cette m équipem

- so
- ponts re
- sous pr

● c

élevés

continu

- de
- des acc
- commun
- utilisés d

● de

rapiden

rapide : des car

## 2. MÉTHODES DE MAINTENANCE

Le choix d'une méthode de maintenance traduit la **politique de maintenance** de l'entreprise qui a pris en compte certains objectifs tels que :

- réduction des  **périodes d'indisponibilité** des matériels,
- réduction des **coûts de maintenance**,
- amélioration de la **qualité des produits**,
- assurer la plus **grande sécurité** possible dans l'exploitation des matériels,...

### ● MAINTENANCE PRÉVENTIVE

La **maintenance préventive s'effectue selon des critères prédéterminés, dans l'intention de réduire la probabilité de défaillance d'un bien ou la dégradation d'un service rendu.**

Exemples :

- Dans l'industrie des transports la maintenance préventive doit :
  - diminuer la probabilité des défaillances,
  - supprimer le risque d'accidents graves,
  - éviter les consommations anormales d'énergie, de carburant, de lubrifiant,
  - préparer la mise en place éventuelle d'opérations de maintenance corrective,...

La **maintenance préventive** peut être :

- **systématique**,
- ou **conditionnelle**.

### ● MAINTENANCE PRÉVENTIVE SYSTÉMATIQUE

La **maintenance préventive systématique s'effectue suivant un échéancier établi selon le temps ou le nombre d'unités d'usage du bien.**

L'**unité d'usage** caractérise l'exploitation du bien.

Exemples :

- le km parcouru pour une locomotive,
- la tonne produite pour un haut-fourneau,
- la palette conditionnée pour une empaqueteuse.

Cette méthode de maintenance s'applique à des équipements :

- soumis à une **réglementation sécuritaire** : ponts roulants, matériels d'incendie, installations sous pression,...
- présentant des **coûts de défaillance très élevés** : système avec processus de production continu, lignes de fabrication automatisées,...
- pour lesquels une défaillance peut entraîner des **accidents graves** : matériels de transport en commun des personnes, appareils et constituants utilisés dans l'énergie nucléaire,...
- dont le **coût de fonctionnement augmente rapidement** à la suite de dérèglement ou d'usure rapide : moteurs thermiques dont la consommation des carburant devient anormale, consommation

élevée du liquide de lubrification dans un système mécanique qui présente des jeux de fonctionnement anormaux.

### ● MAINTENANCE PRÉVENTIVE CONDITIONNELLE

La **maintenance préventive conditionnelle est subordonnée à un type d'événement prédéterminé :**

- **autodiagnostic**,
- **information d'un capteur**,
- **mesure d'une usure**,...

**révélateur de l'état de dégradation du bien.**

Encore appelée **maintenance prédictive**, mais ce terme n'est pas normalisé.

Exemples :

- La mesure périodique du **niveau vibratoire** d'une machine permet de programmer une intervention de maintenance corrective lorsque ce niveau augmente puis dépasse une valeur prédéterminée.
- Le relevé de **la courbe de température** d'une chambre froide met en évidence le dysfonctionnement du groupe frigorifique ou du système de régulation de température, pour une valeur prédéterminée de température.
- L'**intensité à vide**, absorbée par un transformateur de puissance, traduit l'état de l'isolement diélectrique des enroulements et à partir d'une valeur donnée déclenche la révision générale du transformateur.

La maintenance préventive conditionnelle peut s'appliquer à tous les matériels.

Son efficacité est grandement accrue par l'utilisation de l'outil informatique.

### ● MAINTENANCE CORRECTIVE

La **maintenance corrective s'effectue après défaillance.**

Encore appelée, **maintenance curative**, mais ce terme n'est pas normalisé.

Après toute défaillance, ou panne constatée la maintenance corrective entraîne :

- l'indisponibilité des matériels,
- et, dans certains cas, la dépréciation des produits ou des services normalement rendus par ces matériels.

Exemples :

- Dans une industrie alimentaire l'arrêt de la lignes de fabrication d'un type de biscuit, suite à une défaillance du convoyeur de pâte, entraîne :
  - l'indisponibilité de la ligne,
  - la perte de production,
  - la dépréciation des biscuits en cours de fabrication au moment de la défaillance.
- La défaillance d'un engin de levage dans un hall de montage de machines-outils paralyse les différents postes d'assemblage.

### 3. NIVEAUX DE MAINTENANCE

Un **niveau de maintenance** se définit par rapport :

- à la **nature de l'intervention**,
- à la **qualification de l'intervenant**,
- aux **moyens mis en œuvre**.

La norme *NF X 60-010* donne, à titre indicatif, cinq niveaux de maintenance, en précisant le service qui en a la responsabilité, la **production** ou la **mainten-**  
**nance**.

#### ● PREMIER NIVEAU

Il s'agit de **réglages simples** prévus par le constructeur ou le service de maintenance, au moyen d'éléments accessibles sans aucun démontage ou ouverture de l'équipement.

*Exemples :*

- *Échanges en toute sécurité d'éléments consommables tels que :*
  - *fusibles,*
  - *voyants,...*
- *Dégagement d'un produit défectueux sur une machine automatisée après la mise en sécurité de la machine.*

Ces interventions de premier niveau peuvent être réalisées par l'**exploitant du bien**, sans outillage particulier à partir des instructions d'utilisation.

#### ● DEUXIÈME NIVEAU

Il s'agit de **dépannages par échange standard** des éléments prévus à cet effet et d'opérations mineures de maintenance préventive.

*Exemples :*

- *Graissage d'une machine ;*
- *Contrôle du bon fonctionnement d'un four de traitements thermiques ;*
- *Remplacement d'une électrovanne sur un système de serrage de pièce.*

Ces interventions de deuxième niveau peuvent être réalisées par un **technicien** ou l'**exploitant du bien** dans la mesure où ils ont reçus une **formation** pour les exécuter en toute sécurité.

#### ● TROISIÈME NIVEAU

Il s'agit d'**identification et de diagnostic de pannes** suivis éventuellement :

- d'échanges de constituants,

- de **réparations mécaniques mineures**,
- de **réglage et réétalonnage général des mesureurs**.

*Exemples :*

- *Remplacement d'une bobine de contacteur défectueuse à la suite d'une surtension.*
- *Démontage d'un manomètre donnant des indications erronées, réétalonnage sur un banc de contrôle, remontage sur la machine.*
- *Remplacement d'une clavette cisailée nécessitant l'ajustage de la nouvelle clavette.*

Les interventions de troisième niveau peuvent être réalisées par un **technicien spécialisé** directement sur le site ou dans un atelier de maintenance.

#### ● QUATRIÈME NIVEAU

Il s'agit de tous les **travaux importants de maintenance corrective ou préventive** à l'exception de la rénovation et de la reconstruction.

*Exemples :*

- *Révision générale d'un compresseur.*
- *Démontage, réparation, remontage, réglage d'un treuil de levage.*
- *Remplacement du coffret d'équipement électrique de démarrage d'une machine-outil.*

Ces interventions de quatrième niveau peuvent être réalisées par une **équipe disposant d'un encadrement technique très spécialisé** et de **moyens importants** bien adaptés à la nature de l'intervention.

#### ● CINQUIÈME NIVEAU

Il s'agit de tous les **travaux de rénovation, de reconstruction** ou de **réparation importante**, confiés à un **atelier central de maintenance** ou à une **entreprise extérieure prestataire de services**.

*Exemples :*

- *Révision générale de la chaufferie d'une usine.*
- *Rénovation d'une ligne de conditionnement de flacons pour améliorer son degré d'automatisation.*
- *Réparation d'un engin de levage portuaire partiellement endommagé à la suite d'une tempête.*

Dans ce type de travaux les moyens et les méthodes sont comparables à ceux mis en œuvre lors de la fabrication des matériels. C'est au **constructeur d'en fournir, les spécifications techniques et constructives**.

#### 4. OR MA

#### ● RE SE

#### Le ser entièr

En plus  
maintie  
duction  
études  
treprise

C'est au

● q

veaux

matérie

sanctes

● q

importa

miser s

autres

et des s

● q

augmen

tion de

treprise

4b. Posi

#### 4. ORGANISATION DU SERVICE MAINTENANCE

##### ● RELATION AVEC LES AUTRES SERVICES

**Le service maintenance est un service à part entière dans l'entreprise.**

En plus de ses missions spécifiques concernant le maintien ou le rétablissement du potentiel de production il est associé à de nombreux travaux et études qui concernent la politique générale de l'entreprise.

C'est ainsi :

- qu'il est associé à la **définition des nouveaux produits** et à l'**acquisition des nouveaux matériels** car il peut apporter des données intéressantes sur leur future fiabilité et maintenabilité,

- que sa position privilégiée au sein d'un flux important d'informations doit lui permettre d'optimiser ses propres actions et aussi d'**informer les autres services** de l'opportunité de certains travaux et décisions,

- que la technicité des tâches de maintenance augmentant sans cesse ce service doit être en **relation** de plus en plus étroite avec l'**extérieur de l'entreprise** :

- pour s'informer sur de nouveaux matériels,
- pour acquérir, éventuellement, de nouvelles compétences.

La figure 4a indique quelques unes des relations du service maintenance.

##### ● POSITION DU SERVICE MAINTENANCE

Par rapport aux autres services de l'entreprise le service maintenance peut être :

- **centralisé**, toute la maintenance est assurée par un **atelier central**,

- **décentralisé**, ou **sectorisé**, en fonction de l'organisation de la production, dans ce cas certaines tâches de maintenance sont placées sous la responsabilité du service production.

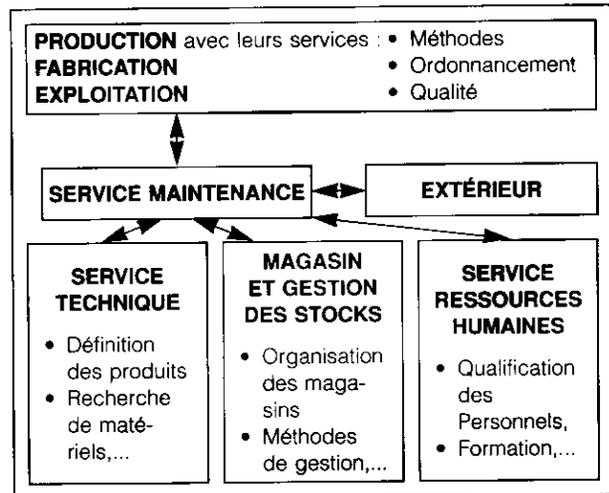
Cette dernière solution présente les avantages suivants :

- **temps de réponse plus court** entre le constat de défaillance et le début de l'intervention,

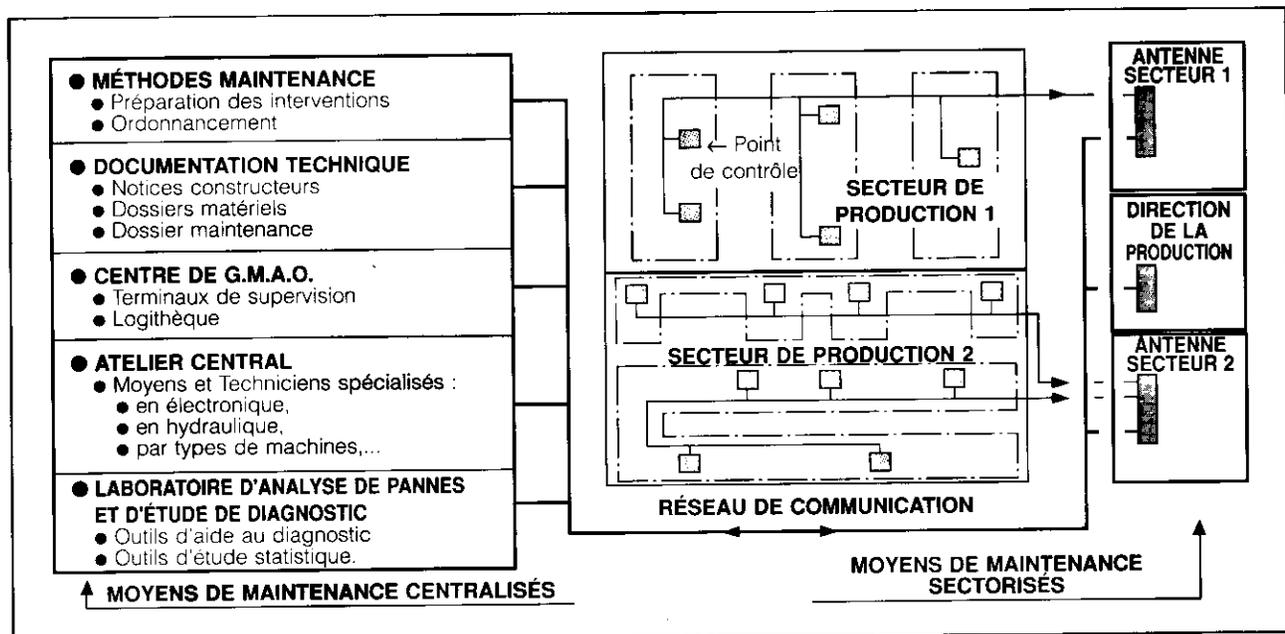
- **meilleure spécialisation des techniciens** de la maintenance avec les machines de leur secteur.

- **meilleure saisie des coûts de maintenance** pour leur affectation aux postes de travail,...

Cette sectorisation est facilitée par l'**outil informatique** dont le **réseau de communication** permet de **mettre en œuvre conjointement des moyens centralisés et des moyens sectorisés** (fig. 4b).



4a. Quelques relations du Service Maintenance avec les autres services de l'entreprise.



4b. Position du service maintenance dans l'entreprise.



De l'intérêt de l'automatisation pour améliorer la compétitivité de l'entreprise

# 2 COMPÉTITIVITÉ DE L'ENTREPRISE

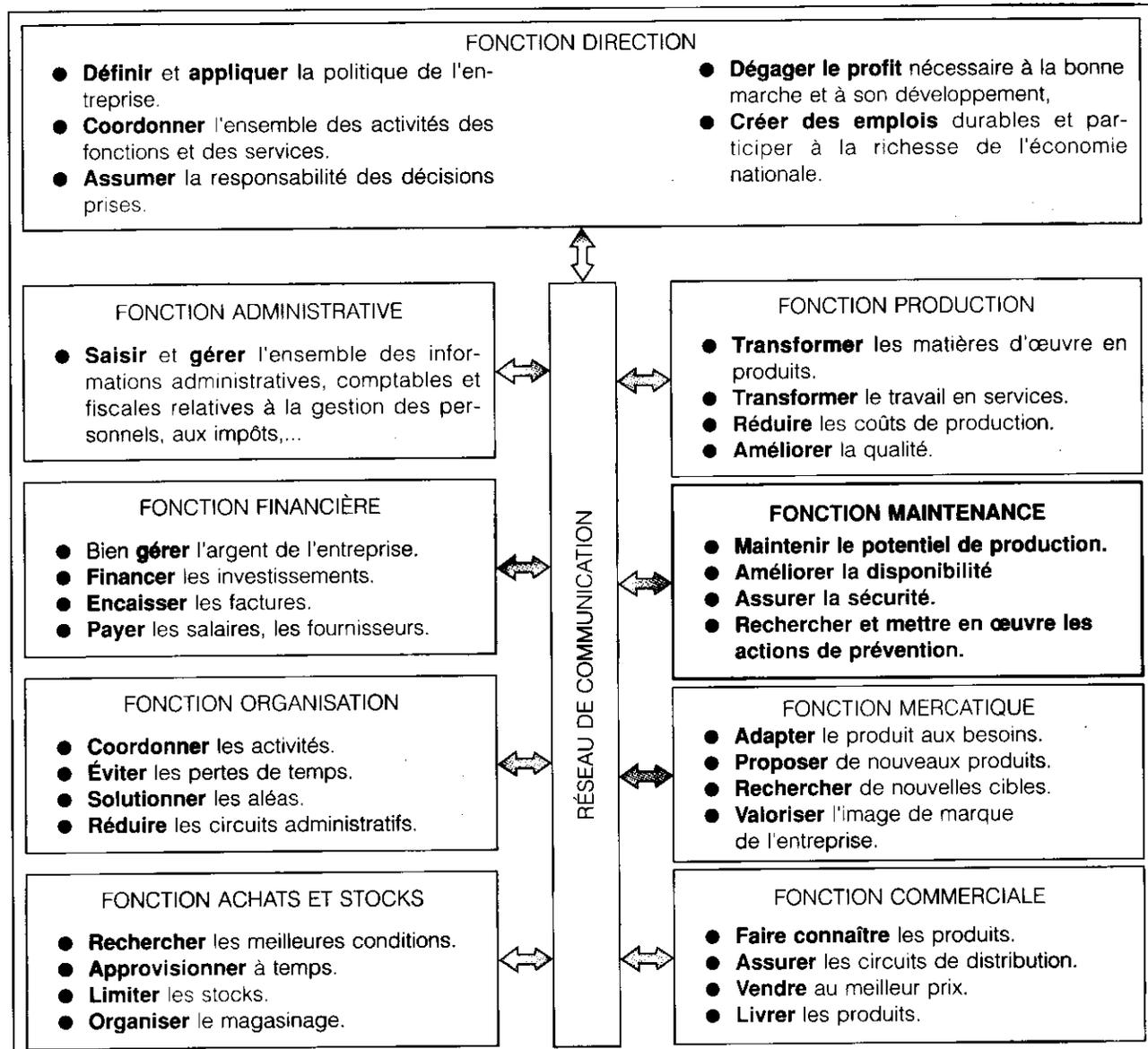
## 1. FONCTIONS DANS L'ENTREPRISE

La finalité d'une entreprise est double :

- au **point de vue économique** : elle investit des capitaux, d'état ou privés, afin de rechercher un **profit maximal** dans la production de biens ou la prestation de services.
- au **point de vue social** : elle facilite l'accèsion de couches sociales de plus en plus larges à plus de :

- **sécurité,**
- **de bien-être,**
- **d'épanouissement individuel et collectif.**

Pour satisfaire ce double objectif une **entreprise est un système**, c'est-à-dire un tout organisé d'un ensemble de sous-systèmes en interrelation, chacun de ces derniers pouvant être assimilé à l'une des **fonctions de l'entreprise** (fig. 1a).



1a. Fonctions dans l'entreprise.

2. COM  
DE I

● NOT  
ET E

La prod  
produir  
plus po  
qualité  
faible p

Dans un  
peut s ex

Product

Dans un  
l'offre e  
nees ca  
ser, des  
concurr

Leur pro  
plus imp  
de leur a  
Exemple

● La  
rance p  
instalati

● La  
des éq  
triques a

des éq

● CO

L'objec  
besoin  
Ce dem  
besoin s

● I  
● e  
● le

Aussi la  
sa cap  
concurr  
dans le  
implicite

La notio  
exprimé

Les cor

● I  
● L

## 2. COMPOSANTES DE LA COMPÉTITIVITÉ

### ● NOTIONS DE PRODUCTIVITÉ ET DE COMPÉTITIVITÉ

La productivité d'une entreprise est sa capacité à produire et/ou vendre dans un délai donné, le plus possible de produits ou de services d'une qualité spécifiée, avec un coût de revient le plus faible possible.

Dans un délai donné la productivité d'une entreprise peut s'exprimer par le ratio :

$$\text{Productivité} = \frac{\text{Quantité de produits ou de services de qualité}}{\text{Coût de revient}}$$

Dans une économie de marché régie par la loi de l'offre et de la demande les entreprises concernées par une même famille de produits ou de services sont placées dans une situation de concurrence.

Leur productivité respective est l'un des facteurs les plus importants de leur compétitivité, c'est-à-dire de leur aptitude à résister à la concurrence.

Exemples :

- La compétitivité de deux entreprises de maintenance, prestataires de services dans l'entretien des installations thermiques industrielles, dépend :

- de la rapidité de leur intervention,
- de la qualité et de la durée des travaux,
- du coût de revient de ces derniers.

- La compétitivité des entreprises qui fabriquent des équipements de démarrage de moteurs électriques dépend :

- de la rapidité de leur livraison,
- de la qualité et en particulier de la fiabilité des équipements fabriqués,
- du coût de revient de ces derniers.

### ● COMPOSANTES DE LA COMPÉTITIVITÉ

L'objectif d'une entreprise est de satisfaire le besoin exprimé ou implicite d'un utilisateur.

Ce dernier apprécie le degré de satisfaction de son besoin suivant trois points de vue :

- l'usage,
- le plaisir ou l'estime,
- le coût.

Aussi la compétitivité de l'entreprise se traduit par sa capacité à fournir sur des marchés fortement concurrentiels, des produits compétitifs et innovants dans leur aptitude à satisfaire le besoin exprimé ou implicite des utilisateurs.

La notion de besoin implicite recouvre le besoin non exprimé actuel ou futur.

Les composantes de la compétitivité sont :

- l'innovation,
- le coût,
- la qualité,
- le délai.

### ● INNOVATION

C'est une composante importante de la compétitivité. Sans innovation dans la gamme de ses produits ou dans la liste de ses services, une entreprise ne peut prospérer.

Cette innovation doit apporter un progrès dans la satisfaction d'un besoin. Dans la maintenance elle peut être :

- à dominante scientifique et technique ;

Exemples :

- application des phénomènes de la piézo-électricité pour l'étude des vibrations sur les matériels,
- exploitation des analyses thermographiques à infrarouge pour la détection des points chauds sur les matériels.

- à dominante organisationnelle ;

Exemple :

- mise en œuvre de progiciels pour la gestion de la maintenance, des stocks de pièces de rechange, des nomenclatures des matériels,...

### ● QUALITÉ

La qualité de ses produits ou de ses services représente, pour une entreprise, un moyen économique très important.

En effet les coûts de la non-qualité, pouvant atteindre jusqu'à 30 % du chiffre d'affaires, ont une conséquence directe sur la compétitivité de l'entreprise.

### ● COÛT

Pour un besoin exprimé en terme de produit ou de service un utilisateur va s'efforcer de l'acquiescer avec les meilleures conditions de prix. Ces dernières ne peuvent être offertes que par des entreprises qui ont resserré leurs coûts de production et qui peuvent ainsi dégager une marge suffisante pour se moderniser, investir et devenir ainsi plus compétitives.

### ● DÉLAI

La commande d'un produit ou d'un service se fait toujours avec l'expression d'un délai de livraison ou de réalisation.

Le non-respect de ce délai par l'entreprise fournisseur entraîne :

- une dégradation de son image de marque du fait de la perte de confiance des utilisateurs potentiels,
  - une perte d'argent jusqu'à des risques de pénalités pour retard.
- Autant de conséquences négatives sur sa compétitivité.

### 3. GESTION DU CYCLE DE VIE DES PRODUITS OU DES SERVICES

La compétitivité d'une entreprise dépend de sa capacité à bien gérer la vie de ses produits ou de ses services.

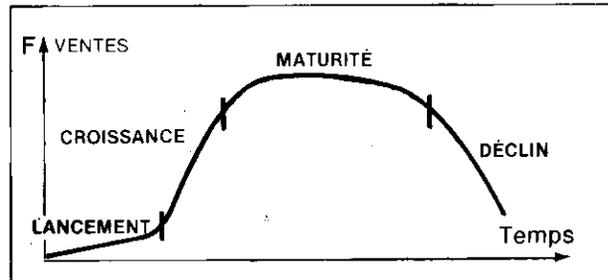
Ces derniers suivent une courbe d'évolution, ou **cycle de vie**, qui présente quatre grandes phases (fig. 3a).

- le **démarrage** ou **lancement** du produit sur le marché,
- la **croissance des ventes** ou phase d'expansion,
- la **maturité** avec le plafonnement des ventes,
- le **déclin** avec leur régression.

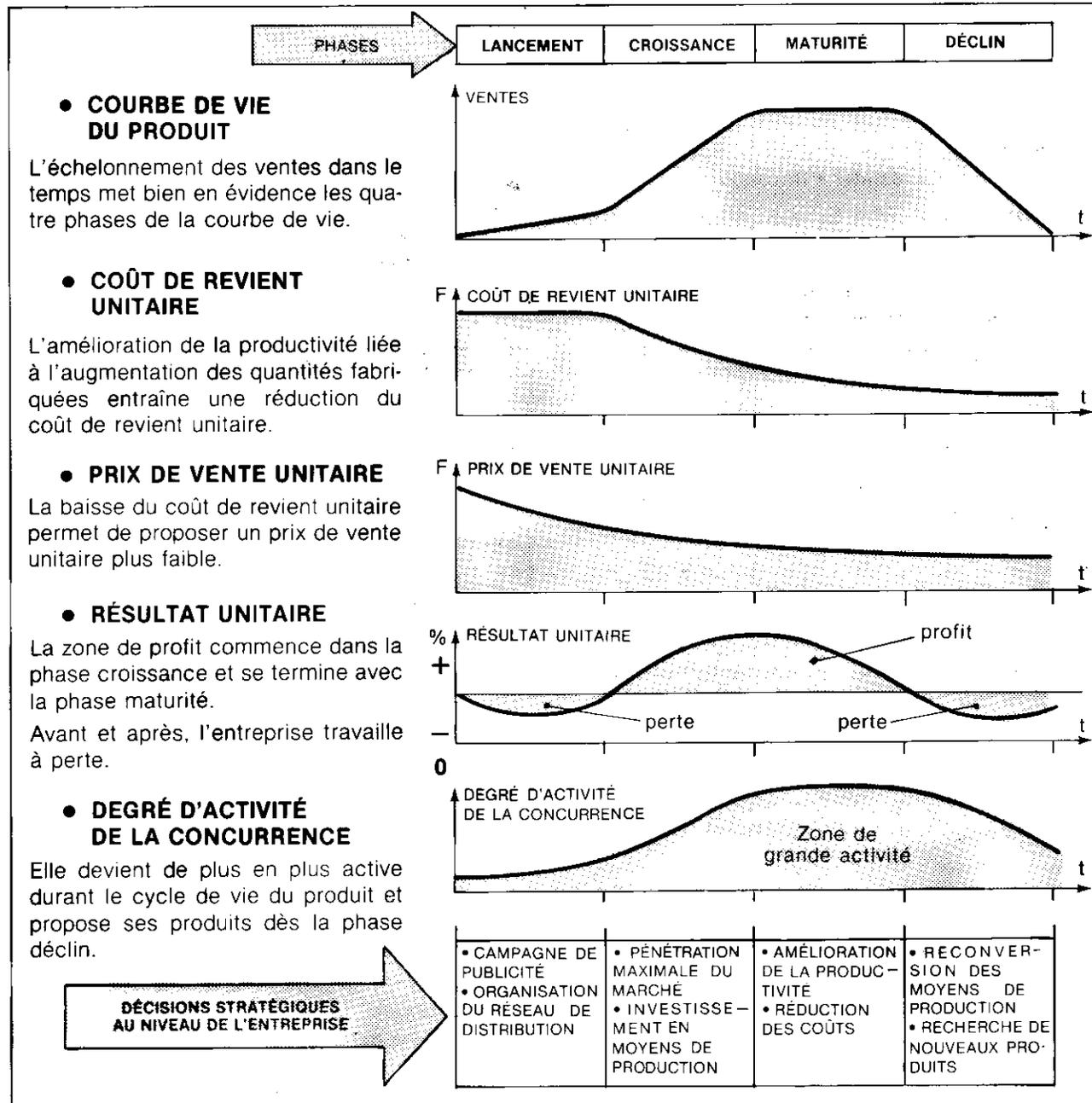
La durée d'un cycle de vie est variable.

- Exemples :
- quelques mois pour un vidéo-clip,
  - quelques années pour un vélomoteur,
  - quelques décennies pour un avion.

La fig. 3b illustre la prise en compte par l'entreprise du cycle de vie d'un produit et propose les décisions qui rendent optimale la gestion.



3a. Les quatre phases du cycle de vie d'un produit.



3b. Exemple de gestion d'un produit en fonction de son cycle de vie.

4. FA  
C  
L'

L'auto  
vice de  
d'un p  
E a co  
ameio

●  
●  
●  
●  
●

AM

● Re  
●  
●  
●

● Am  
●  
●

AM  
DE

● Su  
●  
●  
●

● Am  
●  
●

AU

● Dan  
●  
●  
●

●  
●  
●

● Ac  
● Am

AU  
DE

● Am  
●  
●

● Co  
● Dis  
pro

● Sin

●  
●  
●

4a. Av

#### 4. FACTEUR D'AMÉLIORATION DE LA COMPÉTITIVITÉ D'UNE ENTREPRISE : L'AUTOMATISATION INDUSTRIELLE

L'automatisation industrielle est la mise en service de moyens automatiques pour la réalisation d'un processus de production.

Elle contribue à la compétitivité d'une entreprise en améliorant (fig. 4a) :

- le processus de production,
- les produits fabriqués.

Suivant sa complexité l'automatisation peut :

- se limiter au contrôle et à la gestion de certaines grandeurs techniques ou économiques représentatives d'un système ;

Exemple : Régulation en température d'un four.

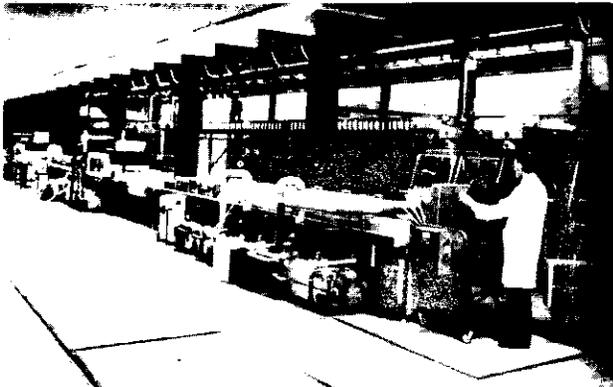
- assurer pour une machine le traitement de l'ensemble des données techniques et des actions qui lui résultent,

Exemple : Robot de manutention.

- intégrer au niveau d'un atelier ou d'une usine l'ensemble des données techniques et économiques à des fins de gestion et d'exploitation d'un nombre important de moyens de production.

Exemple : Ligne de fabrication d'automobiles.

SYSTÈME ET PROCESSUS DE PRODUCTION	OBJECTIFS DE PRODUCTION ET PRODUITS
<p><b>AMÉLIORER LA PRODUCTIVITÉ DE L'ENTREPRISE</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Réduire les coûts de production :           <ul style="list-style-type: none"> <li>● main-d'œuvre</li> <li>● matière</li> <li>● énergie</li> </ul> </li> <li>● Améliorer la <b>qualité</b> de la production :           <ul style="list-style-type: none"> <li>● réduction des retouches, des rebuts</li> <li>● meilleures performances du produit.</li> </ul> </li> </ul> <p><b>AMÉLIORER LES CONDITIONS DE TRAVAIL DU PERSONNEL</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Supprimer la <b>pénibilité</b> :           <ul style="list-style-type: none"> <li>● physique : manutentions de charges</li> <li>● psychique : risques élevés</li> <li>● santé : produits dangereux</li> </ul> </li> <li>● Améliorer la <b>sécurité</b> :           <ul style="list-style-type: none"> <li>● meilleure protection des machines</li> <li>● contrôle et protection en ambiance explosive.</li> </ul> </li> </ul> <p><b>AUGMENTER LA PRODUCTION</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Diminuer les <b>en-cours de fabrication</b></li> <li>● Améliorer la <b>flexibilité</b> du système de production           <ul style="list-style-type: none"> <li>● changement rapide de fabrication</li> <li>● augmentation des lots de pièces d'une même famille</li> </ul> </li> </ul> <p><b>AMÉLIORER LA DISPONIBILITÉ DES PRODUITS</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Adapter les <b>flux de production</b> aux besoins des clients</li> <li>● Améliorer la <b>distribution des produits</b></li> </ul> <p><b>AUGMENTER LA DISPONIBILITÉ DES MOYENS DE PRODUCTION</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Améliorer la <b>maintenabilité</b> :           <ul style="list-style-type: none"> <li>● auto-tests</li> <li>● télé-maintenance</li> </ul> </li> </ul> <p><b>INTÉGRER GESTION ET PRODUCTION</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Contrôler le <b>flux de production</b></li> <li>● Disposer de <b>données technico-économiques</b> sur la production</li> <li>● Simuler des <b>programmes de production</b></li> </ul> <p><b>SUPLÉER L'HOMME DANS DES SITUATIONS DE CONDUITE DANGEREUSES</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Domaines spacial, nucléaire</li> <li>● Systèmes immergés.</li> </ul>	<p><b>ADAPTER LE PRODUIT AU BESOIN</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Assurer la conformité du produit avec les spécifications du <b>Cahier des Charges Fonctionnel</b></li> </ul> <p><b>ADAPTER LE PRODUIT AUX DONNÉES ÉCONOMIQUES DU MARCHÉ</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Maintenir le <b>coût de revient total</b> compatible avec les clauses économiques de la commande</li> <li>● Assurer un <b>prix de vente</b> compétitif par rapport à la concurrence</li> </ul> <p><b>AMÉLIORER LA FIABILITÉ DU PRODUIT</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Maintenir la <b>qualité</b> du produit dans le <b>temps</b></li> <li>● Réaliser un produit qui accomplisse la <b>fonction</b> requise, dans des <b>conditions spécifiées</b>, pendant une <b>durée donnée</b>.</li> </ul> <p><b>DÉVELOPPER L'INNOVATION</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Améliorer les produits existants</li> <li>● Créer de nouveaux produits</li> </ul> <p><b>ÉTUDIER DE NOUVEAUX MARCHÉS</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Exploiter rapidement les <b>résultats d'enquêtes</b> et de sondages</li> <li>● Simuler de <b>nouveaux marchés</b></li> </ul> <div data-bbox="878 1493 1354 1969" data-label="Image"> </div> <p>Tête de perçage automatisée pour circuits imprimés.</p>



Processus de production en continu pour la gravure du cuivre des circuits imprimés.

# 3

## PROCESSUS DE PRODUCTION

### 1. FONCTION ET SYSTÈME

#### ● NOTION DE FONCTION

Une fonction regroupe l'ensemble des activités qui concourent à la satisfaction d'un même objectif bien défini.

Exemples :

- **Fonction approvisionner** qui doit :
  - rechercher les conditions les plus économiques pour satisfaire les besoins,
  - approvisionner à temps,
  - limiter les stocks,
  - organiser le magasinage.
- **Fonction maintenance** qui doit :
  - maintenir le potentiel de production,
  - améliorer la disponibilité,
  - assurer la sécurité.

#### ● NOTION DE SYSTÈME

Un système est un ensemble organisé de ressources humaines et matérielles nécessaires pour la satisfaction d'une ou de plusieurs fonctions.

Exemple :

Le **système commercial** regroupe la **fonction vente** et la **fonction mercatique** avec les ressources humaines et matérielles nécessaires à la réalisation de leurs activités.

#### ● SYSTÈME DE PRODUCTION

Le **système de production** est l'ensemble organisé des ressources humaines et matérielles pour assurer les activités des fonctions :

- **approvisionnement,**
- **fabrication,**
- et parfois **conception.**

Le système de production est avec :

- le système administratif et financier,
- et le système commercial,

une des composantes du **système entreprise.**

Un système de production :

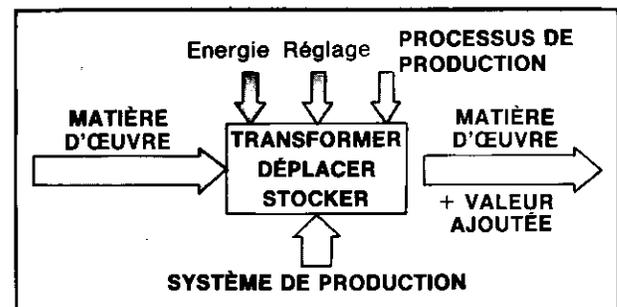
- transforme,
- déplace,
- stocke

de la matière d'œuvre pour lui conférer une certaine valeur ajoutée.

### 2. PROCESSUS DE PRODUCTION

Un **processus de production** est l'ensemble des **opérations d'élaboration** d'un produit, selon un procédé déterminé, au moyen d'outils de traitement et de transformation du système de production.

Le processus de production complète le système de production en spécifiant la **succession des activités**, jugées optimales, pour donner de la **valeur ajoutée** à la matière d'œuvre (fig. 2a).



2a. Représentation fonctionnelle d'un système de production

#### ● CLASSIFICATION DES PROCESSUS DE PRODUCTION

Les critères les plus importants pour la détermination d'un processus de production sont :

- la **quantité** de produits à fabriquer,
- la **complexité** du produit,
- la nature de la **matière d'œuvre.**

## ● PROCESSUS DE PRODUCTION DU TYPE CONTINU

Le processus de production est celui :

- des raffineries,
- des industries chimiques (fig. 2b),
- des aciéries,
- des centrales de production d'énergie,
- des cimenteries,
- des industries agro-alimentaires, ...

dans lesquelles les matières d'œuvre subissent, pendant un **processus pratiquement ininterrompu**, de **profondes modifications chimiques, physiques, physico-chimiques ou biologiques**.

## ● PROCESSUS DE PRODUCTION DU TYPE DISCONTINU

Le processus de production est celui :

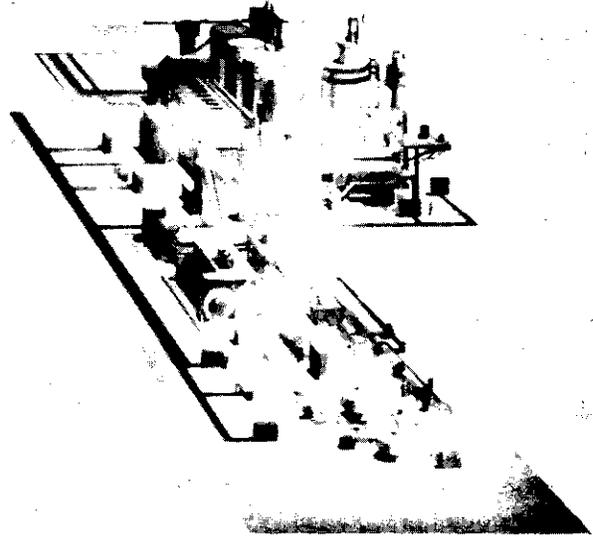
- des industries automobiles,
- des industries de l'habillement,
- des usines d'électro-ménager, ...

dans lesquelles les **matières d'œuvre sont transformées en pièces de façon séquentielle** et ensuite **assemblées**, en respectant un **planning** rigoureux de fabrication et d'assemblage.

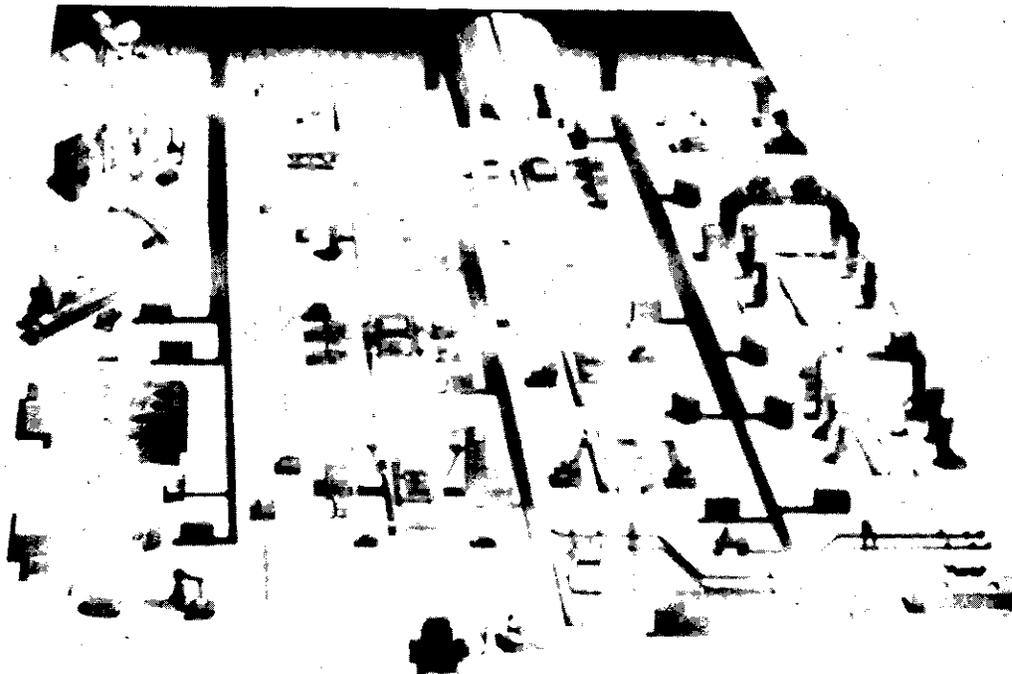
*Exemple (fig. 2c) :*

La figure 2c illustre ce type de processus de production dans l'industrie automobile. A gauche les postes de fabrication des pièces, à droite trois parties de la ligne d'assemblage.

*Sur la ligne d'assemblage les voitures sont personnalisées, en fonction des commandes, par la couleur de la carrosserie, le nombre et la nature des accessoires.*



2b. Exemple de processus de production continu dans l'industrie chimique (*Document Télémécanique*).



2c. Exemple de processus de production discontinu dans l'industrie automobile (*Document Télémécanique*).

Suivant la nature et la complexité des produits, et surtout de la **quantité des produits à fabriquer**, ce type de processus de production discontinu peut se traduire :

- par des **séries successives** de pièces identiques, c'est une **production répétitive et de série**,
- par des **lots de pièces** présentant des analogies de forme et de dimensions, c'est une production également **répétitive mais par familles de pièces**.

Dans ce processus de production les entreprises doivent présenter une bonne **flexibilité**.

**Un système de production, ou un atelier est dit flexible lorsqu'il peut s'adapter rapidement à un grand nombre de fabrications.**

Par la réduction des pertes de temps aux changements de fabrication, **la flexibilité augmente la productivité** de l'entreprise.

### ● PROCESSUS DE PRODUCTION DU TYPE MIXTE

Ce processus de production dit **mixte** est l'association des deux précédents.

C'est le processus de production :

- des industries alimentaires,
- des industries du bâtiment,
- des manufactures de tabac, ...

dans lesquelles les fabrications sont le résultat de **séquences** de processus continus ou discontinus avec, en général, des **stockages intermédiaires**.

**Exemple (fig. 2d) :**

*Dans une industrie alimentaire chaque matière d'œuvre subit une préparation suivant un processus de production continu, est stockée dans une trémie, est éventuellement reprise dans un mélangeur suivant la recette du produit à fabriquer. Le mélange est traité, en continu, sur la ligne de production.*

*Le stockage intermédiaire des matières préparées permet une désynchronisation des opérations entre la zone A et la zone B.*

### ● PROCESSUS DE PRODUCTION TYPE PROJET

C'est le processus de production des entreprises dans lesquelles le **produit très important** :

- est fabriqué à l'**unité**,
- demande des **moyens de production importants**,
- impose des **recherches et des études** par rapport à sa nouveauté et à la complexité des problèmes à résoudre.

C'est le cas, par exemple :

- d'un navire,
- d'un pont reliant le continent avec une île,
- d'un satellite de télécommunications, ...

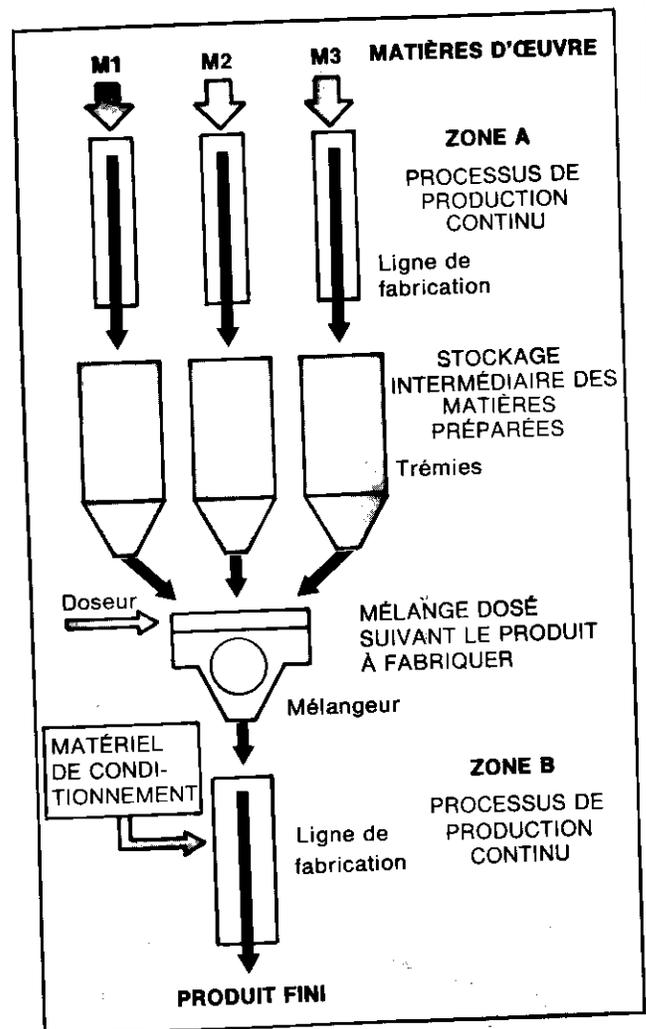
### ● PROCESSUS DE PRODUCTION TYPE ATELIER

C'est le cas des entreprises qui livrent des **produits très diversifiés**, compte tenu des besoins exprimés par les clients :

- maisons individuelles,
- machines-outils spéciales,
- équipements particuliers de télécommunications,

et qui doivent présenter une **grande souplesse d'adaptation**.

Ce processus de production existe dans les **entreprises artisanales** qui travaillent à la commande pour satisfaire chaque client.



2d. Exemple de processus de fabrication mixte.

## GESTION DU FLUX DE PRODUCTION

Les différents systèmes de production génèrent entre les postes de travail concernés un **flux physique de produits en cours de fabrication**.

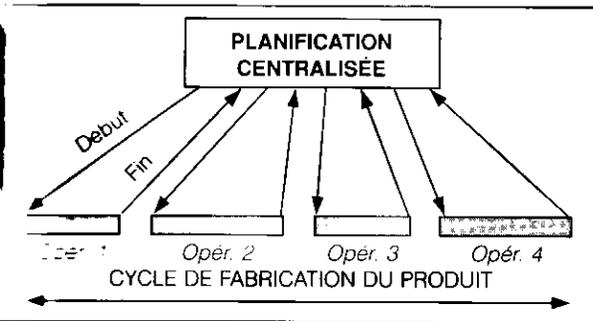
Dans le cas d'un processus de production discontinu la recherche de l'écoulement optimal de ces fabrications revient à **réduire au maximum les stocks intermédiaires, ou stocks tampons**, entre les postes de travail.

En effet ces en-cours de fabrication coûtent cher, occupent de la place, risquent des détériorations.

L'objectif d'amélioration de l'écoulement du flux de production ne peut être atteint que par une **planification rigoureuse** des opérations de fabrication.

### ● PLANIFICATION CENTRALISÉE

Dans cette méthode toutes les opérations sont **planifiées**, avec une date prévisionnelle de début et de fin, par un **planning centralisé** (fig. 3a).

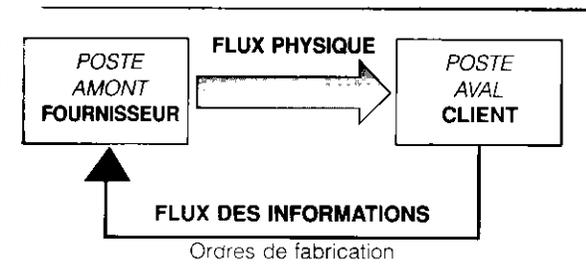


3a. Principe de la planification centralisée.

Cette méthode qui est une planification complète de toutes les opérations de tous les composants d'un produit devient rapidement complexe et demande de gros traitements informatiques.

### ● PLANIFICATION DU TYPE JUSTE À TEMPS

Dans cette méthode ne sont planifiées que les **opérations finales** de fabrication ou d'assemblage. Toutes les autres opérations ne sont déclenchées, à un poste donné, que par rapport aux **besoins du poste situé en aval**.



3b. Principe de la planification JUSTE À TEMPS.

La **méthode JUSTE À TEMPS** revient à ne fabriquer à un instant donné que ce qui est demandé, dans la quantité spécifiée. Elle se traduit par une production à **flux tiré** ou à **flux tendu**.

Chaque poste de travail est à la fois :

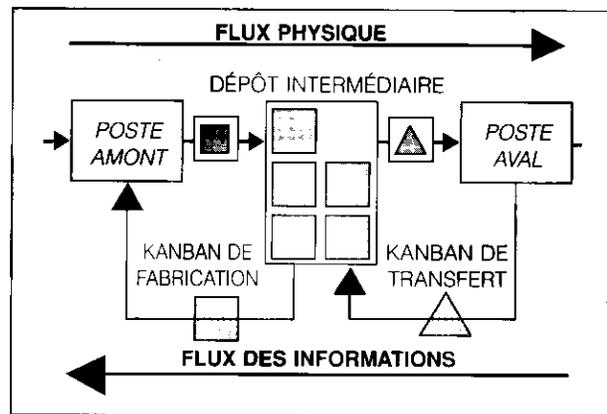
- le fournisseur du poste aval,
- et le client du poste amont.

### ● EXEMPLE DE JUSTE À TEMPS : LA MÉTHODE KANBAN

Cette méthode a été mise au point chez *Toyota* avec le concours de *Taiichi OHNO*, à partir de 1958. Ce dernier avait observé que dans les supermarchés, les employés renouvelaient sur les présentoirs, les denrées au fur et à mesure de la demande.

Dans la méthode, « Kanban » désigne *étiquette*, et deux étiquettes sont associées à la gestion du lot de pièces à traiter :

- le **kanban de production** qui regroupe les informations d'identification du lot et les instructions de fabrication,
- le **kanban de transfert** qui regroupe, toujours les informations d'identification du lot, avec les instructions de transport (fig. 3c).



3c. Principe de la méthode KANBAN.

Lorsque le poste aval utilise un conteneur de pièces il en retire le kanban de transfert qu'il place sur le planning du dépôt intermédiaire.

Le manutentionnaire va alors chercher un conteneur sur l'aire de stockage du poste amont. Il en retire le kanban de production qu'il place sur le planning à kanbans du poste amont. Arrivé au dépôt intermédiaire il fixe un kanban de transfert et achemine le conteneur sur l'aire de stockage du poste aval.

En fait en remontant le processus de production on constate que les **kanbans de transfert sont échangés en kanbans de production**. C'est de poste à poste, de l'**aval vers l'amont** une **réaction en chaîne** qui répond bien à l'objectif du juste à temps.

# 4

## LA QUALITÉ

### 1. JUSTIFICATION DE LA QUALITÉ

#### ● LE CONCEPT QUALITÉ

Les industriels, les artisans, les commerçants aiment dire que leurs clients sont satisfaits.

En fait la **satisfaction** de ces clients, utilisateurs de produits, se justifie par la constatation que ces produits présentent une **bonne aptitude à l'usage et à l'emploi**.

Chez un utilisateur cette satisfaction dépend des **caractéristiques techniques du produit** mais également d'autres éléments tels que :

- la disponibilité et la compétence des services après-vente,
- la simplicité de la maintenance,
- la rapidité de la livraison,
- le faible coût global de possession qui regroupe pour l'utilisateur le coût d'achat et l'ensemble des coûts liés à l'utilisation du produit et à son entretien.

Pour un produit donné la **qualité s'apprécie plus en fonction des services qu'il rend à l'utilisateur que par rapport à ses performances.**

Exemples :

Pour un utilisateur la qualité :

- d'une voiture n'est pas uniquement sa vitesse de pointe,
- d'un réfrigérateur n'est pas uniquement la valeur de la température minimale dans l'armoire,
- d'une chaîne haute-fidélité n'est pas uniquement la puissance maximale dans les hauts-parleurs.

En conclusion (suivant NF X 50-120) :

**La qualité est l'ensemble des propriétés et caractéristiques d'un produit ou service qui lui confèrent l'aptitude à satisfaire des besoins exprimés ou implicites.**

Il peut être intéressant de distinguer :

- les **caractéristiques d'état et les performances** qui sont connues au moment de l'achat,
- et les **caractéristiques d'usage**, qui ne peuvent s'apprécier qu'avec le temps, telles que : la sécurité, la fiabilité, la durabilité, ...

#### ● LES ENJEUX DE LA QUALITÉ

La qualité s'impose dans tous les échanges de biens et de services et **doit être présente dans toutes les activités économiques.**

Ces préoccupations de qualité à objectif économique répondent à quatre enjeux :

##### ● La sécurité des personnes et des biens.

Cet impératif de sécurité doit être présent partout à la fois :

- dans les secteurs à risque : aérospatial, nucléaire, chimique, ...
- mais également dans tous les biens de grande consommation : jouets, produits d'entretien, appareils électro-ménagers, ...

##### ● Le maintien et le développement des ventes de l'entreprise.

Le maintien d'une bonne qualité fidélise la clientèle.

L'amélioration de la qualité et l'**innovation** accroissent la compétitivité de l'entreprise et permettent la conquête de nouveaux marchés.

##### ● La réduction des coûts industriels.

La suppression de tous les coûts liés à la non-qualité améliore la rentabilité de l'entreprise qui s'engage ainsi sur la voie des « **cinq zéros olympiques** » :

- **zéro défaut** : tous les produits sont conformes aux spécifications requises,
- **zéro délai** : les produits sont livrés au bon moment, ni trop tôt ni trop tard,
- **zéro stock** : à un moment donné les produits fabriqués correspondent aux besoins des clients,
- **zéro panne** : les machines sont disponibles et en bon état pour fabriquer des produits fiables,
- **zéro papier** : aucun document inutile n'est mis en circulation.

##### ● Le développement de la communication.

La recherche de la qualité impose un **dialogue** :

- à l'intérieur de l'entreprise, entre les salariés,
- et à l'extérieur de l'entreprise avec les utilisateurs.

## 2 GESTION DE LA QUALITÉ

### ● QUALITÉ EN CONCEPTION

La qualité en conception se caractérise par la concordance entre les résultats obtenus sur tout produit ou service conforme à sa définition et les besoins des utilisateurs.

Exemples :

- La mauvaise conception d'un aspirateur compliquant le changement du sac à poussières.
- La mauvaise conception d'un moulinet de pêche provoquant souvent la cassure du fil.

Le processus de conception doit être **organisé dans le temps** afin de s'assurer que le besoin sera réalisé dans les **conditions de délai et de coût** spécifiées.

Les phases doivent jalonner la conception :

- la phase d'étude de faisabilité qui doit dégager l'ensemble des concepts envisageables et débattre sur des voies technologiques faisables
- la phase d'avant-projet qui doit choisir toutes les voies technologiques faisables et juger la meilleure,
- la phase projet qui définit et met au point le produit qui concrétise la voie technologique retenue.

### ● QUALITÉ EN RÉALISATION

La qualité en réalisation revient à définir et à appliquer dans le cadre du **plan qualité** relatif au produit, certaines **méthodes de contrôle**.

Une méthode de contrôle doit :

- définir les caractéristiques à surveiller,
- préciser pour chacune d'elles leur niveau et leur plage d'acceptation.

Exemples :

- l'intervalle de tolérance pour une cote de pièce mécanique,
- le niveau de bruit d'un aspirateur,
- la plage de réglage d'un thermostat de four.
- repérer les points de contrôle.

Exemples :

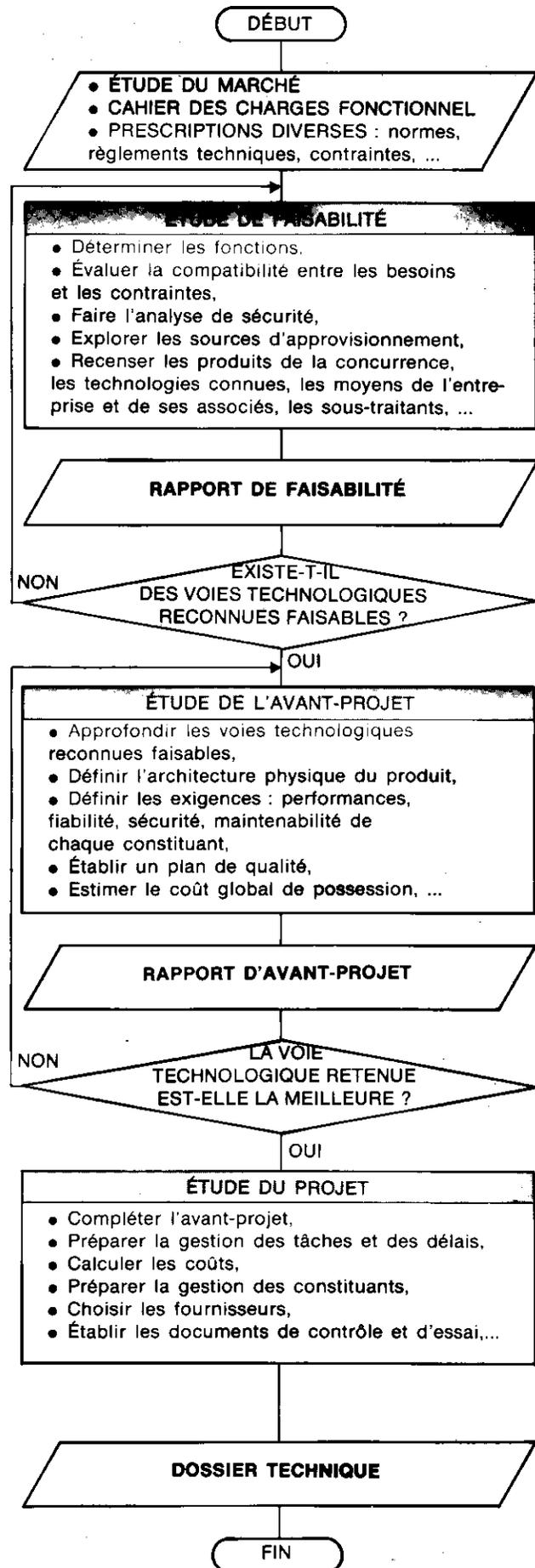
- les points tests sur un circuit électronique,
- l'endroit où le jeu doit être mesuré dans un mécanisme.

- préciser le mode opératoire : contrôle systématique par prélèvements, par échantillonnage, ...

Exemples :

- en aéronautique les pièces sont systématiquement contrôlées.
- vingt boîtes sont prélevées toutes les cinq minutes pour subir un contrôle d'étanchéité, dans une usine de fabrication de boîtes de conserves en fer blanc.
- un échantillon de 700 composants électroniques supporte toutes les opérations de contrôle pour la conception d'un lot de 15 000 composants.

- proposer les documents qui présentent les conditions de déroulement du contrôle et qui servent de support à l'appréciation des résultats (fig. 2a).



2a. Les trois phases de la qualité en conception.

### 3. NON-QUALITÉ

#### ● CONCEPT DE NON-QUALITÉ

La qualité d'un produit est toujours appréciée, en dernier recours, par l'utilisateur.  
Le constructeur peut évaluer la **non-qualité** de son produit en mesurant la **différence, entre le jugement de l'utilisateur et la qualité présumée de sa fourniture.**

**La non-qualité est l'écart global constaté entre la qualité visée et la qualité effectivement obtenue (NF X 50-120).**

Exemples :

- Coût de retour en usine d'une série de voitures pour une défectuosité constatée par les utilisateurs sur le système de direction.
- Coût de retour chez un fournisseur d'un lot de constituants détériorés durant le transport par le manque de solidité de l'emballage.
- Coût des interventions répétées d'une entreprise de maintenance, prestataire de services, qui n'arrive pas à régler durablement une vanne-automatique.

Les causes de non-qualité peuvent être très diversifiées et avoir pour origine :

- la conception,
- la production,
- la distribution,
- l'utilisation... du produit ou du service.

#### ● MESURE DE LA NON-QUALITÉ

**La non-qualité regroupe toutes les dépenses qui ne peuvent être directement affectées à la satisfaction du besoin de l'utilisateur.**

Ces dépenses peuvent se classer en trois catégories :

- les dépenses relatives à des **activités incomplètes ou mal gérées** ce qui crée une insatisfaction, un manque chez l'utilisateur, c'est une **non-qualité par défaut**;

Exemples :

- cahier des charges fonctionnel non conforme à l'expression du besoin,
- finition insuffisante,
- qualité de la prestation plus que moyenne,
- retard à la livraison,
- service après-vente incompetent,...

- les dépenses relatives à des activités qui ne se justifient que pour **pallier aux insuffisances précédentes**, c'est une **non-qualité par palliatif**;

Exemples :

- modification du mode opératoire,
- augmentation des travaux de contrôle,
- mode de livraison rapide mais onéreux,

- généralisation de la garantie pour diminuer l'impact des réclamations,...

- dépenses relatives à des **activités superflues** offertes gratuitement à l'utilisateur, sans que son degré de satisfaction s'en trouve pour autant accru, c'est une **non-qualité par excès**;

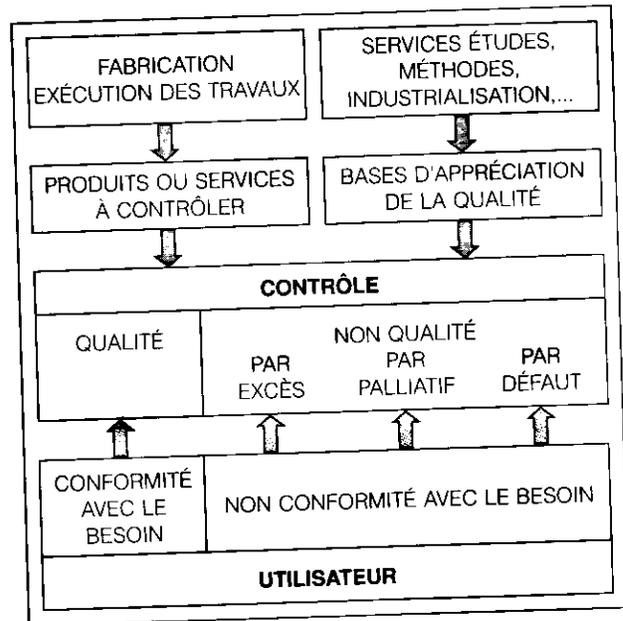
Exemples :

- degré de finition trop poussé;
- degré de performance excessif et inutile;
- notices techniques et commerciales trop luxueuses;
- facturation tardive,...

En fin de fabrication ou d'exécution des travaux la fonction contrôle doit juger de la qualité des produits et des services.

Suivant la conformité au besoin de l'utilisateur la fig. 3a indique les trois cas de non-qualité qui dépendent :

- de la nature et de la sévérité des bases d'appréciation fournies par les services études, méthodes, industrialisation...;
- de la fiabilité des méthodes et des moyens mis en œuvre par le contrôle.



3a. Qualité et non-qualité des produits et des services.

### 4. COÛT DE LA QUALITÉ

#### ● NOTION DE FIABILITÉ

À l'achat d'un produit un utilisateur souhaite que la qualité dure longtemps et que le **produit reste fiable.**

**La fiabilité est le maintien de la qualité dans le temps.**

**C'est l'aptitude d'un dispositif à accomplir une fonction requise, dans des conditions données, pendant une durée donnée.**

### ● COÛT GLOBAL D'UN PRODUIT POUR SON UTILISATEUR

Pour la réalisation d'un produit conforme au besoin est nécessaire d'associer en permanence :

- les paramètres techniques,
- et les impératifs de qualité et de sûreté de fonctionnement, avec leurs **conséquences économiques**, c'est-à-dire leurs **coûts**.

Pour un client il lui faut éventuellement **ajouter à son prix d'achat des frais accessoires** tels que :

- transport,
- installation, montage,
- coût du crédit, ...

Pour obtenir le **coût d'acquisition du produit**.

l'utilisateur du produit ainsi acquis va encore supporter des coûts :

- **coût d'indisponibilité** qui peut se traduire par le fait que coûte la défaillance du produit : aléa de production, coût de la maintenance, remplacement du produit, ...
- **coût d'usage** qui regroupe les charges liées au fonctionnement du produit, à sa dépréciation jusqu'à son obsolescence, ...

Les coûts d'indisponibilité et d'usage représentent le **coût d'utilisation du produit** (fig. 4a).

### ● COMPROMIS COÛT-QUALITÉ

L'obtention d'une bonne qualité passe par des **dépenses et des investissements**.

Dans des secteurs à haut risque, tel l'espace, la qualité n'a pas de prix, il n'en est pas de même dans d'autres secteurs où il est recherché un **compromis coût-qualité**.

Exemples :

- fig. 4b : Les charges liées, à la fiabilité (courbe 1) augmentent lorsque les dépenses engagées pour son amélioration augmentent (courbe 2); la somme des données de ces deux courbes représente le **coût de revient total du couple coût-fiabilité** (courbe 3); le minimum de cette dernière met en évidence une **zone optimale** pour les dépenses et les investissements à faire.

- une entreprise qui fabrique des produits électroniques convient avec son producteur de composants que les premiers seront livrés avec un certain pourcentage de défauts, c'est un **compromis pour un niveau de qualité acceptable (NQA)** qui réduit les coûts de fabrication des composants.

### ● QUALITÉ TOTALE ET CERCLE DE QUALITÉ

Dans une entreprise le coût d'obtention de la qualité regroupe à la fois :

- ce que coûte la mise en conformité des produits ou des services avec le besoin de l'utilisateur,
- ce que coûte éventuellement leur non-qualité.

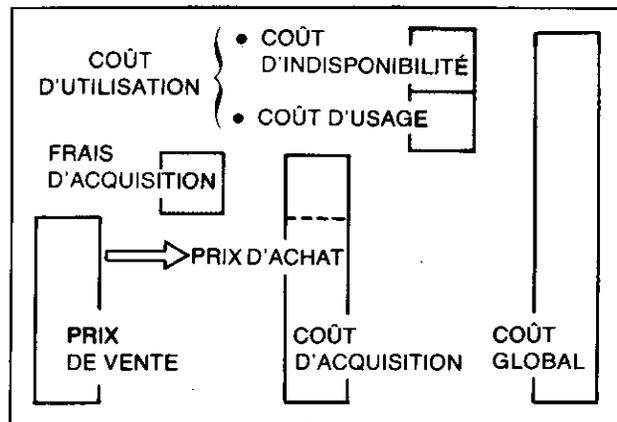
Pour rendre minimale cette somme il est nécessaire que **tous les membres de l'entreprise** participent à cette recherche de qualité suivant une **démarche de qualité totale** (en anglais : *Total Quality Control*). Pour résumer cette démarche il suffit de considérer que dans l'entreprise **chaque membre** est à la fois, un **client et un fournisseur**, qui recherche par son comportement et ses décisions à tendre vers **l'objectif des cinq zéros**.

Cette démarche de qualité totale peut se structurer à partir des **cercles de qualité**. Un **cercle de qualité** est un **groupe permanent de cinq à dix volontaires** appartenant à une même unité de travail (bureau, laboratoire, atelier,...), ou ayant des préoccupations professionnelles communes.

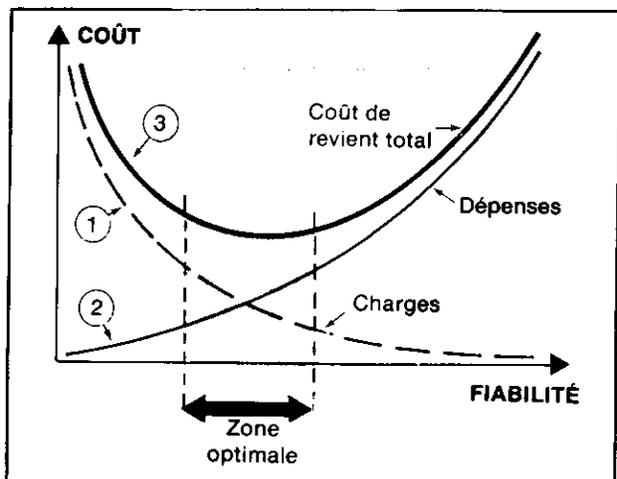
Au cours de leurs réunions ces personnes recherchent :

- une meilleure organisation de leur travail,
- un développement de leur culture professionnelle,
- une amélioration de la qualité de leurs travaux,...

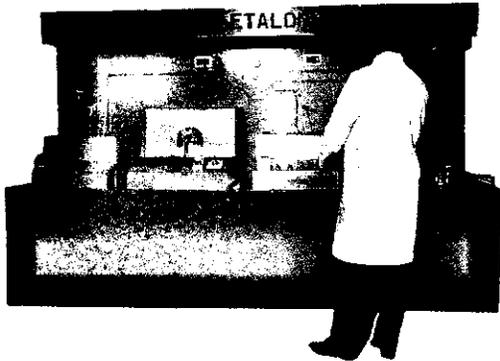
Ces cercles de qualité créent une **dynamique de concertation efficace** sur l'amélioration de la qualité.



4a. Composantes du coût global d'un produit pour son utilisateur.



4b. Coût de revient total du couple coût-qualité.



## 1. CARACTÉRISTIQUES D'UN OUTIL DE LA QUALITÉ

### ● DONNÉES

Les outils de la qualité sont différents au niveau de leur mise en œuvre mais ils présentent tous une caractéristique commune qui est une phase d'étude et d'analyse d'un grand nombre d'informations.

Ces dernières peuvent être relatives :

- au produit,
- au système de production,
- au processus de production,
- aux méthodes de fabrication, de montage, de contrôle, de maintenance,...

Pour une application précise l'efficacité de l'outil de la qualité retenu dépend de la pertinence et de l'exactitude de ces informations qui sont en fait les véritables données d'entrée de l'étude.

### ● TYPES DE DONNÉES

En maintenance ces données peuvent être :

- **numériques à partir :**
  - de résultats de mesures,
    - dimensionnelle pour une pièce,
    - spectrale pour un phénomène vibratoire,
    - électrique pour l'intensité absorbée par un moteur,...
  - de nombres caractéristiques
    - de défauts par période,
    - de pourcentage de disponibilité,
    - de durée d'un temps d'arrêt,...
- **propositionnelles avec l'expression :**
  - des modes de défaillance,
  - des causes de pannes,
  - des contraintes d'environnement d'un système,...

Quel que soit l'outil de la qualité concerné la collecte de ces données doit être organisée.

De la nécessité de disposer de bancs précis pour l'étalonnage des capteurs de température.

# 5

## OUTILS DE LA QUALITÉ

### 2. DIAGRAMME CAUSES ET EFFET

#### ● PRINCIPE

Cet outil de la qualité exploite deux catégories de données :

- une **donnée effet** qui s'exprime par rapport à une **caractéristique de qualité à améliorer et à contrôler**,
- un ensemble de **données causes** dont chacune peut entraîner une **dispersion sur la qualité** de la caractéristique.

Exemples :

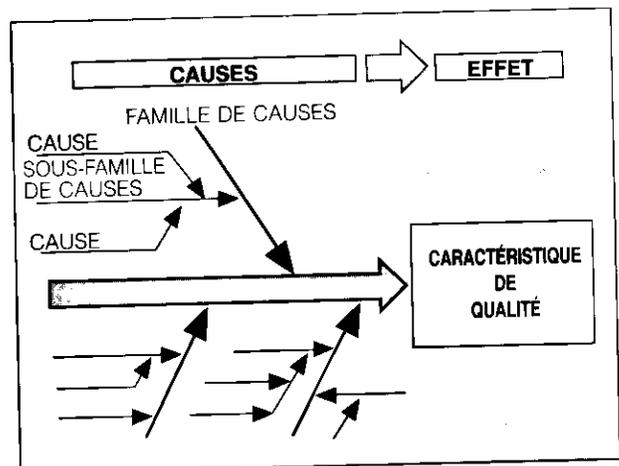
- *Un jeu anormal sur une broche de machine-outil peut entraîner une dispersion sur les dimensions des pièces, d'une même série, usinées sur cette machine-outil.*
- *Un mauvais réglage du dispositif de régulation de la température d'un four peut entraîner une grande dispersion de la valeur de sa température de chauffe.*

Ce diagramme causes et effet est encore désigné par **diagramme ISHIKAWA** du nom du japonais *Kaoru ISHIKAWA* qui l'a proposé, ou par **diagramme en arête de poisson** du fait de sa forme (fig. 2a).

Il représente sous une **forme hiérarchisée :**

- familles de causes,
- sous-familles de causes,
- et causes de rang différent,

**l'ensemble des causes relatives à un même effet.**



2a. Principe du diagramme causes et effet.

● CONSTRUCTION

● DÉFINITION DE LA CARACTÉRISTIQUE DE QUALITÉ

Cette caractéristique doit être bien représentative du problème étudié.

C'est ainsi qu'en maintenance elle peut s'exprimer comme un mode de défaillance puisque ce dernier est l'effet par lequel une défaillance peut être observée.

Exemples :

- Blocage physique ou coincement du plateau.
- Fonctionnement irrégulier du convoyeur.
- Court-circuit électrique dans l'alimentation.

● INVENTAIRE DES CAUSES

Cette recherche doit se faire par un groupe de personnes dans une démarche de **brainstorming** ou « remue-méninges ».

Cette démarche permet d'organiser une **collecte d'idées**, qui après une étude, critique et reformulation pourront devenir des **données**.

● HIÉRARCHISATION DES CAUSES

Les causes doivent être regroupées en **familles** dont le nombre est limité à six pour donner au diagramme toute son efficacité.

Exemples de familles de causes :

- **suivant la méthode dite des « 4M »**
  - Matière,
  - Machine ou outil,
  - Méthodes de travail,
  - Méthodes de mesure
- **suivant la méthode dite des « 5M »** en ajoutant aux quatre précédentes :
  - Milieu
- **ou en fonction du problème traité avec des familles bien spécifiques :**
  - Source d'alimentation en énergie,
  - Partie commande du système,
  - Capteurs et détecteurs.

Les familles peuvent être éclatées en sous-familles en évitant toujours une trop grande complexité du diagramme.

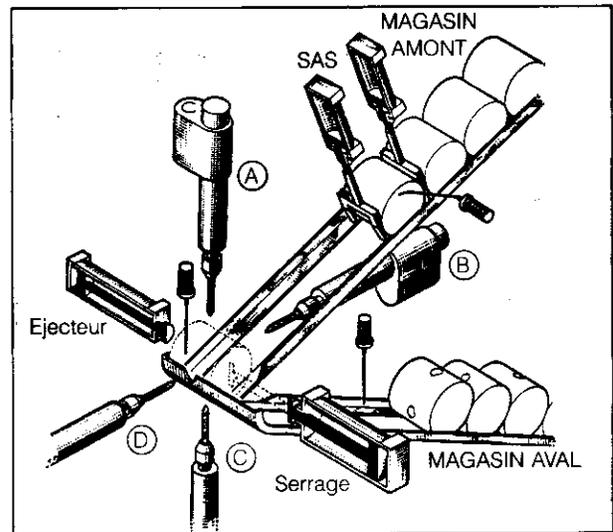
● EXEMPLE D'APPLICATION

Sur le poste automatique de reprise la caractéristique de qualité à améliorer est la conformité du perçage avec les spécifications du dessin de la pièce.

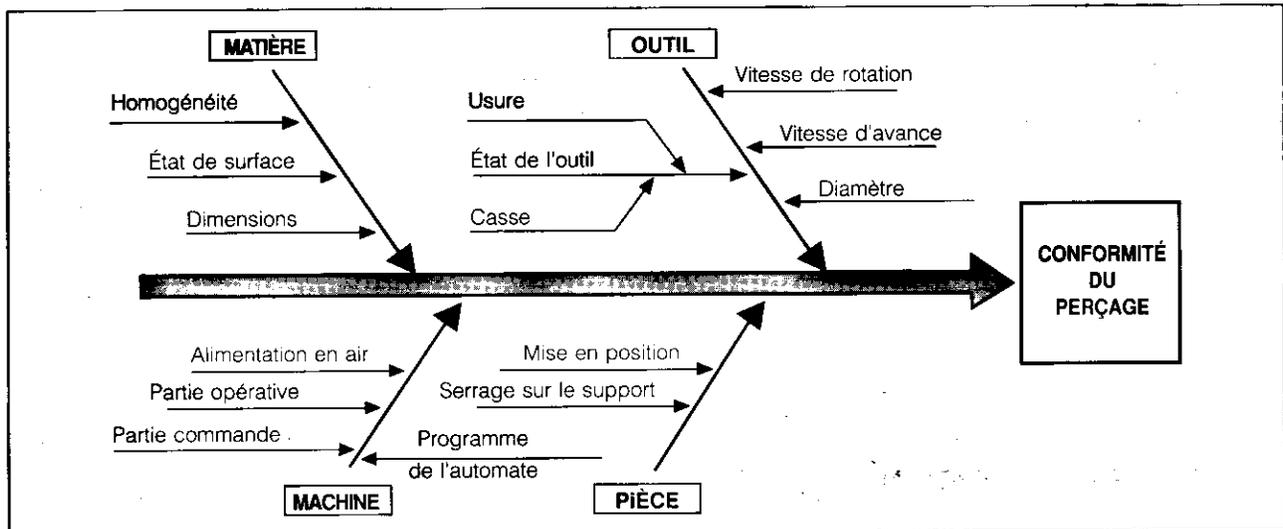
Cette opération est réalisée par quatre unités de perçage pneumatiques **A, B, C** et **D**, après l'alimentation du poste, la mise en position et le serrage de la pièce (fig. 2b).

Les causes susceptibles d'avoir une influence sur cette caractéristique de qualité sont regroupées en quatre familles (fig. 2c) :

- matière,
- machine,
- outil,
- pièce.



2b. Poste automatique de reprise (d'après Télémécanique).



2c. Exemple de diagramme causes et effet.

### 3. MÉTHODE INTERROGATIVE : QUOI ? QUI ? OÙ ? QUAND ? COMMENT ? ET POURQUOI ?

Cette méthode est désignée par **méthode du QQQQC**.

Elle s'applique à toute collecte de données.

#### ● EXEMPLE D'APPLICATION

Application de la **méthode du QQQQC** à un mode de défaillance qui est l'effet par lequel une défaillance est observée (fig. 3a). Cette étude doit permettre une meilleure recherche des causes possibles.

QUESTIONS	CHAMP D'APPLICATION DE LA QUESTION	EXEMPLES DE POINTS À ÉTUDIER
<b>QUOI ET POURQUOI ?</b>	Justification du mode de défaillance constaté	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fréquence d'apparition</li> <li>• Conséquences sur la sécurité des personnes</li> <li>• Conséquences sur la production...</li> </ul>
<b>QUI ET POURQUOI ?</b>	Nature et qualification de l'intervenant apte à le constater	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Qualification professionnelle</li> <li>• Position par rapport à l'entreprise</li> <li>• Spécialité...</li> </ul>
<b>OÙ ET POURQUOI ?</b>	Lieu où le mode de défaillance peut être constaté	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sur la machine</li> <li>• Dans un central de surveillance</li> <li>• Sur un poste d'essai...</li> </ul>
<b>QUAND ET POURQUOI ?</b>	Moment pendant lequel le mode de défaillance peut être constaté	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Phase de démarrage</li> <li>• En fonctionnement</li> <li>• Durand une période de rodage...</li> </ul>
<b>COMMENT ET POURQUOI ?</b>	Méthode de constatation du mode de défaillance	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Par observations</li> <li>• Par mesure</li> <li>• Par dépouillement d'une série de relevés...</li> </ul>

3a. Application de la **méthode du QQQQC** à un mode de défaillance.

### 4. MATRICE DE CLASSEMENT

Une **matrice** est un **tableau à double entrée** qui permet de classer un certain nombre de propositions afin d'en déterminer l'**ordre prioritaire d'étude**.

En maintenance ces propositions peuvent être des causes possibles de défaillance qui correspondent à une collecte d'idées émises dans une séance de brainstorming. Cet inventaire ne précise pas les causes dont l'étude est prioritaire pour diminuer le taux de défaillance. Les décisions concernant les priorités d'études seront prises après avoir utilisé une matrice.

#### ● EXEMPLE D'APPLICATION

Sur le poste automatique de reprise de la fig. 2b un groupe de **six personnes, A à F**, classe les **sept**

**causes de défaillances** relatives à l'outil et à la pièce. Chaque cause est classée par **rang**, variant de 1 à 7, suivant l'importance de la cause à créer la défaillance (fig. 4a).

Les totaux les plus élevés sont :

- au serrage de la vis
- à l'usure de la pièce

orientent les activités de **maintenance** :

- vers l'amélioration du serrage de serrage,
- et le remplacement régulier et périodique des outils toutes les n pièces.

PARTICIPANTS DU GROUPE DE TRAVAIL	CAUSES						
	PIÈCE			OUTIL			
	MISE EN POSITION	SERRAGE SUR SUPPORT	USURE	CALIBRE	VITIFICATION	VITESSE D'AVANCE	DIAMÈTRE
Participant A	4	1	3	2	5	6	7
Participant B	3	2	1	5	4	6	7
Participant C	4	1	2	7	3	5	6
Participant D	2	1	3	7	4	5	6
Participant E	3	2	1	7	4	5	6
Participant F	2	3	1	6	5	4	7
TOTAL	18	10	11	34	25	31	39
<b>CLASSEMENT</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>6</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>7</b>

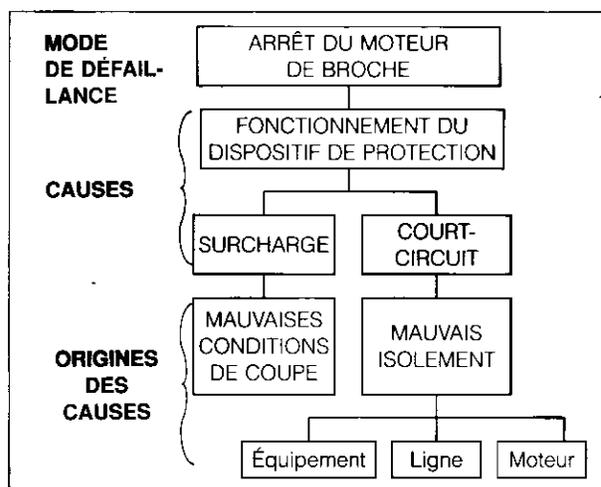
4a. Matrice de classement des causes de défaillance.

### 5. ANALYSE ARBORESCENTE

L'**analyse arborescente** permet d'établir les relations entre les différents éléments d'un problème de qualité. Elle peut traduire la chronologie d'étude des différents éléments et dans ce cas elle est représentative d'une méthode d'intervention.

#### ● EXEMPLE D'APPLICATION

À partir du mode de défaillance, **arrêt du moteur de broche** sur une machine-outil, l'analyse arborescente donne les causes de la défaillance ainsi que leurs origines (fig. 5a).



5a. Analyse arborescente des causes d'une défaillance.

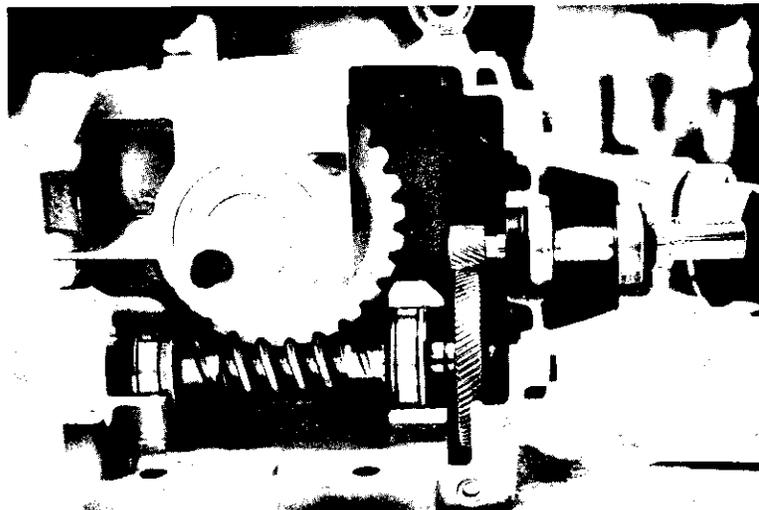
# DEUXIÈME PARTIE

## AGENCEMENT DES FONCTIONS TECHNIQUES MÉCANIQUES DES SYSTÈMES DE PRODUCTION

- ÉTUDE DES LIAISONS MÉCANIQUES
- FONCTION ASSEMBLAGE
- FONCTION GUIDAGE
- FONCTION TRANSMISSION DE PUISSANCE MÉCANIQUE ET TRANSFORMATION DE MOUVEMENTS
- FONCTION ÉTANCHÉITÉ

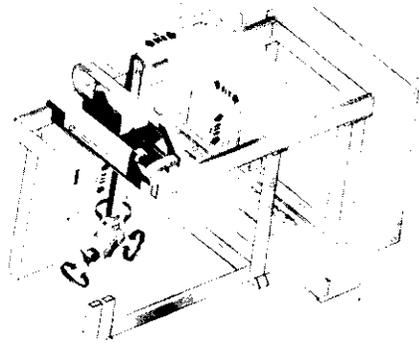
Les contenus proposés dans cette deuxième partie représentent les **ressources nécessaires** à l'acquisition des **savoirs et des savoir-faire technologiques** de la maintenance par un développement progressif des capacités :

- d'identifier un **type de liaison mécanique** ;
- de **représenter** un mécanisme simple par un **schéma cinématique** ;
- de justifier un **type d'assemblage** ;
- de respecter une **méthode d'assemblage** préétablie ;
- de justifier un **type de guidage** ;
- de respecter une **méthode de montage de roulement** ;
- d'identifier un **mode de transmission de puissance mécanique** ;
- d'identifier un **mode de transformation de mouvements** ;
- de réaliser une **étanchéité**.



Complexité des chaînes cinématiques des Systèmes Mécaniques de Production

Des axes de translation et de rotation.

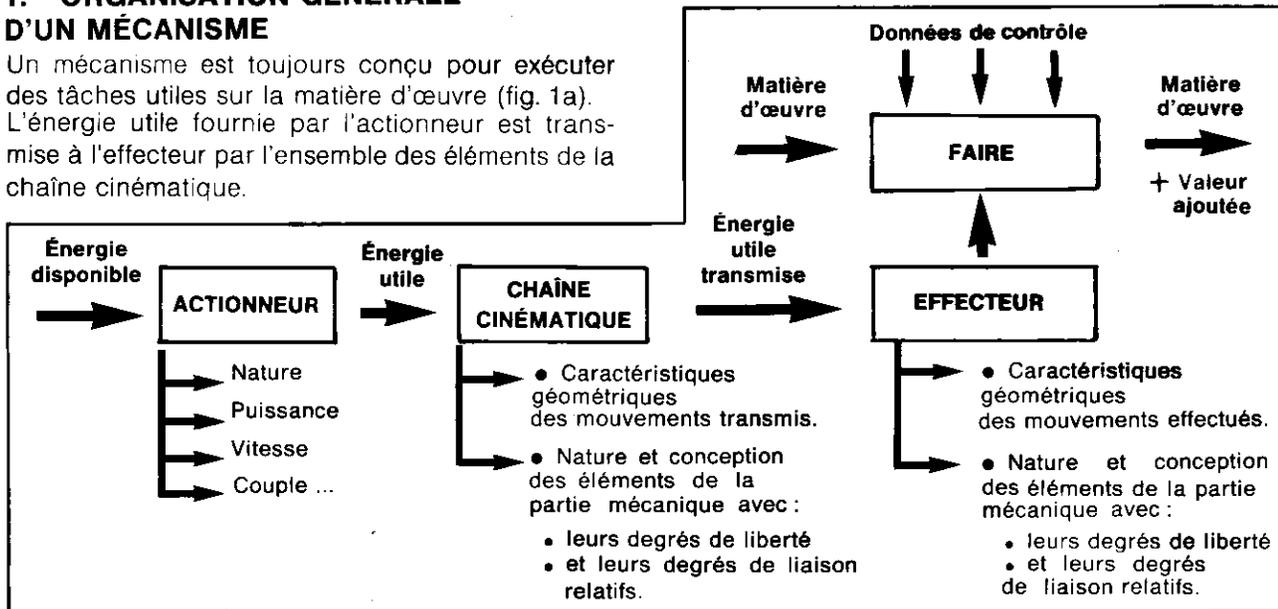


# 6 ÉTUDE DES LIAISONS MÉCANIQUES

La conception de l'effecteur dépend de la nature des effets utiles à exécuter sur la matière d'œuvre pour lui conférer de la valeur ajoutée.

## 1. ORGANISATION GÉNÉRALE D'UN MÉCANISME

Un mécanisme est toujours conçu pour exécuter des tâches utiles sur la matière d'œuvre (fig. 1a). L'énergie utile fournie par l'actionneur est transmise à l'effecteur par l'ensemble des éléments de la chaîne cinématique.



1a. Organisation générale d'un mécanisme.

## 2. COMMENT ÉTUDIER UN MÉCANISME

Pour remplir correctement les différentes fonctions techniques d'un mécanisme, les pièces qui le constituent doivent être assemblées en respectant certaines conditions qui déterminent leurs possibilités de mouvements relatifs, c'est-à-dire leurs degrés de liberté.

Étudier un mécanisme revient à étudier les liaisons relatives des pièces qui le constituent.

### ● CARACTÉRISTIQUES D'UNE LIAISON

Une **pièce libre** dans tous ses déplacements est une pièce qui n'a **aucune liaison** avec une autre pièce.

Dans ce cas elle peut se déplacer (fig. 2a) :

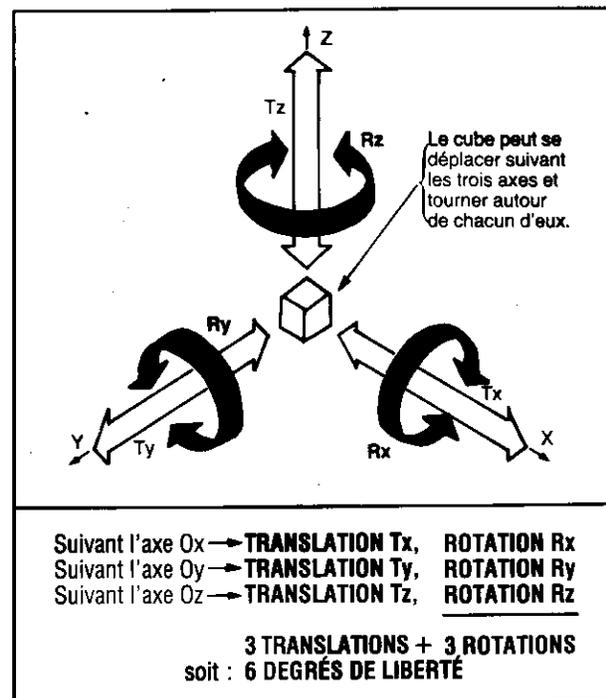
- par **translation** suivant **trois axes**,
  - par **rotation** autour de chacun de ces axes,
- et ce déplacement peut se faire dans les deux sens.

**Cette pièce a six degrés de liberté.**

Définir la **fonction technique liaison** entre deux pièces revient à préciser, pour un type de liaison donné, le **nombre de degrés de liberté** possibles entre les deux pièces.

A la limite, deux pièces sans **aucun degré de liberté** sont liées temporairement ou définitivement par **six degrés de liaison**, chacun de ces six degrés de liaison s'étant substitué à un degré de liberté.

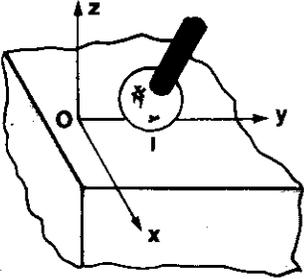
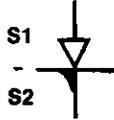
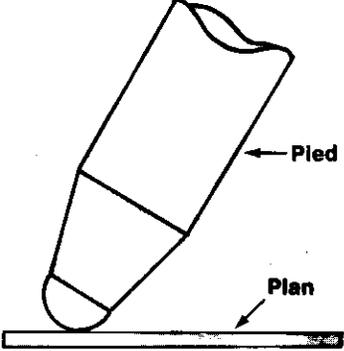
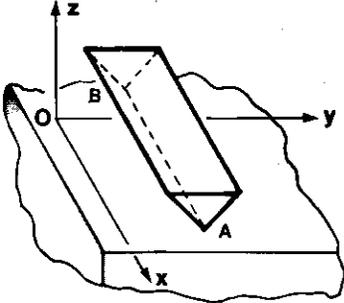
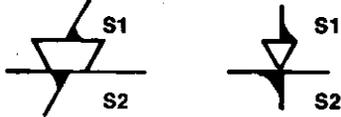
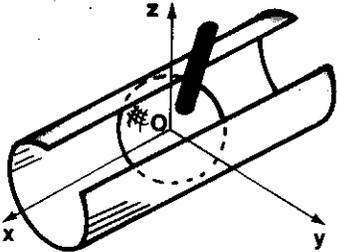
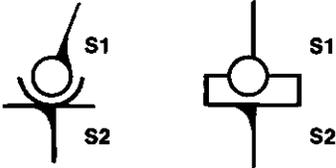
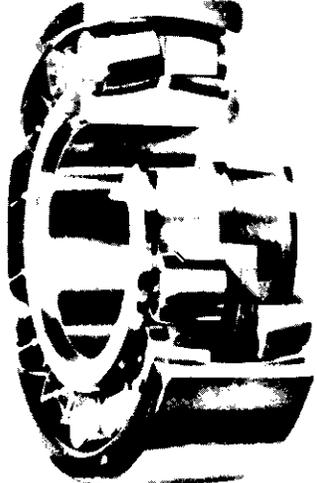
Dans tous les cas dans une liaison entre deux pièces :  
**NOMBRE DE DEGRÉS DE LIBERTÉ**  
**PLUS NOMBRE DE DEGRÉS DE LIAISON**  
**DONNE UN TOTAL TOUJOURS ÉGAL À SIX**

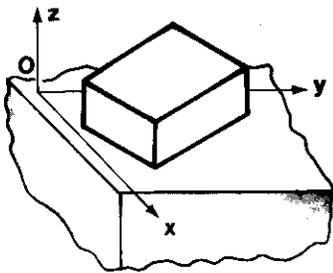
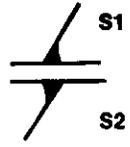
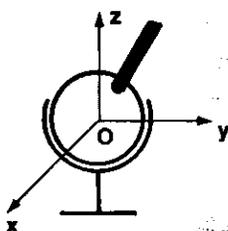
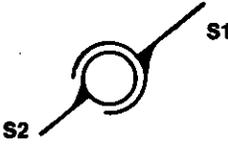
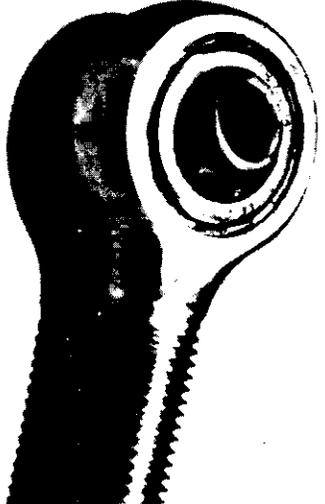
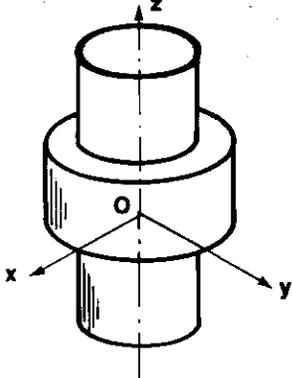
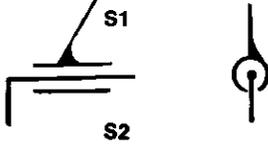


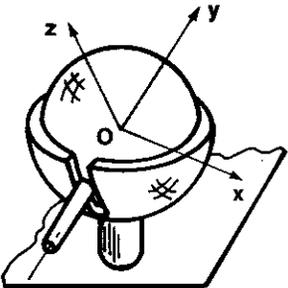
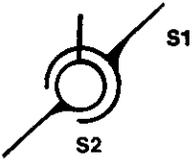
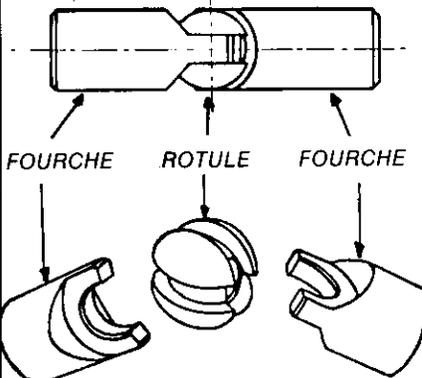
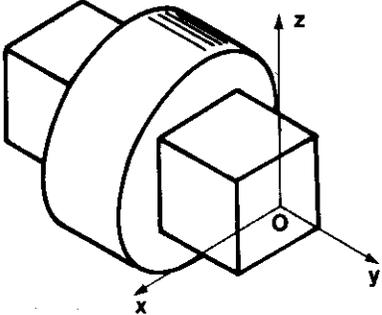
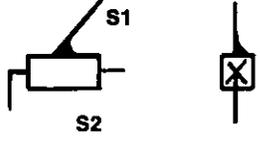
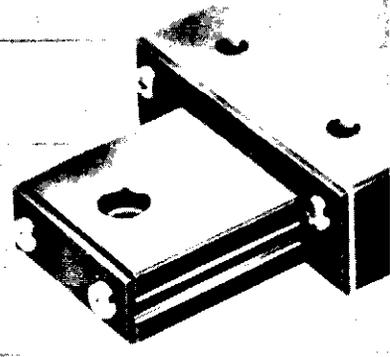
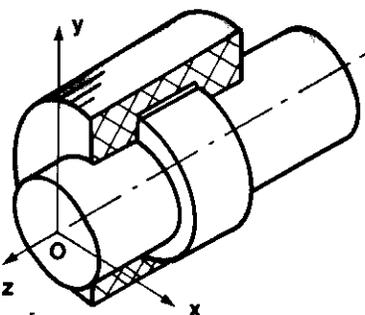
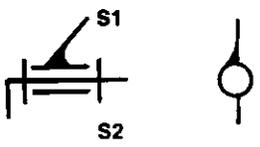
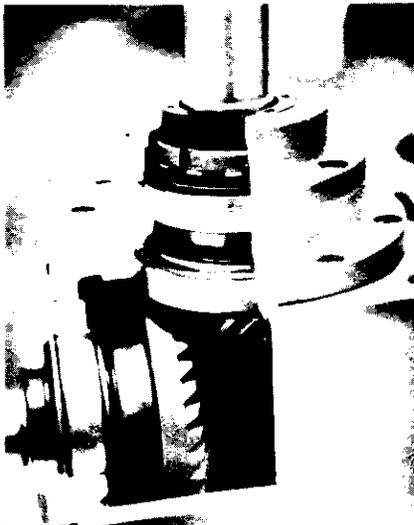
2a. Degrés de liberté.

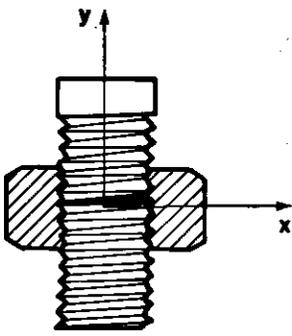
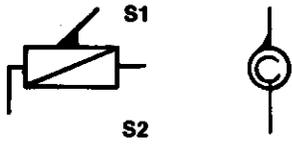
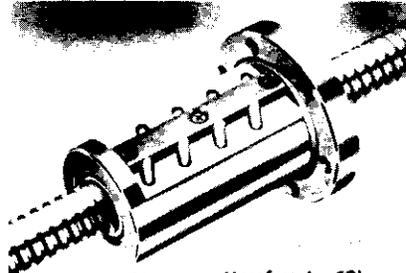
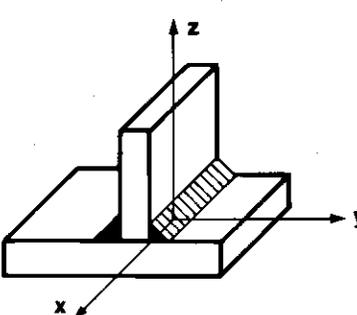
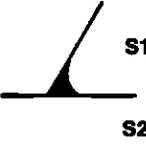
### 3. ÉTUDE DES LIAISONS (suivant norme NF E 04-015)

Le tableau ci-dessous présente un inventaire de liaisons couramment rencontrées dans les mécanismes. Pour chaque type de liaison et pour chaque mouvement, l'absence d'un degré de liaison ou la présence d'un degré de liberté est notée **1** et la présence d'un degré de liaison ou l'absence d'un degré de liberté est notée **0**.

<p><b>PONCTUELLE</b></p> 	 <p style="text-align: center;">MOUVEMENTS</p> <table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td style="text-align: center;"> <b>Translation</b>            Tx = 1            Ty = 1            Tz = 0         </td> <td style="text-align: center;"> <b>Rotation</b>            Rx = 1            Ry = 1            Rz = 1         </td> </tr> </table> <p><b>DEGRÉS DE LIBERTÉ : 5</b> <b>DEGRÉ DE LIAISON : 1</b></p>	<b>Translation</b> Tx = 1 Ty = 1 Tz = 0	<b>Rotation</b> Rx = 1 Ry = 1 Rz = 1	 <p>Exemple : Appui sur un plan d'un pied support d'appareil</p>
<b>Translation</b> Tx = 1 Ty = 1 Tz = 0	<b>Rotation</b> Rx = 1 Ry = 1 Rz = 1			
<p><b>LINÉAIRE RECTILIGNE</b></p> 	 <p style="text-align: center;">MOUVEMENTS</p> <table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td style="text-align: center;"> <b>Translation</b>            Tx = 1            Ty = 1            Tz = 0         </td> <td style="text-align: center;"> <b>Rotation</b>            Rx = 1            Ry = 0            Rz = 1         </td> </tr> </table> <p><b>DEGRÉS DE LIBERTÉ : 4</b> <b>DEGRÉS DE LIAISON : 2</b></p>	<b>Translation</b> Tx = 1 Ty = 1 Tz = 0	<b>Rotation</b> Rx = 1 Ry = 0 Rz = 1	
<b>Translation</b> Tx = 1 Ty = 1 Tz = 0	<b>Rotation</b> Rx = 1 Ry = 0 Rz = 1			
<p><b>LINÉAIRE ANNULAIRE</b></p> 	 <p style="text-align: center;">MOUVEMENTS</p> <table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td style="text-align: center;"> <b>Translation</b>            Tx = 1            Ty = 0            Tz = 0         </td> <td style="text-align: center;"> <b>Rotation</b>            Rx = 1            Ry = 1            Rz = 1         </td> </tr> </table> <p><b>DEGRÉS DE LIBERTÉ : 4</b> <b>DEGRÉS DE LIAISON : 2</b></p>	<b>Translation</b> Tx = 1 Ty = 0 Tz = 0	<b>Rotation</b> Rx = 1 Ry = 1 Rz = 1	
<b>Translation</b> Tx = 1 Ty = 0 Tz = 0	<b>Rotation</b> Rx = 1 Ry = 1 Rz = 1			

<p><b>APPUI PLAN</b></p> 	 <p><b>MOUVEMENTS</b></p> <table border="1" data-bbox="584 693 998 892"> <thead> <tr> <th>Translation</th> <th>Rotation</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><math>T_x = 1</math></td> <td><math>R_x = 0</math></td> </tr> <tr> <td><math>T_y = 1</math></td> <td><math>R_y = 0</math></td> </tr> <tr> <td><math>T_z = 0</math></td> <td><math>R_z = 1</math></td> </tr> </tbody> </table> <p><b>DEGRÉS DE LIBERTÉ : 3</b> <b>DEGRÉS DE LIAISON : 3</b></p>	Translation	Rotation	$T_x = 1$	$R_x = 0$	$T_y = 1$	$R_y = 0$	$T_z = 0$	$R_z = 1$	
Translation	Rotation									
$T_x = 1$	$R_x = 0$									
$T_y = 1$	$R_y = 0$									
$T_z = 0$	$R_z = 1$									
<p><b>ROTULE</b></p> 	 <p><b>MOUVEMENTS</b></p> <table border="1" data-bbox="584 1249 998 1438"> <thead> <tr> <th>Translation</th> <th>Rotation</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><math>T_x = 0</math></td> <td><math>R_x = 1</math></td> </tr> <tr> <td><math>T_y = 0</math></td> <td><math>R_y = 1</math></td> </tr> <tr> <td><math>T_z = 0</math></td> <td><math>R_z = 1</math></td> </tr> </tbody> </table> <p><b>DEGRÉS DE LIBERTÉ : 3</b> <b>DEGRÉS DE LIAISON : 3</b></p>	Translation	Rotation	$T_x = 0$	$R_x = 1$	$T_y = 0$	$R_y = 1$	$T_z = 0$	$R_z = 1$	
Translation	Rotation									
$T_x = 0$	$R_x = 1$									
$T_y = 0$	$R_y = 1$									
$T_z = 0$	$R_z = 1$									
<p><b>PIVOT GLISSANT</b></p> 	 <p><b>MOUVEMENTS</b></p> <table border="1" data-bbox="584 1795 998 1984"> <thead> <tr> <th>Translation</th> <th>Rotation</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><math>T_x = 0</math></td> <td><math>R_x = 0</math></td> </tr> <tr> <td><math>T_y = 0</math></td> <td><math>R_y = 0</math></td> </tr> <tr> <td><math>T_z = 1</math></td> <td><math>R_z = 1</math></td> </tr> </tbody> </table> <p><b>DEGRÉS DE LIBERTÉ : 2</b> <b>DEGRÉS DE LIAISON : 4</b></p>	Translation	Rotation	$T_x = 0$	$R_x = 0$	$T_y = 0$	$R_y = 0$	$T_z = 1$	$R_z = 1$	
Translation	Rotation									
$T_x = 0$	$R_x = 0$									
$T_y = 0$	$R_y = 0$									
$T_z = 1$	$R_z = 1$									

<p><b>ROTULE À DOIGT</b></p> 	 <p>MOUVEMENTS</p> <table border="1" data-bbox="609 682 1015 882"> <thead> <tr> <th>Translation</th> <th>Rotation</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><math>T_x = 0</math></td> <td><math>R_x = 1</math></td> </tr> <tr> <td><math>T_y = 0</math></td> <td><math>R_y = 1</math></td> </tr> <tr> <td><math>T_z = 0</math></td> <td><math>R_z = 0</math></td> </tr> </tbody> </table> <p>DEGRÉS DE LIBERTÉ : 2 DEGRÉS DE LIAISON : 4</p>	Translation	Rotation	$T_x = 0$	$R_x = 1$	$T_y = 0$	$R_y = 1$	$T_z = 0$	$R_z = 0$	 <p>Exemple : Joint simple de cardan à rotule.</p>
Translation	Rotation									
$T_x = 0$	$R_x = 1$									
$T_y = 0$	$R_y = 1$									
$T_z = 0$	$R_z = 0$									
<p><b>GLISSIÈRE</b></p> 	 <p>MOUVEMENTS</p> <table border="1" data-bbox="609 1249 1015 1438"> <thead> <tr> <th>Translation</th> <th>Rotation</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><math>T_x = 0</math></td> <td><math>R_x = 0</math></td> </tr> <tr> <td><math>T_y = 1</math></td> <td><math>R_y = 0</math></td> </tr> <tr> <td><math>T_z = 0</math></td> <td><math>R_z = 0</math></td> </tr> </tbody> </table> <p>DEGRÉ DE LIBERTÉ : 1 DEGRÉS DE LIAISON : 5</p>	Translation	Rotation	$T_x = 0$	$R_x = 0$	$T_y = 1$	$R_y = 0$	$T_z = 0$	$R_z = 0$	
Translation	Rotation									
$T_x = 0$	$R_x = 0$									
$T_y = 1$	$R_y = 0$									
$T_z = 0$	$R_z = 0$									
<p><b>PIVOT</b></p> 	 <p>MOUVEMENTS</p> <table border="1" data-bbox="609 1795 1015 1984"> <thead> <tr> <th>Translation</th> <th>Rotation</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><math>T_x = 0</math></td> <td><math>R_x = 0</math></td> </tr> <tr> <td><math>T_y = 0</math></td> <td><math>R_y = 0</math></td> </tr> <tr> <td><math>T_z = 0</math></td> <td><math>R_z = 1</math></td> </tr> </tbody> </table> <p>DEGRÉ DE LIBERTÉ : 1 DEGRÉS DE LIAISON : 5</p>	Translation	Rotation	$T_x = 0$	$R_x = 0$	$T_y = 0$	$R_y = 0$	$T_z = 0$	$R_z = 1$	
Translation	Rotation									
$T_x = 0$	$R_x = 0$									
$T_y = 0$	$R_y = 0$									
$T_z = 0$	$R_z = 1$									

<p><b>GLISSIÈRE HÉLICOÏDALE</b></p> 	 <p>MOUVEMENTS</p> <table border="1"> <tr> <td><b>Translation</b></td> <td><b>Rotation</b></td> </tr> <tr> <td><math>T_x = 0</math></td> <td><math>R_x = 0</math></td> </tr> <tr> <td><math>T_y = 1</math></td> <td><math>R_y = 1</math></td> </tr> <tr> <td><math>T_z = 0</math></td> <td><math>R_z = 0</math></td> </tr> </table> <p>Ty et Ry sont conjugués. <math>T_y = f(R_y)</math></p> <p><b>DEGRÉ DE LIBERTÉ : 1</b> <b>DEGRÉS DE LIAISON : 5</b></p>	<b>Translation</b>	<b>Rotation</b>	$T_x = 0$	$R_x = 0$	$T_y = 1$	$R_y = 1$	$T_z = 0$	$R_z = 0$	 <p>Charges élevées (- 10)</p> <p>Exemple : Vis à billes pour charges moyennes</p>
<b>Translation</b>	<b>Rotation</b>									
$T_x = 0$	$R_x = 0$									
$T_y = 1$	$R_y = 1$									
$T_z = 0$	$R_z = 0$									
<p><b>ENCASTREMENT</b></p> 	 <p>MOUVEMENTS</p> <table border="1"> <tr> <td><b>Translation</b></td> <td><b>Rotation</b></td> </tr> <tr> <td><math>T_x = 0</math></td> <td><math>R_x = 0</math></td> </tr> <tr> <td><math>T_y = 0</math></td> <td><math>R_y = 0</math></td> </tr> <tr> <td><math>T_z = 0</math></td> <td><math>R_z = 0</math></td> </tr> </table> <p><b>DEGRÉ DE LIBERTÉ : 0</b> <b>DEGRÉS DE LIAISON : 6</b></p>	<b>Translation</b>	<b>Rotation</b>	$T_x = 0$	$R_x = 0$	$T_y = 0$	$R_y = 0$	$T_z = 0$	$R_z = 0$	 <p>Exemple : Ensemble des éléments d'une pièce mécano-soudée</p>
<b>Translation</b>	<b>Rotation</b>									
$T_x = 0$	$R_x = 0$									
$T_y = 0$	$R_y = 0$									
$T_z = 0$	$R_z = 0$									

Une pièce **NON LIÉE** à aucune autre pièce présente **SIX DEGRÉS DE LIBERTÉ**.

Une **LIAISON** entre **DEUX PIÈCES** se caractérise par le nombre de **DEGRÉS de LIBERTÉ** et par le nombre de **DEGRÉS de LIAISON**, dont la **SOMME est toujours ÉGALE À SIX**.

4. S  
Un m  
grand  
doit t  
buen  
et à s  
Ces l  
sont e  
Les n  
limité  
matq  
Pour l  
Ex  
DESIG  
SYM  
Ex

### 4. SCHÉMA CINÉMATIQUE

Un mécanisme peut comprendre un plus ou moins grand nombre de pièces et son **étude fonctionnelle** doit tenir compte des différentes **liaisons** qui contribuent directement à la transmission du mouvement et à son éventuelle transformation.

**Ces liaisons, concernées par les mouvements, sont dites liaisons cinématiques.**

Les mouvements relatifs entre deux pièces sont limités par les degrés de liberté de la liaison cinématique qui les associe.

L'étude fonctionnelle d'un objet technique peut se traduire par un **schéma cinématique**.

Le schéma cinématique permet de mettre en évidence les **liaisons mécaniques** :

— qui participent à la **transmission du mouvement entre l'actionneur et l'effecteur**.

*Exemple : entre le vérin et la pince de serrage sur un robot.*

— qui assurent à partir de l'énergie transmise, le bon fonctionnement de **l'effecteur**, c'est-à-dire de cet ensemble qui transforme la matière d'œuvre en élaborant progressivement la **valeur ajoutée**

*Exemple : les liaisons mécaniques de la pince d'un robot.*

### SYMBOLES COMPLÉMENTAIRES

Pour la réalisation d'un schéma cinématique (fig. 4a).

DÉSIGNATION	SYMBOLE	EXEMPLES D'APPLICATION
Base ou solide de référence		
Arbre Tige Solide de jonction		
Liaison fixe de composants avec un arbre		
Levier de renvoi		
Réglage angulaire		

4a. Exemples de symboles complémentaires pour schéma cinématique.

● SCHÉMAS DE TRANSMISSIONS DE MOUVEMENTS PAR MÉCANISMES À DENTURES (fig. 4b).

DÉSIGNATION	ROUE DENTÉE		DENTURE		TRANSMISSION PAR ENGRENAGE		
	Cylindr.	Conique	Hélicoïd.	À chevron	Parallèle	Gauche hélicoïdal	Conique
SYMBOLE							

4b. Exemples de mécanismes à denture.

**5. EXEMPLE D'APPLICATION**

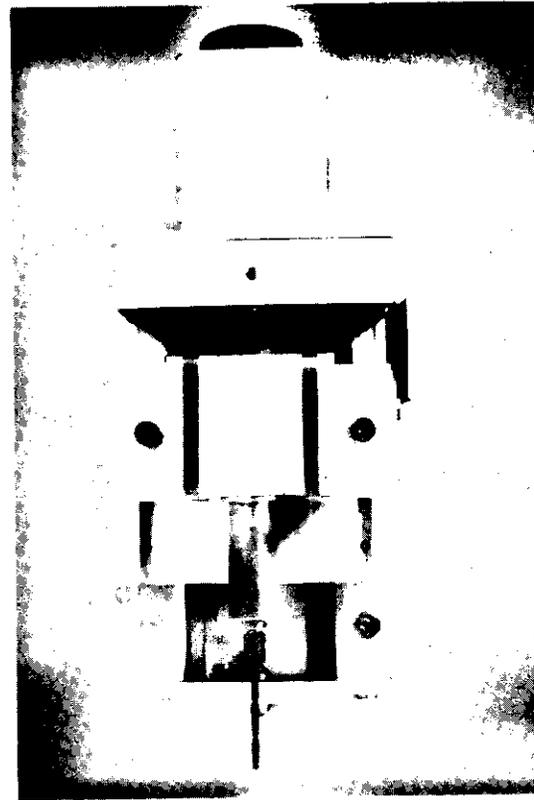
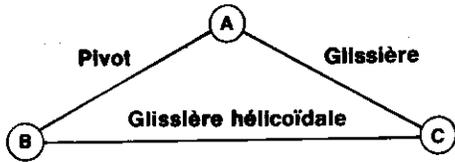
Suivant l'exemple de l'unité d'avance automatique, sur l'axe Z d'un système automatisé (type Charly robot):

- fig. 5a : photo,
- fig. 5b : schéma cinématique,
- fig. 5c : dessin d'ensemble.

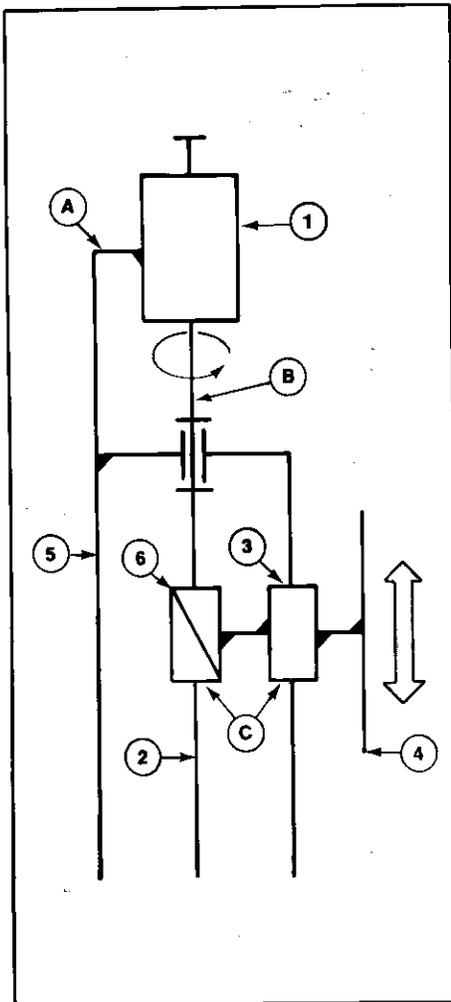
● **OBSERVATION ET IDENTIFICATION DES ENSEMBLES CINÉMATIQUEMENT LIÉS**

- (A) Stator du moteur (1) + Corps support de glissière (5)
- (B) Arbre du moteur et vis (2)
- (C) Ecrou (6) + Chariot (3) + Table support d'outil (4)

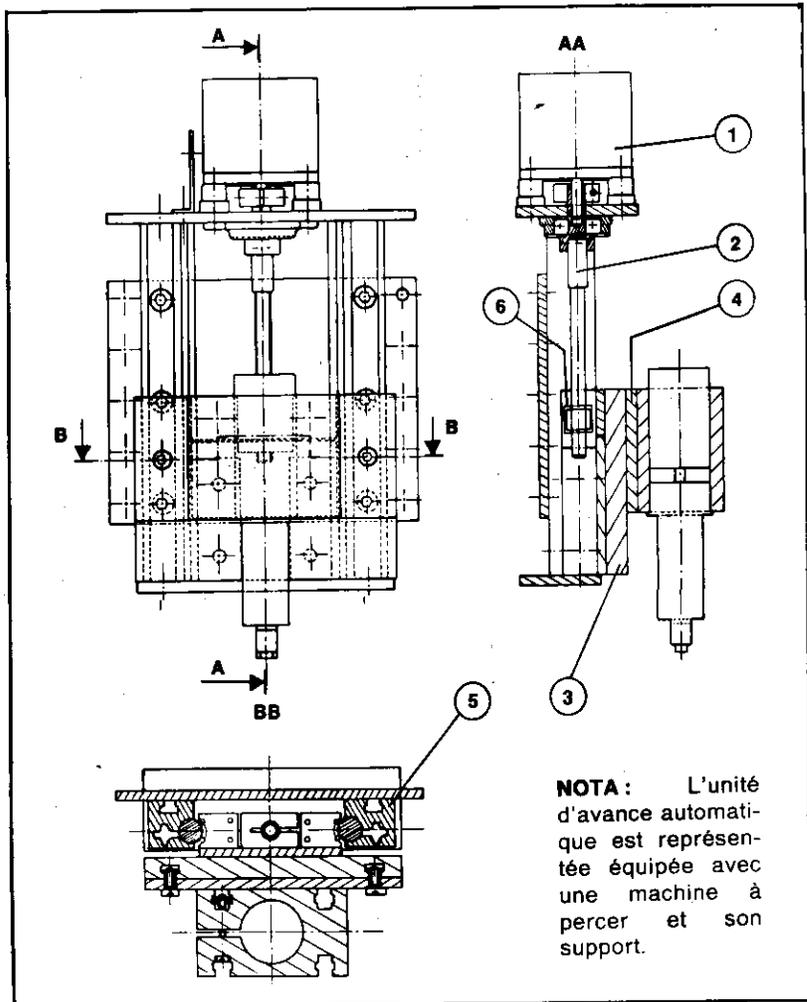
● **GRAPHE DES LIAISONS**



5a. Unité d'avance automatique. Axe Z (Charlyrobot).

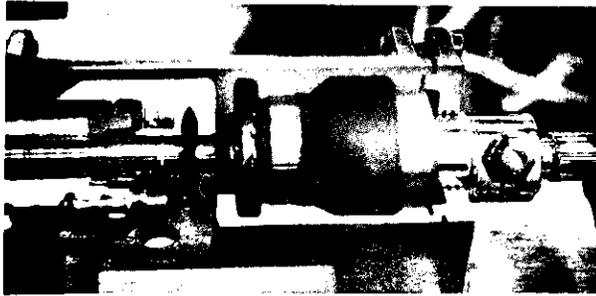


5b. Schéma cinématique



5c. Dessin d'ensemble.

**NOTA:** L'unité d'avance automatique est représentée équipée avec une machine à percer et son support.



### 1. LIAISONS COMPLÈTES RIGIDES INDÉMONTABLES

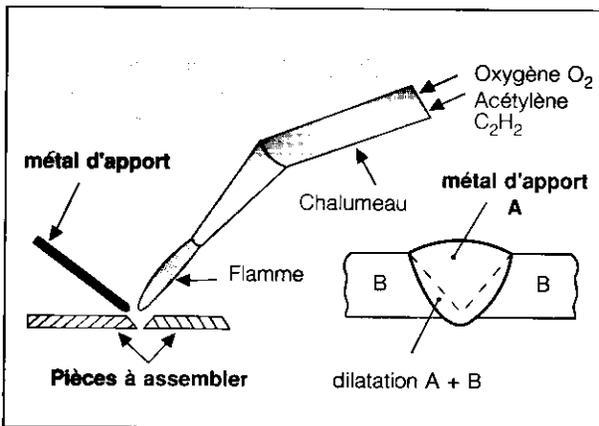
Dans une liaison complète aucun mouvement des deux pièces assemblées n'est possible, les 6 degrés de liberté relatifs, d'une pièce par rapport à l'autre sont supprimés. La liaison complète est dite rigide et indémontable si d'une part, la position relative des pièces est strictement déterminée, et d'autre part, si la séparation des pièces entraîne, une détérioration du mécanisme. Certains procédés d'assemblage relatifs à ce type de liaison peuvent être de la compétence de l'agent de maintenance.

#### ● SOUDAGE

##### ● SOUDAGE OXYACÉTYLÉNIQUE

Le principe consiste à **faire fusionner localement les pièces à assembler en y ajoutant un métal d'apport** (fig. 1a).

Un **chalumeau** à l'intérieur duquel s'effectue un mélange d'**oxygène** et d'**acétylène** constitue la source calorifique.



1a. Soudage oxyacétylénique.

Ce procédé de soudage est surtout utilisé pour les assemblages de **tôles de faible épaisseur en travail peu répétitif** car trop lent et nécessitant une main d'œuvre spécialisée.

Les déformations engendrées sont importantes, et la position des lignes d'assemblage doit permettre de procéder au redressage des éléments assemblés, dans la mesure du possible.

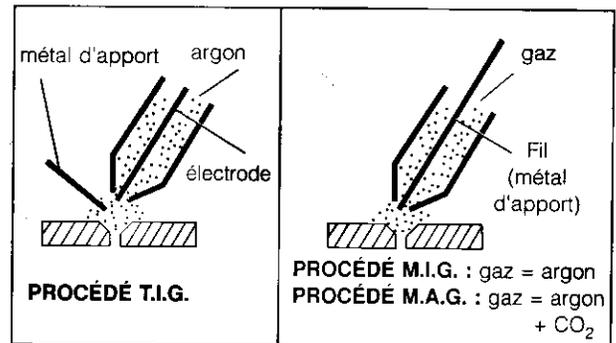
De la nécessité de bien étudier la nature des liaisons d'un mécanisme.

# 7

## FONCTION ASSEMBLAGE

#### ● SOUDAGE ÉLECTRIQUE A ARC SOUS ATMOSPHÈRE GAZEUSE

Le principe est présenté fig. 1b.



1b. Soudage sous atmosphère gazeuse.

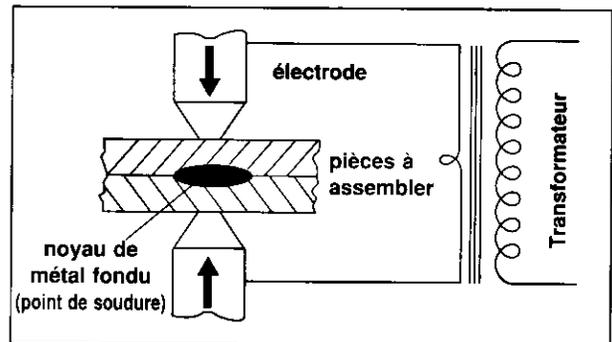
● **Procédé T.I.G.** : un arc électrique se forme entre une électrode réfractaire et la pièce créant une fusion locale.

● **Procédés M.I.G. et M.A.G.** : l'arc se forme entre un fil fournissant le métal d'apport et la pièce. Dans le procédé M.I.G. le gaz est inactif (*Metal Inert Gaz*), contrairement au procédé M.A.G. où le gaz est actif (*Metal Active Gaz*).

#### ● SOUDAGE ÉLECTRIQUE PAR RÉSTANCE suivant fig. 1c.

Le procédé comporte quatre phases :

- phase 1 : **accostage**, compression des pièces à assembler entre deux électrodes ;
- phase 2 : **soudage**, passage d'un courant de basse tension et forte intensité créant une fusion locale ;
- phase 3 : **maintien du serrage** assurant le forgeage du métal qui se refroidit ;
- phase 4 : **dégagement**, l'effort de serrage s'annule.



1c. Soudage électrique par résistance.

● **COLLAGE**

**Procédé qui utilise les qualités d'adhérence des matières synthétiques.**

Il offre de nombreux avantages :

- possibilité d'assembler des **matériaux différents** ;
- **esthétique et légèreté** ;
- **étanchéité et isolation** ;
- **résistance aux agressions chimiques.**

Malgré tout, la résistance à long terme d'un tel assemblage peut, sous certaines contraintes présenter des défaillances.

● **FRETTAGE**

Il permet d'assembler une pièce de révolution telle qu'un arbre, avec une autre pièce présentant un alésage, de même cote nominale que l'arbre, mais dont l'**ajustement assure un serrage.**

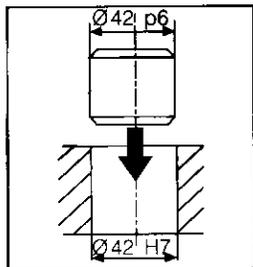
Exemple :

$\varnothing 42 \quad H7 \quad p6$   
 $+25 \quad +42$   
 $+0 \quad +26$

$\varnothing$  mini de l'arbre : 42,026

plus grand que :

$\varnothing$  maxi de l'alésage : 42,025  
**d'où serrage assuré.**



Le frettage peut être réalisé :

- par **emmanchement à force** : montage à la presse,
- par **dilatation de l'alésage** : **chauffage** de la pièce,
- par **contraction de l'arbre** : **refroidissement.**

**2. LIAISONS COMPLÈTES RIGIDES DÉMONTABLES**

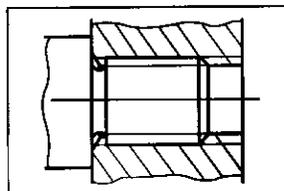
**Une liaison complète rigide est dite démontable s'il peut y avoir séparation des deux pièces après assemblage et remontage sans affecter le mécanisme.**

● **VISSAGE**

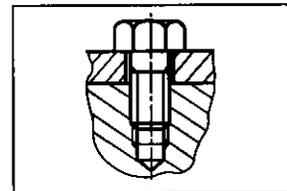
**1<sup>er</sup> cas** : l'une des pièces possède une partie filetée, l'autre une partie taraudée : l'assemblage est obtenu en vissant une pièce dans l'autre (fig. 2a).

**2<sup>e</sup> cas** : utilisation d'un organe de liaison

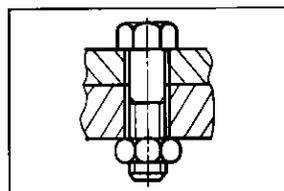
- suivant fig. 2b : une **vis** passe à travers une des pièces et vient se visser dans l'autre,
- suivant fig. 2c : une vis passe à travers les pièces à assembler, le serrage est obtenu par un **écrou** ; **l'ensemble vis + écrou est appelé boulon** ;
- suivant fig. 2d : une tige filetée à ses deux extrémités appelé **goujon** est vissée dans une pièce et passe à travers l'autre, le serrage est obtenu par un écrou.



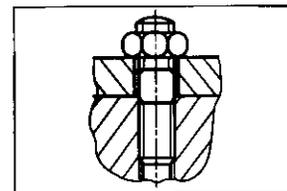
2a. Assemblage par vissage.



2b. Vis.



2c. Boulon.

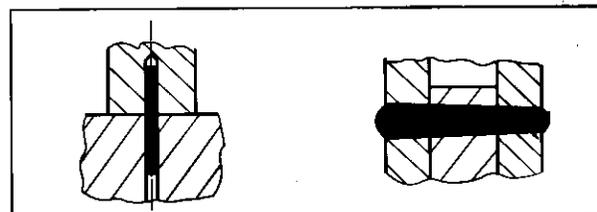


2d. Goujon.

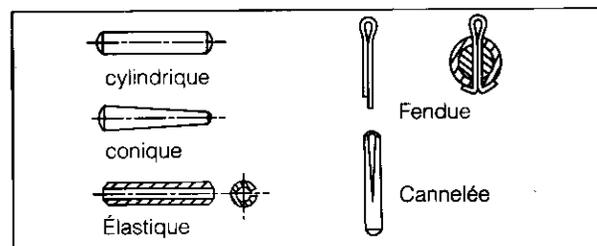
● **ASSEMBLAGE PAR GOUPILLES**

**Une goupille est un organe de liaison implanté dans les deux pièces à assembler (fig. 2e).**

Plusieurs exemples de goupilles sont présentées fig. 2f.



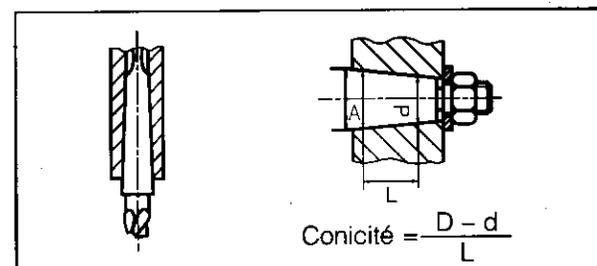
2e. Assemblage par goupilles.



2f. Exemples de goupilles.

● **ASSEMBLAGE PAR EMMANCHEMENT CONIQUE**

Les surfaces de liaison des deux pièces à assembler sont des **cônes de révolution cylindriques ayant même angle au sommet** pour assurer la tangence des surfaces. Des exemples d'emmanchements coniques sont présentés fig. 2g.



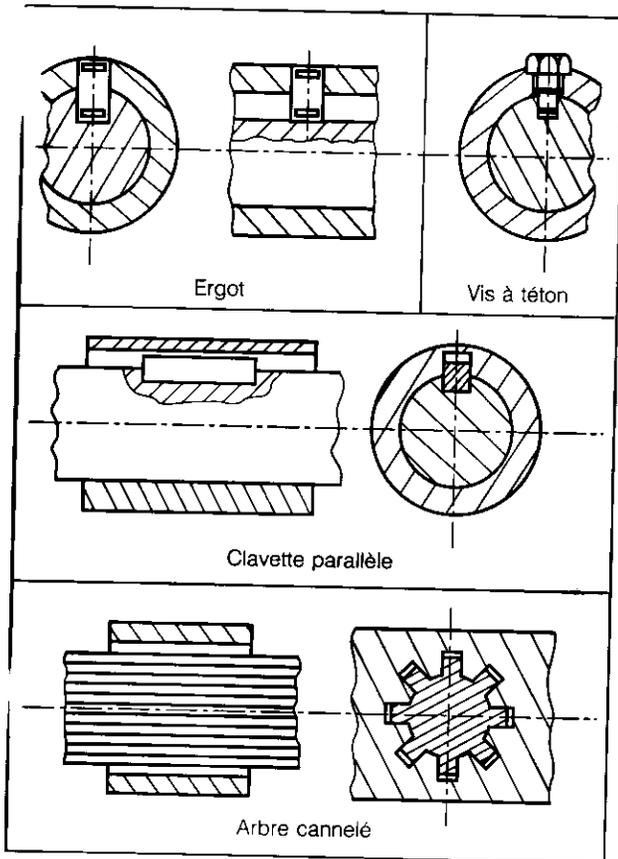
2g. Liaison par emmanchement conique.

### 3. LIAISONS PARTIELLES RIGIDES

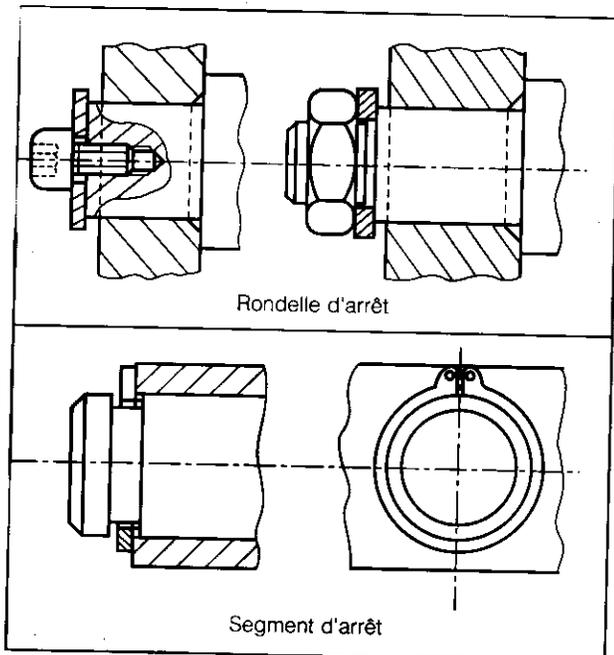
Une liaison rigide est dite partielle si certains mouvements relatifs des deux pièces liées sont possibles.

Les liaisons partielles rigides peuvent être, par exemple :

- de type glissière (fig. 3a);
- de type pivot (fig. 3b).



3a. Exemples de liaisons partielles rigides type glissière.



3b. Exemples de liaisons partielles rigides type pivot.

### 4. EXEMPLES D'INSTRUCTIONS DE MONTAGE

#### ● LIAISONS COMPLÈTES RIGIDES INDÉMONTABLES

##### ● Frettage

- **Vérifier** :
  - le diamètre des deux pièces à assembler pour assurer un serrage;
  - la longueur de la pénétration.
- **Choisir l'outil** : maillet, presse, chauffage, refroidissement.
- **Casser les angles** pour faciliter la pénétration.
- **Graisser** pour éviter le grippage.
- Réaliser un **calage correct**.

#### ● LIAISONS COMPLÈTES RIGIDES DÉMONTABLES

##### ● Vissage

- **Contrôler** le diamètre nominal, le pas et le profil du filetage.
- **Contrôler** l'état de surface du filet et l'état des surfaces de préhension.
- **Outillage** :
  - l'adapter aux surfaces de préhension;
  - préférer clé à œil à clé plate;
  - éviter pince et clé à molette;
  - tournevis adapté en longueur et largeur.
- Ne pas oublier le **freinage par obstacle** (contre-écrou, rondelle frein, colle).
- **Contre-écrou** : serrer les écrous l'un contre l'autre.

##### ● Goupillage

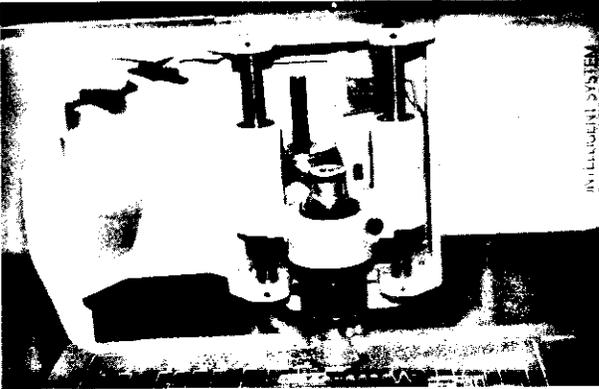
- Penser au **sens de montage pour les goupilles coniques**.
- **Adapter un chasse goupille** de diamètre correct pour les goupilles élastiques.

##### ● Emmanchement conique

- **Nettoyer** correctement les portées avant montage.
- **Vérifier** la portée.

#### ● LIAISONS PARTIELLES RIGIDES

- Prévoir le **respect des jeux** en fonction du glissement demandé.
- **Vérifier les jeux** de fonctionnement.
- **Anneaux élastiques** : choisir une pince appropriée.
- **Clavettes** :
  - vérifier les dimensions;
  - casser les angles de la clavette;
  - supprimer les traces de matage.

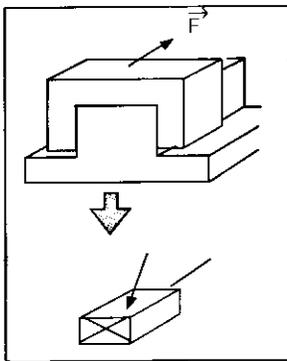


De la nécessité d'un guidage précis de la tête d'usinage.

# 8 FONCTION GUIDAGE

## 1. GUIDAGE EN TRANSLATION

### ● NOTION DE GUIDAGE



Il s'agit d'une liaison glissière. La pièce fixe s'appelle la **glissière**. La pièce mobile le **coulisseau** (fig. 1a).

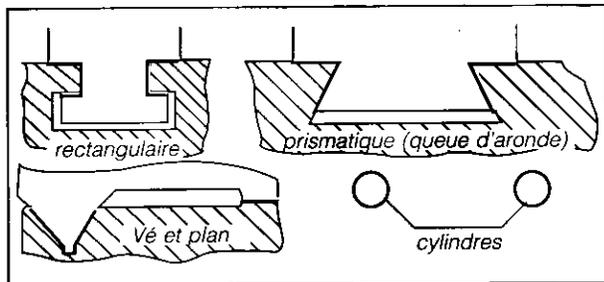
Pour déplacer le coulisseau une **force F**, fonction de la masse et de l'accélération du mouvement, est nécessaire.

1a. Guidage en translation.

Cette force doit aussi vaincre la **force de résistance au frottement** des surfaces de guidage ou la **force de résistance au roulement**.

### ● SURFACES FONCTIONNELLES

Les surfaces fonctionnelles sont réalisées à partir de surfaces planes ou de surfaces cylindriques (fig. 1b). Le choix des surfaces est fonction des actions sur le coulisseau.



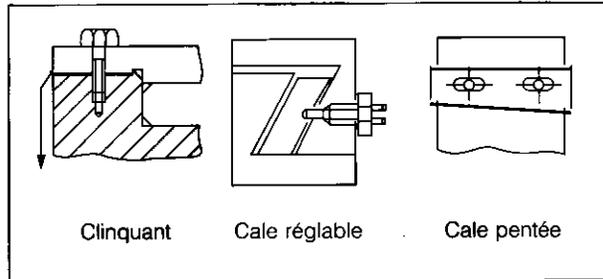
1b. Surfaces fonctionnelles.

### ● RÉALISATION PAR CONTACT DIRECT

La **précision du guidage** sera obtenue par la **qualité des usinages** et le respect des **états de surface**. Les montages nécessitent souvent l'utilisation de « cales de rattrapage de jeu » (fig. 1c).

L'ajustement doit présenter une précision suffisante. L'ajustement recommandé est de type **H7g6**.

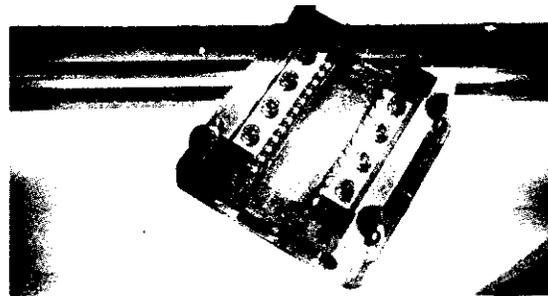
La **longueur du guidage** sera de **1,5 à 2 fois la largeur** pour éviter l'arc-boutement.



1c. Rattrapage de jeu.

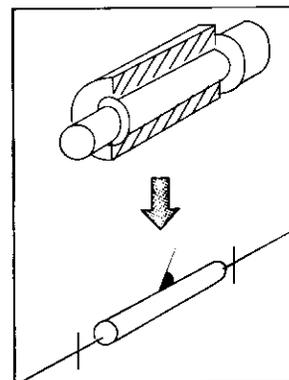
### ● RÉALISATION AVEC INTERPOSITION D'ÉLÉMENTS ROULANTS

L'énergie perdue par roulement est moins importante que l'énergie perdue par glissement. La réalisation préfabriquée des éléments roulants permet de faciliter le montage rapide et précis de ce type de guidage (fig. 1d).



1d. Coulisseau avec glissière comportant des éléments roulants.

## 2. GUIDAGE EN ROTATION



2a. Guidage en rotation.

Il s'agit d'une liaison pivot. La **pièce fixe** s'appelle le **palier**, la **pièce mobile** l'**arbre** (fig. 2a).

Pour entraîner en rotation l'arbre un **couple moteur**, fonction du couple résistant et de l'accélération du mouvement, est nécessaire. Ce couple doit aussi vaincre le **couple de frottement des surfaces**.

### ● RÉD PAS

Les paire  
arrêt en  
Des de  
passives

concerne  
Le redu  
tue par

- le ch
- un g
- l'inter

### ● REA



### ● Couss

longue  
telle

### ● RÉA A RO

Les roue  
ent d'ob  
avec une  
un rouen

- d'une
- d'une
- d'ener

dit que

- d'ité
- d'acc

### ● CRIT

Suivant k  
subissent

ROULEME  
SIMPLE  
● bonne

ROULEME  
CYLINDR  
● à pré

Choix

● RÉDUCTION DES RÉSISTANCES PASSIVES

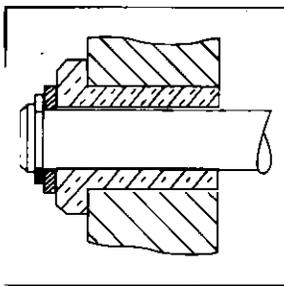
Les paliers doivent assurer le guidage en rotation et l'arrêt en translation.

Ces deux fonctions vont engendrer des **résistances passives** par le frottement des surfaces qui les concernent.

La **réduction des résistances passives** est obtenue par :

- le choix des matériaux à faible coefficient de frottement, (paliers, coussinets, bagues rapportées),
- un graissage soigné,
- l'interposition d'éléments roulants.

● RÉALISATION DE PALIERS LISSES



Les coussinets rigides (NF E22-510) sont réalisés en matériaux frittés où l'huile est emmagasinée dans les porosités (fig. 2b).

Le guidage en rotation peut aussi être réalisé par une bague roulée fendue de faible épaisseur (NF E22-511).

2b. Coussinet rigide.

La **longueur de guidage est de 1 à 1,5 fois le diamètre**. Les ajustements sont conseillés par le constructeur, en général du **type Hf**.

● RÉALISATION PAR PALIER À ROULEMENT

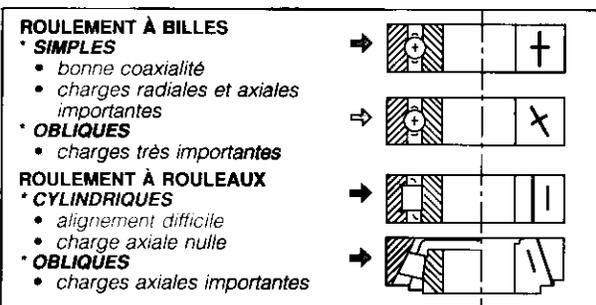
Les roulements, réalisés en grande série, permettent d'obtenir un guidage en rotation de qualité, avec une **grande précision** et très **économique**.

Un roulement est composé :

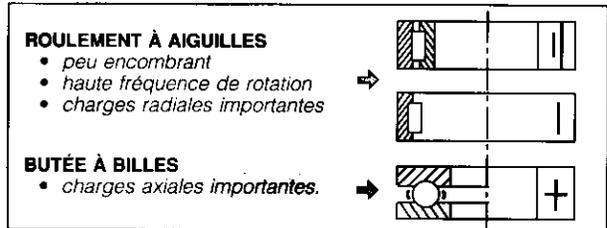
- d'une **bague intérieure** tournant sur l'arbre,
- d'une **bague extérieure** tournant avec l'alésage,
- d'**éléments roulants** (billes, galets cylindriques, coniques),
- d'une **cage** séparant les éléments roulants,
- d'**accessoires divers**, flasque d'étanchéité, segment d'arrêt,...

● CRITÈRES DE CHOIX DES ROULEMENTS

Suivant les conditions d'emploi et les efforts qu'ils subissent (fig. 2c).



2c. Choix des roulements et représentation schématique.



2c. (suite).

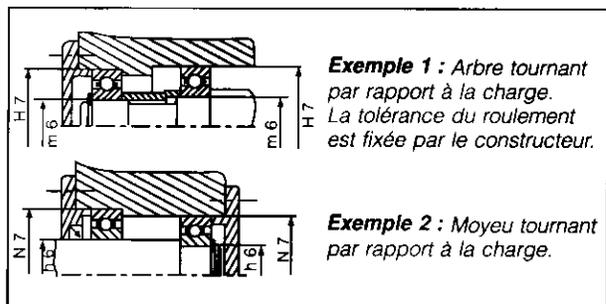
● RÈGLES DE MONTAGE DES ROULEMENTS À BILLES

Trois règles sont appliquées pour le montage des roulements à billes afin de permettre un fonctionnement correct et fiable de la liaison. Ces règles impliquent le respect de certaines conditions de montage et de démontage pour l'agent de maintenance (fig. 2d).

● **Règle 1** : la **bague tournante d'un roulement**, par rapport à la direction de la charge, doit être **ajustée avec serrage**.

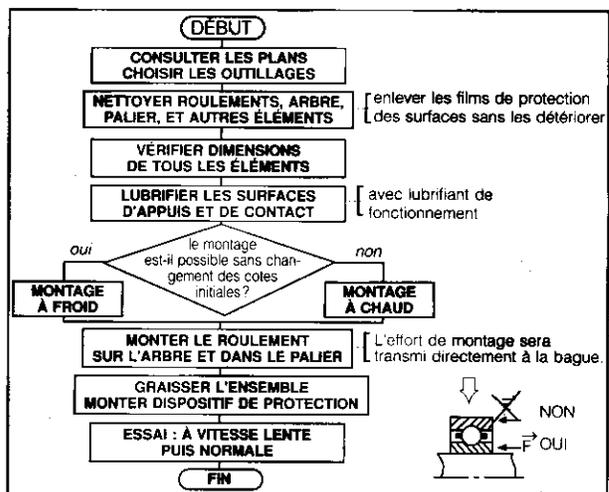
● **Règle 2** : la **bague fixe d'un roulement**, par rapport à la direction de la charge est **montée glissante**.

● **Règle 3** : dans le cas où plusieurs roulements sont montés sur une même ligne d'arbre, **un seul roulement appelé « roulement fixe »** assure le **positionnement axial de l'arbre**.

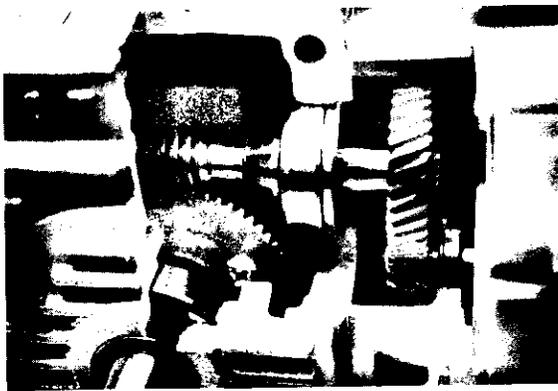


2d. Exemples de montage de roulements à billes.

La méthode générale de montage des roulements à billes est résumée fig. 2e.



2e. Méthode générale de montage des roulements à billes.



### 1. TRANSMISSION DE PUISSANCE MÉCANIQUE

La présentation des solutions constructives suivantes concerne le changement d'une ou plusieurs caractéristiques d'un mouvement de rotation : vitesse, direction, sens, couple.

#### ● TRANSMISSION PAR COURROIES

● **COURROIES PLATES.** Solution simple pour transmettre un mouvement de rotation entre deux arbres qui peuvent être parallèles ou non (fig. 1a). La tension de la courroie, obtenue par translation d'une poulie et d'un **gilet tendeur**, permet la transmission du mouvement et du couple. Le **glissement possible** entre la courroie et les poulies limite la valeur du couple transmissible.

● **COURROIES TRAPÉZOÏDALES.** La forme trapézoïdale de la courroie et implicitement de la gorge de la poulie permet une **meilleure adhérence** et donc une transmission de **couple plus important**; les axes sont obligatoirement parallèles et l'entraxe doit être réglable (fig. 1b).

● **COURROIES DENTÉES.** Aussi appelées **courroies synchrones** de par l'absence de glissement, elles permettent la transmission d'un couple plus important que les deux solutions précédentes; les axes des arbres sont parallèles (fig. 1c).

Le tableau fig. 1d présente les différents aspects de la maintenance par rapport au changement des courroies.

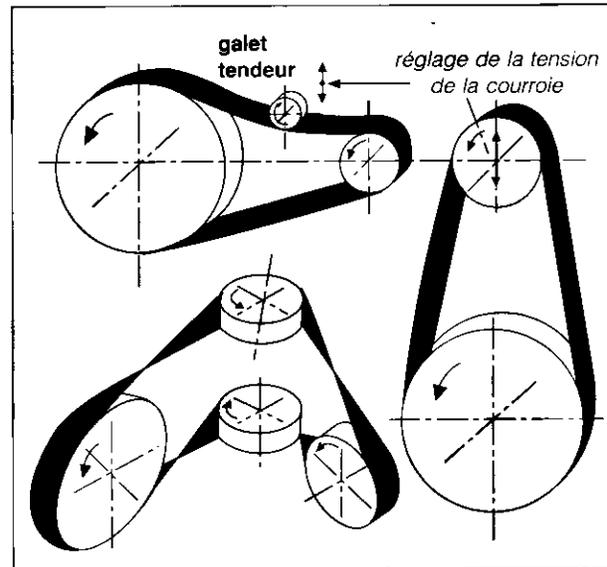
TYPES DE COURROIES	FORMES DE MAINTENANCE	
	MAINTENANCE CORRECTIVE OU PRÉVENTIVE SYSTÉMATIQUE	MAINTENANCE PRÉVENTIVE CONDITIONNELLE
PLATES	Après changement de la courroie, régler la tension (translation poulie ou gilet tendeur)	L'usure des courroies est un phénomène qui se prête bien à un suivi ou à une analyse vibratoire dans le cadre d'une action de maintenance conditionnelle.
TRAPÉZOÏDALES	Après changement de la courroie : • vérifier l'alignement des poulies • régler l'entraxe	L'usure des courroies est un phénomène qui se prête bien à un suivi ou à une analyse vibratoire dans le cadre d'une action de maintenance conditionnelle.
DENTÉES	• équilibrer si nécessaire pour les vitesses de rotation élevées.	

1b. Différentes formes de maintenance associées au changement des courroies.

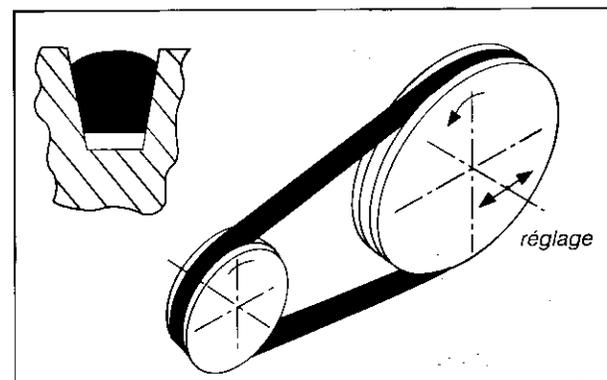
## 9

De la nécessité d'une bonne transmission des mouvements.

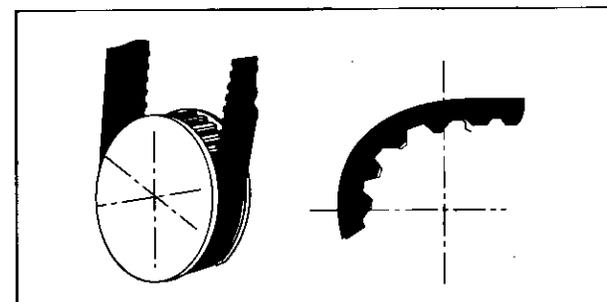
# FONCTION TRANSMISSION DE PUISSANCE MÉCANIQUE ET TRANSFORMATION DE MOUVEMENTS



1a. Courroies plates.



1b. Courroie trapézoïdale.



1c. Courroie dentée ou crénelée.

● TR  
ET

De me  
couple  
axes de  
vent é  
de qui  
démont

● TR

Les en  
tation

à un a  
fig. 1a  
Le racc

De mul

● Mod  
Fig  
● No

● Dan  
● Sa  
● Cre  
● Pas  
● Lar

E

1f. Ex

● TRANSMISSION PAR CHAÎNE ET ROUE DENTÉE

Ce mécanisme permet la **transmission d'un couple important à vitesse réduite** (fig. 1e). Les axes doivent être **parallèles et horizontaux** et peuvent être éloignés. Leur parallélisme doit être précis ce qui implique des précautions au montage-démontage ainsi qu'un graissage efficace.

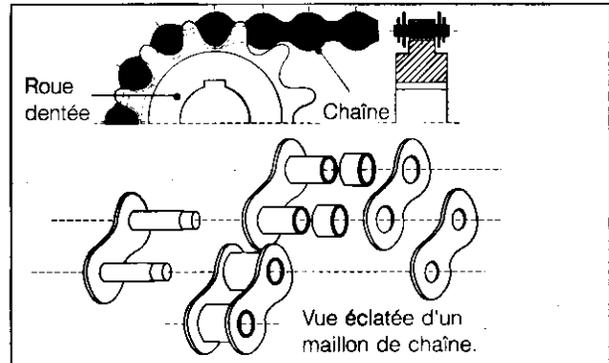
Si  $\frac{\omega_R}{\omega_M} > 1$  le mécanisme est un **multiplicateur**.

Si  $\frac{\omega_R}{\omega_M} < 1$  le mécanisme est un **réducteur**.

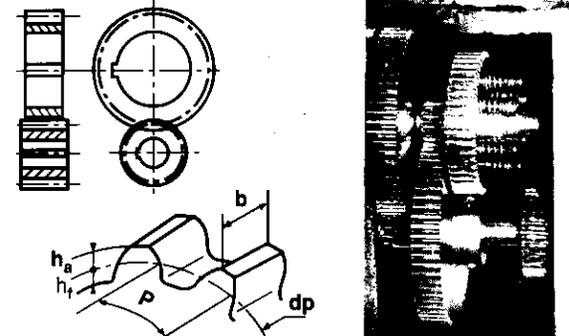
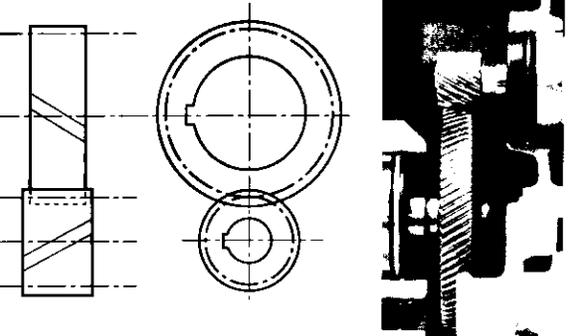
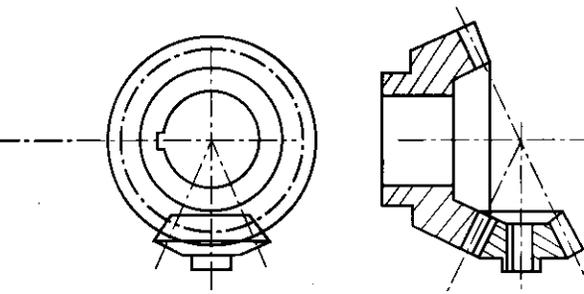
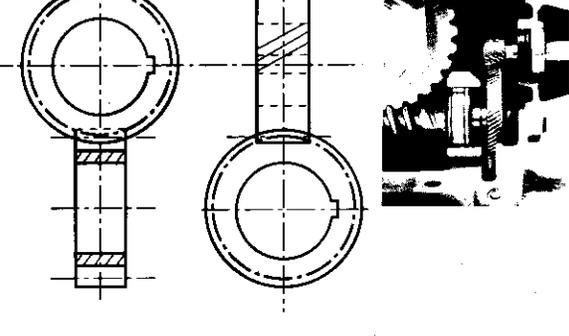
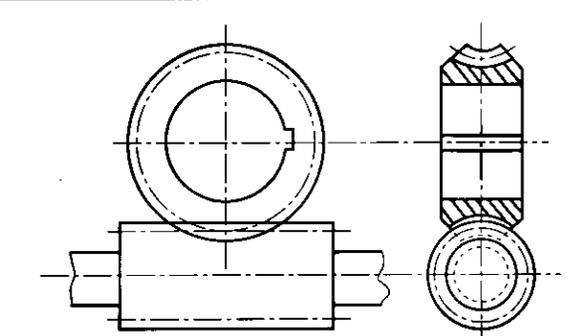
● TRANSMISSION PAR ENGRENAGE

Les engrenages transmettent un mouvement de rotation d'un arbre moteur de **vitesse angulaire  $\omega_M$**  à un **arbre récepteur de vitesse angulaire  $\omega_R$**  (fig. 1f).

Le rapport  $\frac{\omega_R}{\omega_M}$  est appelé **rapport de réduction** ou de **multiplication**.



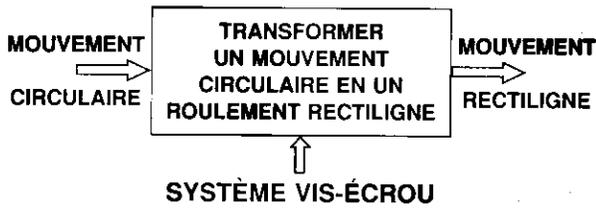
1e. Chaîne et roue dentée.

ENGRENAGE PARALLÈLE À DENTURE DROITE	ENGRENAGE PARALLÈLE À DENTURE HÉLICOÏDALE
 <ul style="list-style-type: none"> <li>● <b>Module</b> : m suivant le résultat d'un calcul de résistance des matériaux.</li> <li>● <b>Nombre de dents</b> : Z suivant le rapport de vitesse des deux roues : <math>\frac{n_A}{n_B} = \frac{Z_B}{Z_A}</math></li> <li>● <b>Diamètre primitif</b> : <math>dp = m.z</math></li> <li>● <b>Saillie</b> : <math>ha = m</math></li> <li>● <b>Creux</b> : <math>hf = 1,25 m</math></li> <li>● <b>Pas</b> : <math>p = m.\pi</math></li> <li>● <b>Largeur de la dent</b> : <math>b = k.m</math> (avec <math>k = 8</math> ou <math>10</math>).</li> </ul>	
<b>ENGRENAGE CONIQUE À AXES CONCOURANTS</b>	
	
<b>ENGRENAGE GAUCHE À DENTURE HÉLICOÏDALE</b>	<b>ENGRENAGE GAUCHE À VIS SANS FIN</b>
	

1f. Exemples de transmissions par engrenage.

## 2. TRANSFORMATION DE MOUVEMENTS

### ● SYSTÈME VIS-ÉCROU



Dans certaines conditions le système peut être réversible. Un **mouvement hélicoïdal** est la composition de deux mouvements :

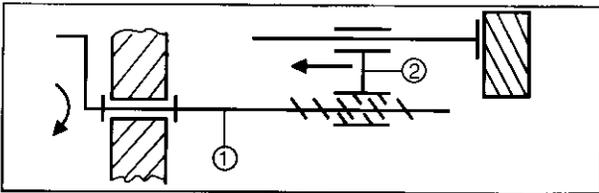
- un mouvement de rotation autour d'un axe,
- et un mouvement de translation rectiligne, parallèlement à ce même axe.

Dans le mécanisme vis-écrou chacun des mouvements peut appartenir à l'une ou à l'autre pièce.

Exemple (fig. 2a) :

- la vis ① est animée d'un mouvement de rotation,
- l'écrou ② est animé d'un mouvement de translation rectiligne.

Le mouvement relatif de ① par rapport à ② est un mouvement hélicoïdal.



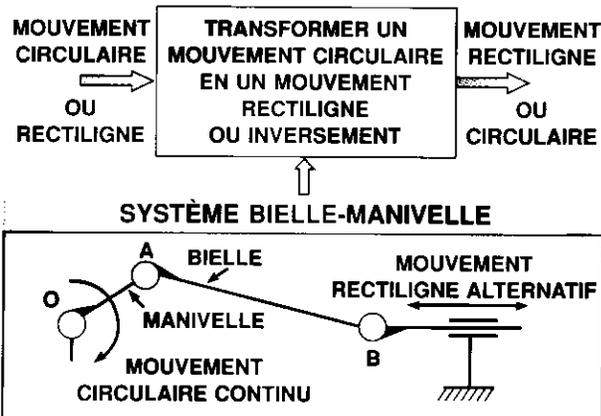
2a. Exemple de transmission de mouvement par vis-écrou.

La fig. 2b donne un exemple de ce système.



2b. Exemple de système vis-écrou : cric d'automobile.

### ● SYSTÈME BIELLE-MANIVELLE

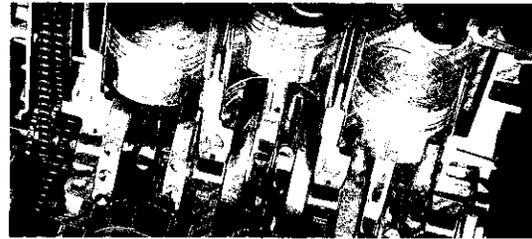


2c. Système bielle-manivelle.

Le schéma cinématique de ce mécanisme est donné fig. 2c.

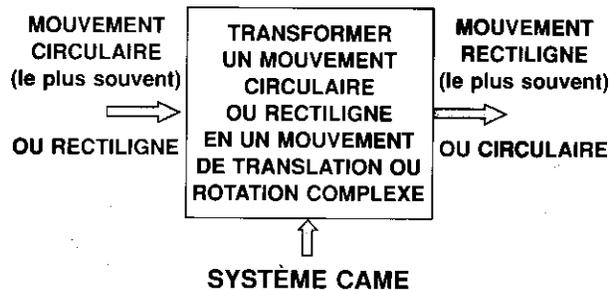
La **manivelle** ainsi que la **tête de bielle A** décrivent un **mouvement circulaire continu**. Le **piéd de bielle B** décrit un mouvement de **translation rectiligne alternatif**.

La fig. 2d donne un exemple de ce système.

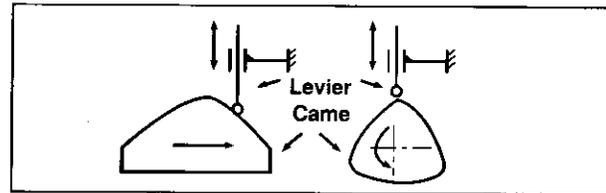


2d. Exemple du système bielle-manivelle : moteur à explosion.

### ● SYSTÈME CAME

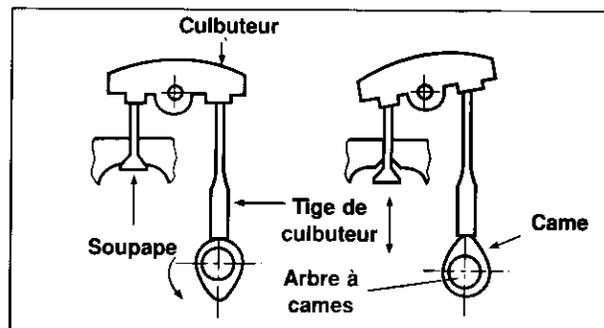


Entraînée suivant un **mouvement circulaire ou rectiligne** une **came**, dont le profil est adapté à l'application, **déplace un levier** suivant un **mouvement de translation rectiligne**, caractérisé par des relations qui peuvent être complexes entre l'amplitude des déplacements et leur vitesse.

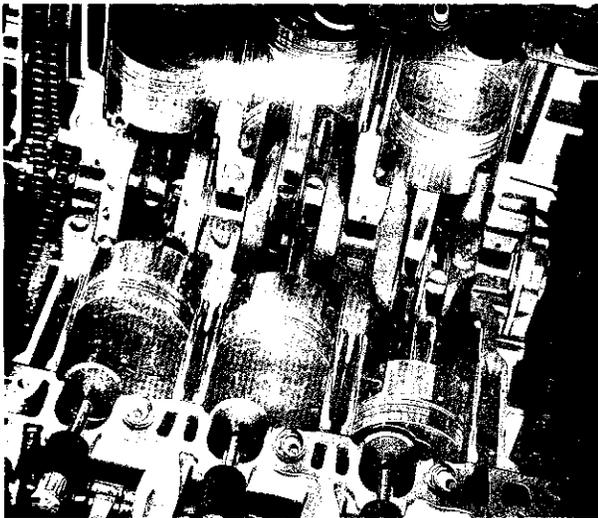


2e. Transformation d'un mouvement par un système came.

La fig. 2f donne le principe de la commande d'ouverture et de fermeture des soupapes d'un moteur à explosion par un système à cames.



2f. Arbre à cames d'un moteur à explosion.



De nombreux constituants pour assurer la fonction étanchéité.

# 10

## FONCTION ÉTANCHÉITÉ

### 1. IDENTIFICATION DE LA FONCTION

La fonction étanchéité est une fonction technique très importante souvent mise en œuvre dans les produits.

Cette fonction se justifie :

- lorsque les conditions de bon fonctionnement d'un produit exige sa protection contre les **agressions perturbatrices de son milieu environnant** (fig. 1a).

Exemples :

- le boîtier d'une montre de plongée sous-marine doit être étanche pour protéger le mécanisme contre toute pénétration d'eau,
- la porte d'un réfrigérateur doit présenter une bonne étanchéité pour assurer le fonctionnement correct de l'appareil pour une bonne conservation des aliments,
- le moteur d'une machine-outil de mécanique doit être du type étanche pour éviter toute introduction de copeaux, d'huile, de liquide d'arrosage qui en perturberaient le fonctionnement.

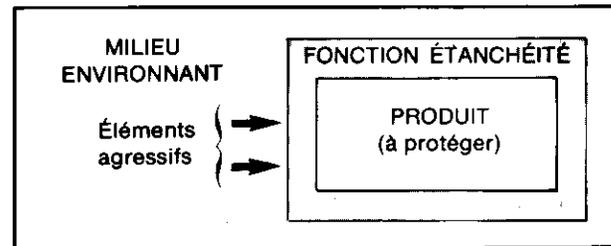
- lorsque le **milieu environnant doit être protégé contre les perturbations et les nuisances** liées au fonctionnement du produit mais également à ses situations de dysfonctionnement (fig. 1b).

Exemples :

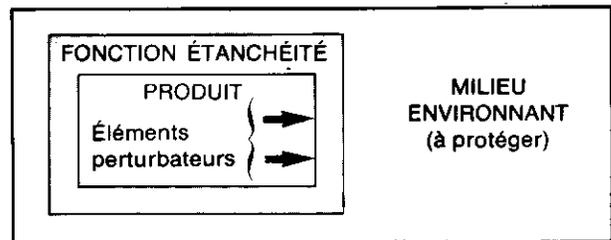
- le réservoir d'un cyclomoteur doit être étanche,
- le moteur électrique monté sur une machine de

*fabrication de mélanges pour feux d'artifices doit être étanche car la moindre étincelle dans le moteur provoquerait une explosion,*

- un lave-linge doit être étanche et ne pas présenter de fuites.



1a. La fonction étanchéité protège le produit des éléments agressifs du milieu environnant.



1b. La fonction étanchéité protège le milieu environnant des nuisances générées par le produit.

#### Dans un produit la FONCTION ÉTANCHÉITÉ :

- évite la pénétration d'éléments perturbateurs à son fonctionnement,
- protège le milieu environnant contre les perturbations et les nuisances liées au fonctionnement du produit.

## 2. HIÉRARCHISATION DE LA FONCTION ÉTANCHÉITÉ DANS LES PRODUITS

L'importance de la fonction étanchéité dépend de la nature des produits.

Elle doit s'imposer **impérativement** toutes les fois où sa non satisfaction entraîne des **conséquences préjudiciables à la sécurité des personnes et des biens**.

Exemples :

- dans la réalisation d'un réseau de distribution de gaz toxique ou inflammable sous pression,
- dans la conception de la cuve d'un réacteur nucléaire,
- dans le choix d'un appareil électrique qui fonctionne en atmosphère explosive.

Elle peut être une **fonction technique principale** et de ce fait nécessaire à la satisfaction de la fonction globale du produit.

Exemples :

La mauvaise étanchéité :

- de la chambre de combustion d'un moteur de cyclomoteur,
  - d'un réservoir,
  - d'un stylo à encre,
- ne permet pas à ces produits de satisfaire leur fonction globale.

Elle peut être également une **fonction technique complémentaire, ou secondaire**.

Exemple :

La mauvaise étanchéité :

- entre la portière et la carrosserie d'une voiture,
  - du bouchon de vidange de la boîte de vitesses d'une machine-outil,
- n'a pas d'influence directe sur la fonction globale du produit mais ne traduira, au bout d'un certain temps, par la **dégradation de la fonction globale** et la non satisfaction de la fonction d'usage exprimée par l'utilisateur.

En conséquence, la satisfaction de cette fonction technique met en œuvre :

- des moyens d'étude et de conception,
- ainsi que des solutions technologiques, très diversifiés suivant l'**importance relative** de la fonction étanchéité dans le produit qui est mise en évidence par l'**analyse fonctionnelle du produit**.

## 3. MÉTHODE GÉNÉRALE D'ÉTUDE DE LA FONCTION ÉTANCHÉITÉ (fig. 3b)

Quel que soit son niveau de hiérarchisation dans la structure du produit la fonction étanchéité doit :

- limiter,
- ou interdire,

la **circulation d'un fluide entre deux enceintes, ou entre une enceinte et l'atmosphère**.

C'est à partir de l'étude de la nature du fluide et des liaisons entre les pièces qui délimitent les enceintes que se conçoit la solution technologique à mettre en œuvre.

Pour la fonction étanchéité deux types de liaisons sont retenus :

- les **pièces sont encastrées** et ne présentent **aucun degré de liberté**, il faut étudier une solution d'**étanchéité statique**,
- ou les pièces présentent **au moins un degré de liberté** et dans ce cas c'est une étude d'**étanchéité dynamique**.

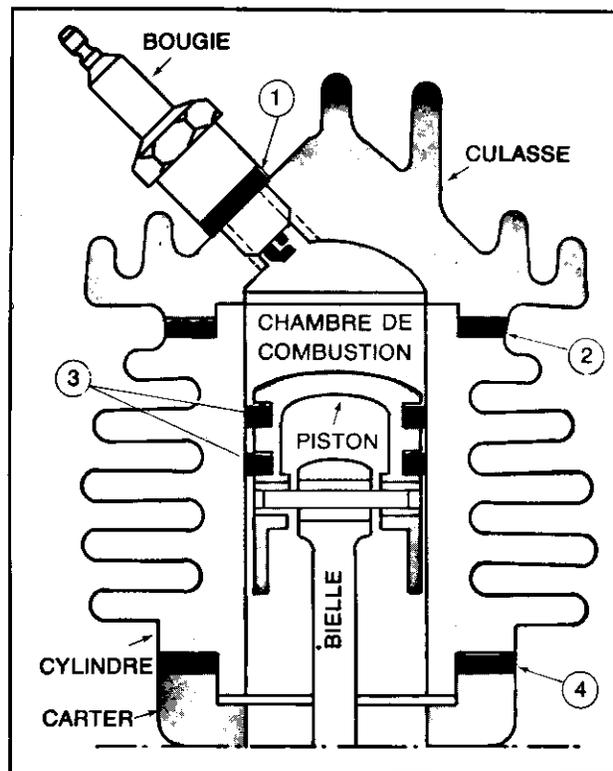
Exemple :

**Chambre de combustion d'un moteur deux temps** (fig. 3a).

A un moment donné du cycle de fonctionnement du moteur l'enceinte, **chambre de combustion**, délimitée par le cylindre, la culasse, le piston et la bougie doit être **étanche**.

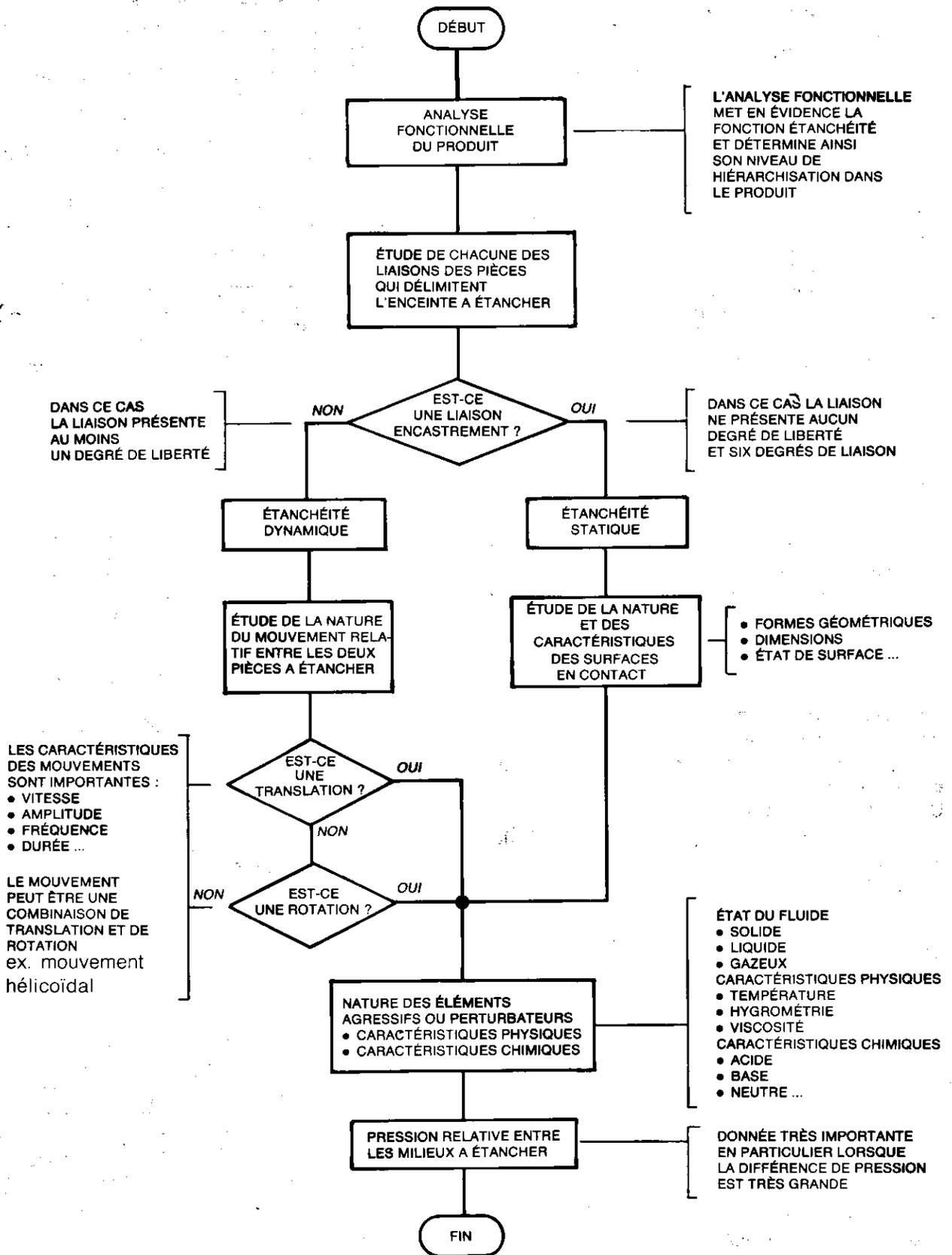
D'où :

- en ① et ② les pièces sont **encastrées**, il faut réaliser une **étanchéité statique**,
- en ③ la liaison piston-cylindre présente un **degré de liberté**, c'est un problème d'**étanchéité dynamique**.
- en ④ l'**encastrement** cylindre-carter et l'**étanchéité statique** réalisée évitent des fuites d'huile de graissage.



3a. Exemples de solutions d'étanchéité :

- en 1, 2 et 4 : étanchéité statique,
- en 3 : étanchéité dynamique.



3b. Méthode générale d'étude de la fonction étanchéité.

#### 4. COMMENT RÉALISER UNE ÉTANCHÉITÉ

##### ● ÉTANCHÉITÉ STATIQUE

###### ● PAR CONTACT DIRECT

Pour réaliser, par contact direct, une **bonne étanchéité** entre deux surfaces il est nécessaire :

- que ces **surfaces** soient **parfaitement planes**,
- que leurs **positions relatives** soient en **parfaite coïncidence**.

La première condition ne sera jamais totalement satisfaite car toute surface usinée présente un état de surface caractérisé par une certaine **rugosité**. De ce fait le contact direct de deux surfaces se traduit, après serrage, par l'écrasement de certaines rugosités ce qui provoque (fig. 4a) :

- des **zones de contact** assurant une bonne étanchéité,
- réparties au milieu de **zones de non contact** qui ne présentent qu'une étanchéité limitée.

La solution est :

- de **réduire l'étendue des surfaces** en coïncidence et de les usiner avec soin,
- de **serrer fortement** l'une contre l'autre les deux pièces en contact.

**Cette solution d'étanchéité est onéreuse.**

###### ● PAR JOINT D'ÉTANCHÉITÉ

Pour réduire le coût d'une étanchéité par contact direct il est interposé entre les deux surfaces à étancher un **solide déformable** appelé **joint d'étanchéité**.

Un **joint d'étanchéité** doit :

- **compenser toutes les rugosités** des surfaces usinées,
- **résister à l'écrasement** dû à la pression des actions mécaniques de serrage,
- **résister à la pression** relative du fluide et ne pas provoquer avec lui de réaction chimique.

Pour chaque application industrielle correspond un type de joint d'étanchéité qui peut être **plat** (fig. 4b) ou **torique** (fig. 4c).

##### ● ÉTANCHÉITÉ DYNAMIQUE

Les solutions technologiques à mettre en œuvre dépendent du mouvement relatif entre les deux pièces

###### ● CAS D'UNE TRANSLATION

Il est utilisé des **joints toriques** (fig. 4c) ou des joints ayant une section sensiblement carrée.

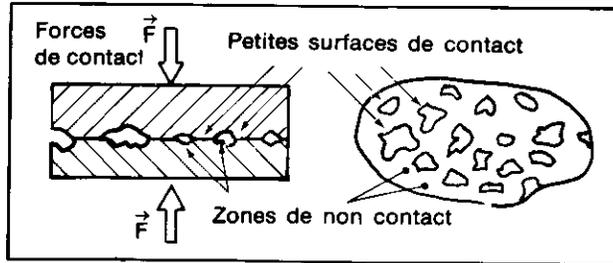
###### ● CAS D'UNE ROTATION

Le joint torique peut être utilisé si la vitesse relative entre les deux pièces est faible.

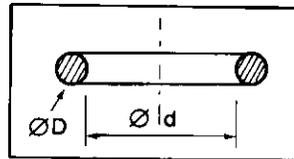
Dans les autres cas il est utilisé un **joint à lèvres**. Il comprend (fig. 4d) :

- une **armature métallique** pour sa **rigidité**,
- un corps en **caoutchouc** avec la **lèvre d'étanchéité**,
- un **ressort circulaire** à spires qui applique la lèvre sur l'arbre (fig. 4e).

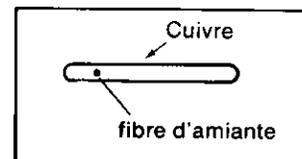
L'étanchéité d'un palier à roulements peut être assurée par des **passages étroits** qui empêchent l'écoulement du lubrifiant et l'introduction d'impuretés abrasives dans les roulements (fig. 4f).



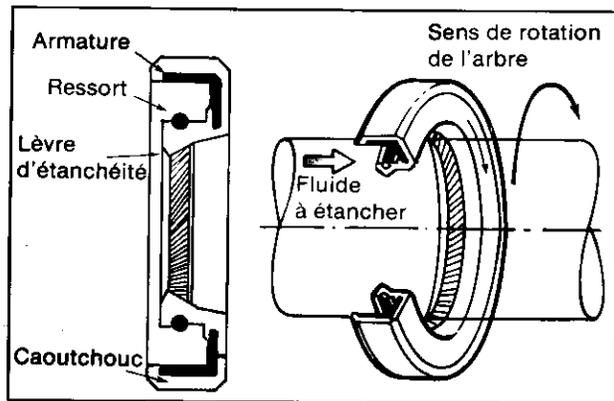
4a. La rugosité des surfaces en contact empêche une bonne étanchéité.



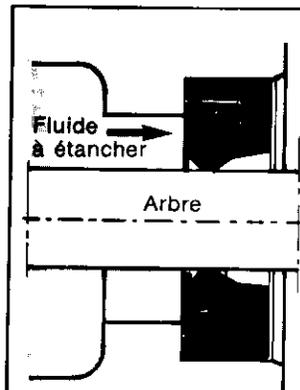
4b. Coupe d'un joint torique.



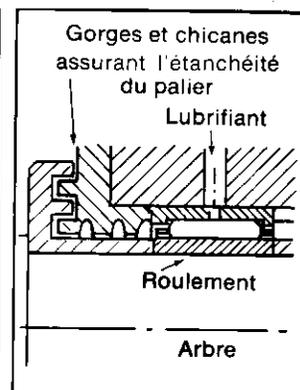
4c. Coupe d'un joint plat métalloplastique.



4d. Joint à lèvres (d'après PAULSTRA).



4e. Étanchéité d'un palier par un joint à lèvres.



4f. Étanchéité d'un palier par passages étroits (d'après NADELLA).

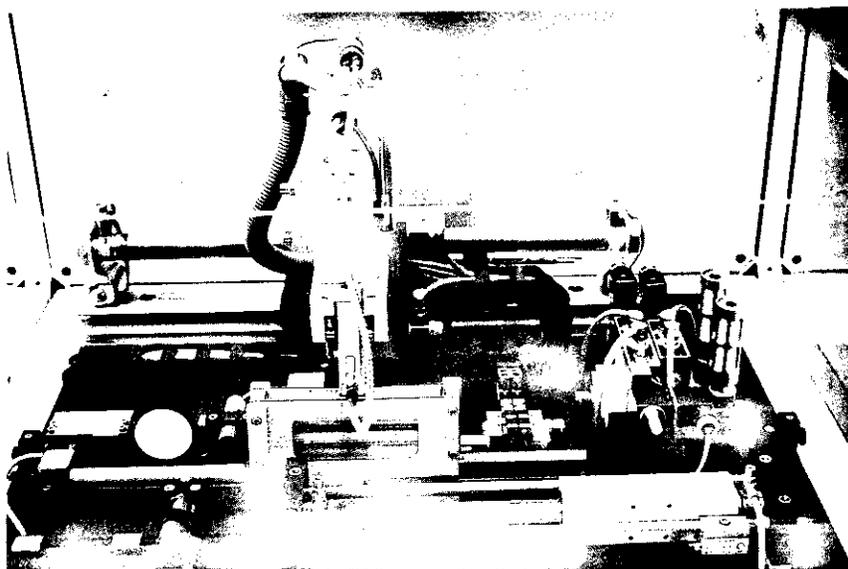
# TROISIÈME PARTIE

## MODES DE REPRÉSENTATION DES SYSTÈMES DE PRODUCTION

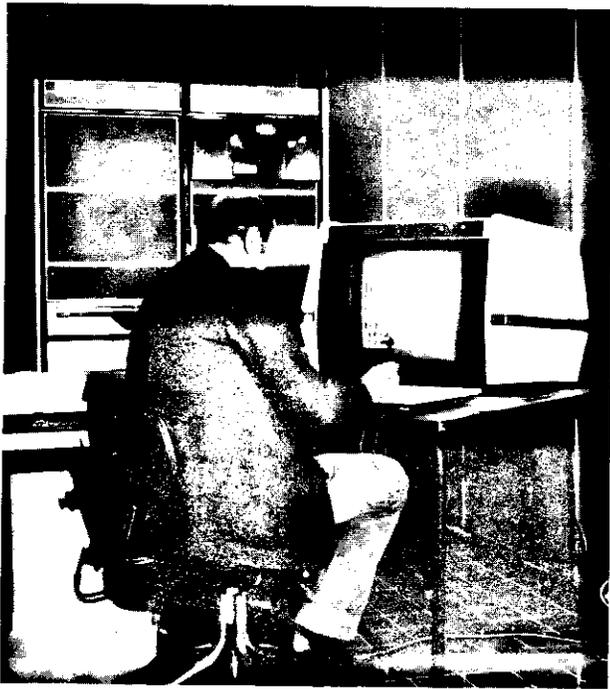
- DESSIN TECHNIQUE MÉCANIQUE
- SCHÉMAS ÉLECTROTECHNIQUES ET ÉLECTRONIQUES
- DÉMARRAGE DES MOTEURS ASYNCHRONES À CAGE
- SCHÉMAS DES ÉQUIPEMENTS PNEUMATIQUES ET HYDRAULIQUES

Les contenus proposés dans cette troisième partie représentent les **ressources nécessaires** à l'acquisition des **savoirs et du savoir-faire technologique** de la maintenance par un développement progressif des **capacités** :

- de reconnaître sur un plan les vues représentées et d'identifier les pièces ;
- d'identifier les volumes principaux d'une pièce et de repérer le groupe des surfaces qui participent aux différentes liaisons ;
- de dessiner une pièce simple à partir d'un dessin d'ensemble ;
- de décoder un schéma électrotechnique ou électronique relatif à un objet technique simple ;
- d'identifier les fonctions d'un équipement de démarrage des moteurs asynchrones triphasés à cage ;
- de décoder un schéma de démarrage direct d'un moteur asynchrone triphasé à cage ;
- d'identifier les fonctions d'un équipement hydraulique ou pneumatique ;
- de décoder un schéma d'équipement hydraulique ou pneumatique relatif à un équipement simple ;
- de décoder les schémas logiques et d'usage d'un séquenceur pneumatique.



Un système de production pluritechnologique nécessite la connaissance des différents modes de représentation graphique.



*De l'intérêt d'une conception assistée par ordinateur.*

# 11

## DESSIN TECHNIQUE MÉCANIQUE

### 1. LANGAGE DE COMMUNICATION TECHNIQUE

Le technicien doit pouvoir :

- **communiquer sa pensée technique** et permettre ainsi la création et la fabrication des objets techniques,
- **comprendre** la conception, les conditions de réalisation et d'exploitation des objets techniques créés par d'autres.

Cette condition impose, aux différents stades :

- de la conception,
- de l'organisation de la fabrication,
- de la fabrication,
- de l'exploitation,

de l'objet technique, un **langage de communication technique**.

Ce moyen d'expression technique doit être :

- **universel**, c'est-à-dire compréhensible par l'ensemble des techniciens d'où une forme d'expression codifiée et normalisée,
- **adapté** à la nature de l'objet technique,
- **transcriptible** sur les différents supports matériels de communication depuis le papier jusqu'à l'écran d'une console de visualisation (fig. 1a).



**1a.** Dans un bureau d'études la conception assistée par ordinateur (CAO), permet au dessinateur :

- d'utiliser l'ensemble des programmes de calcul et de conception disponibles dans la mémoire de l'ordinateur,
- de sélectionner rapidement les éléments du dessin et d'en visualiser leur association sur l'écran.

**Un LANGAGE de COMMUNICATION TECHNIQUE est indispensable pour le technicien.  
Ce langage CODIFIÉ et NORMALISÉ doit être UNIVERSEL.**

2. OPÉR

La grande

l'opérat

tion tech

Des opé

l'opérat

l'opérat

l'opérat

● PRE  
DU B

EX

## 2. OPÉRATEURS DE COMMUNICATION TECHNIQUE

La grande diversité des objets techniques impose un langage de communication qui utilise un ensemble important d'**outils** ou **opérateurs de communication technique**.

Ces opérateurs de communication technique sont différents suivant le niveau auquel ils s'appliquent (fig. 2a).

### ● PREMIER NIVEAU : EXPRESSION DU BESOIN

C'est l'**expression du besoin** d'un client qui justifie :

- la fabrication d'un produit,
- l'exécution d'un service.

Cette expression de besoin se traduit par un **cahier des charges** qui devient un **contrat** entre le client et l'entreprise.

### ● DEUXIÈME NIVEAU : ÉTUDE

A partir du cahier des charges dans lequel la **fonction globale** de l'objet technique doit être définie l'étude peut se répartir en deux activités :

- le **projet** qui présente la structure fonctionnelle et met en évidence les **fonctions principales**,
- et les **études détaillées** des différents constituants qui précisent leurs **caractéristiques fonctionnelles et dimensionnelles**.

### ● TROISIÈME NIVEAU : FABRICATION DU PRODUIT, EXÉCUTION DU SERVICE

A ce niveau, la communication technique est concernée par les **procédés** :

- de **fabrication** des **constituants**,
- d'**assemblage** du **produit**,
- d'**exécution** du **service**.

NIVEAU D'APPLICATION	NATURE DES OPÉRATEURS DE COMMUNICATION TECHNIQUE	
EXPRESSION DU BESOIN	CAHIER DES CHARGES	<ul style="list-style-type: none"> <li>• DESCRIPTIFS</li> <li>• SCHÉMAS FONCTIONNELS</li> <li>• DIAGRAMMES FONCTIONNELS</li> <li>• • •</li> </ul>
ÉTUDE	PROJET DE L'OBJET TECHNIQUE	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Outils <b>descriptifs</b>, complémentaires aux spécifications du cahier des charges, qui définissent mieux la <b>FONCTION GLOBALE</b> de l'objet technique.</li> <li>• SCHÉMAS EXPLICATIFS</li> <li>• DESSINS DE CONCEPTION</li> <li>• NOMENCLATURES</li> <li>• • •</li> </ul>
	ÉTUDE DÉTAILLÉE DES CONSTITUANTS	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Outils <b>explicatifs</b> :                             <ul style="list-style-type: none"> <li>• qui précisent la structure générale de l'objet technique,</li> <li>• et mettent en évidence les <b>FONCTIONS PRINCIPALES</b>.</li> </ul> </li> <li>• SCHÉMAS DE RÉALISATION</li> <li>• DESSINS DE DÉFINITION</li> <li>• DOCUMENTS DE CONTRÔLE</li> <li>• • •</li> </ul>
FABRICATION	PROCÉDÉS DE FABRICATION DU PRODUIT MÉTHODES D'EXÉCUTION DU SERVICE	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Outils <b>de définition</b> :                             <ul style="list-style-type: none"> <li>• qui spécifient les caractéristiques fonctionnelles et dimensionnelles des constituants,</li> <li>• et précisent les références pour le contrôle.</li> </ul> </li> <li>• SCHÉMAS D'EXÉCUTION</li> <li>• DESSINS DE FABRICATION</li> <li>• LOGICIELS DE PRODUCTION</li> <li>• • •</li> </ul>
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Outils <b>d'exécution</b> des constituants, du produit, du service, qui spécifient leurs conditions de fabrication, d'exécution, d'assemblage, de contrôle,...</li> </ul>

2a. Opérateurs de communication technique.

**Les OPÉRATEURS de COMMUNICATION TECHNIQUE sont nécessaires pour préciser et coordonner, à partir de l'EXPRESSION d'un BESOIN, toutes les activités qui contribuent à sa SATISFACTION.**

### 3. REPRÉSENTATION NORMALISÉE DU DESSIN TECHNIQUE

Beaucoup d'opérateurs de communication technique utilisent l'**expression graphique** pour concrétiser toutes les informations relatives à :

- leur conception,
- leur fabrication,
- leur utilisation.

Pour être **concise et facile** à interpréter l'expression graphique doit respecter les règles de la **représentation normalisée du dessin technique**.

#### ● PROJECTIONS

##### • Principe de la projection d'une seule face.

L'objet technique placé devant un observateur est **projeté** sur un plan disposé de telle sorte que les rayons visuels issus de l'observateur et parallèles entre eux, soient perpendiculaires au plan (fig. 3a).

La **projection** de la face observée de l'objet technique est en **vraie grandeur**.

##### • Projections simultanées des trois faces d'un objet technique.

Soit l'angle d'une boîte constitué par deux plans verticaux **P1** et **P2** formant entre eux un angle droit et également perpendiculaires à un troisième plan **P3** horizontal (fig. 3c).

Dans cet angle est placé parallèlement aux plans **P1**, **P2**, **P3** l'objet technique radio-cassette.

Supposons un observateur qui regarde successivement depuis **A**, **B** et **C**, l'objet technique.

En considérant que les rayons visuels issus de son œil :

- restent parallèles entre eux,
- tout en étant respectivement perpendiculaires aux plans **P1**, **P2**, **P3**,

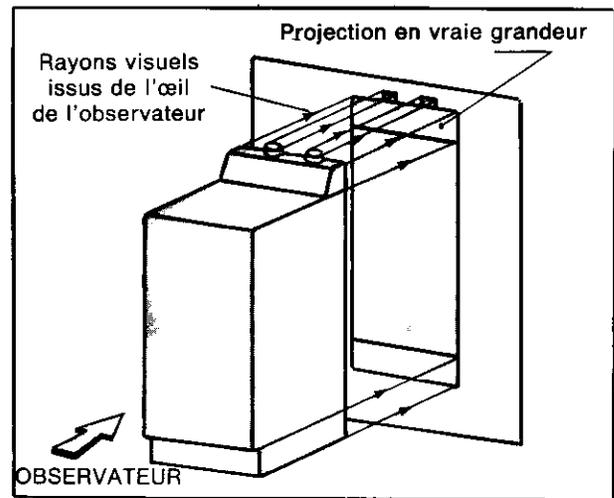
on obtient sur ces trois plans une **projection, en vraie grandeur**, des trois faces observées de l'objet technique.

En mettant en **coïncidence, par rabattement**, les plans **P2** et **P3** avec le plan **P1**, les trois projections se trouvent disposées conformément à la fig. 3c.

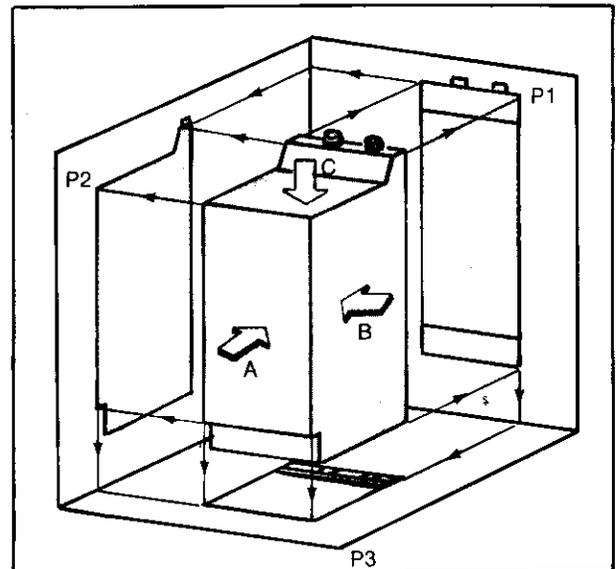
Les parties cachées de l'objet technique peuvent être représentées sur ces trois projections par des traits interrompus fins.

Ces projections sont dites **orthogonales** car les rayons issus de l'observateur sont **perpendiculaires**

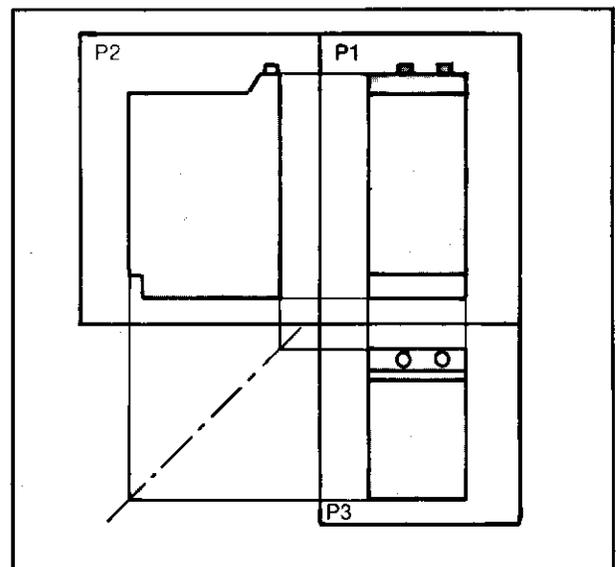
- à la face observée de l'objet technique,
- et au plan de projection.



3a. Projection d'une seule face de l'objet technique.



3b. Projections simultanées de trois faces d'un objet technique.



3c. Représentation des trois projections dans un même plan.

● DÉNOMINATION ET DISPOSITION DES VUES

Ensemble sur un même plan les trois projections de l'objet technique.

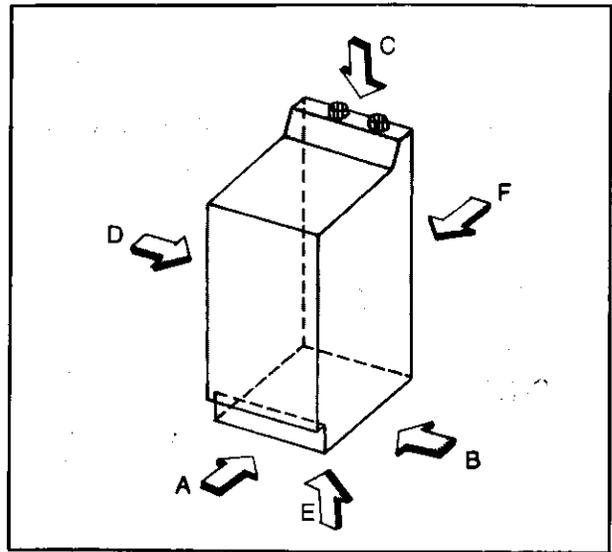
À tout moment l'observateur peut occuper six positions repérées A, B, C, D, E et F sur la fig. 3c.

Pour chacune de ces positions correspond une projection donc une vue (fig. 3d).

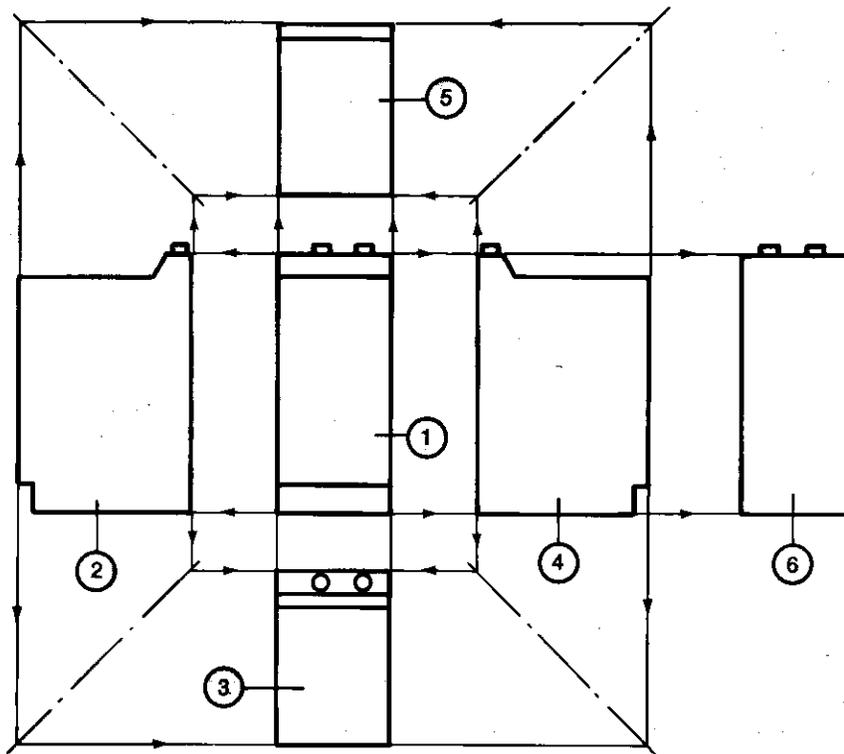
Les vues sont désignées par les positions successivement occupées par l'observateur, par rapport à l'objet technique.

Le tableau 3e récapitule les règles normalisées concernant :

- la dénomination,
- et la position relative des vues, du dessin technique.



3c. Positions de l'observation de l'objet technique.



3d. Disposition normalisée des vues.

POSITION DE L'OBSERVATEUR	DÉNOMINATION DE LA VUE	POSITION DE LA VUE PAR RAPPORT A LA VUE DE FACE	REPÈRE DE LA VUE	CHOIX DES VUES
A, en face	Vue de face		1	La vue de face (vue principale) représente l'objet dans sa position d'utilisation. Le nombre de vues est limité au minimum suffisant pour définir l'objet sans ambiguïté.
B, à droite	Vue de droite	à gauche	2	
C, au-dessus	Vue de dessus	au-dessous	3	
D, à gauche	Vue de gauche	à droite	4	
E, au-dessous	Vue de dessous	au-dessus	5	
F, à l'arrière	Vue d'arrière	à droite ou à gauche	6	

3e. Dénomination des vues, position par rapport à la vue de face (repérer sur fig. 3d).

● NATURE DES TRAITS

Tous les **traits** d'un dessin technique ont une **signification conventionnelle**.

La compréhension d'un dessin impose le respect des conventions normalisées relatives au tracé de ces traits (fig. 3f).

● ÉCHELLES

Les vues d'une pièce peuvent être agrandies ou diminuées par l'emploi d'une échelle :

- Echelles d'agrandissement :  
2:1, 2,5:1, 5:1, 10:1
- Echelles de réduction :  
1:2, 1:2,5, 1:5, 1:10

Toutes les fois que cela est possible il faut utiliser l'échelle 1:1 (grandeur réelle).

Dans les fig. 3f et 3g l'échelle est 1:2.

● SECTIONS ET COUPES

Proposer une section ou une coupe de l'objet technique revient à couper ce dernier par un plan encore appelé **plan sécant**.

Lorsque la localisation de ce plan de coupe est nécessaire, elle est indiquée sur une des vues par un trait mixte fin, fort aux extrémités et aux changements de direction.

Le plan de coupe doit alors être repéré par des lettres majuscules et le sens d'observation doit être indiqué par des flèches.

**Une section représente exclusivement la surface de l'objet technique située dans le plan de coupe** (section B-B fig. 3g).

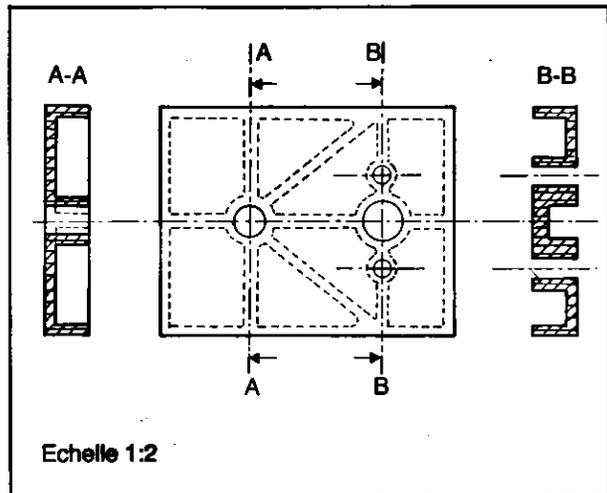
**Une coupe représente la section et la partie de l'objet située en arrière du plan de coupe** (coupe A-A fig. 3g).

Les **hachures** sont généralement utilisées pour mettre en évidence les parties coupées dans les sections ou les coupes (fig. 3h).

Elles sont de préférence inclinées à 45°.

TRAIT	DÉSIGNATION APPLICATIONS	EXEMPLE
	<b>CONTINU FORT</b> ● Arêtes et contours vus	<p>ECHELLE 1 : 2 COULISSEAU D'UN SUPPORT DE MECANISME</p>
	<b>CONTINU FIN</b> ● Lignes de cote ● Hachures	
	<b>INTERROMPU FIN</b> ● Arêtes et contours cachés	
	<b>MIXTE FIN</b> ● Axes et plans de symétrie	
	<b>MIXTE FIN, FORT AUX EXTRÉMITÉS ET AUX CHANGEMENTS DE DIRECTION</b> ● Traces de plans de coupe	

3f. Nature des traits.



3g. Socle d'un support de mécanisme ; coupe A-A ; Section B-B.

	Cuivre et alliages de cuivre		Bois en coupe transversale
	Métaux et alliages légers		Bois en coupe longitudinale
	Antifriction ou toutes matières coulées sur une pièce		Matières plastiques ou isolantes.
	Isolant thermique		

3h. Hachures conventionnelles permettant de différencier les grandes catégories de matière.

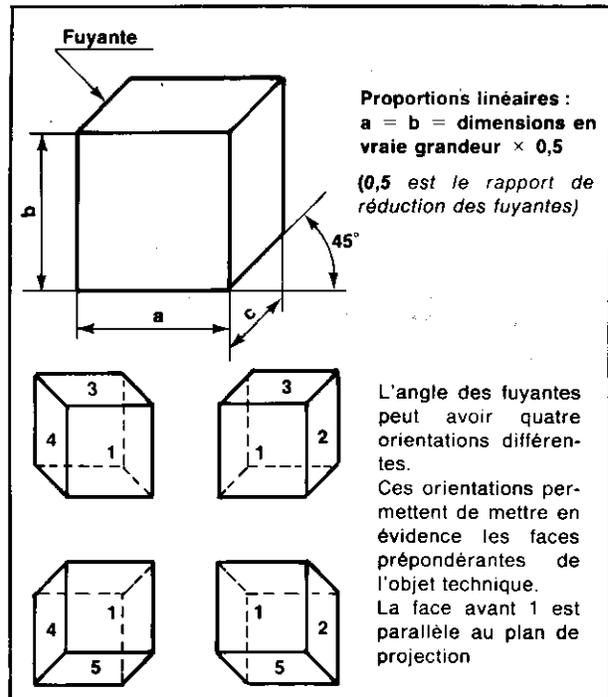
### 4 REPRESENTATIONS DITES EN PERSPECTIVE

Lors que le dessin technique normalisé permet de représenter dans le plan un objet tridimensionnel, les « représentations en perspective » sont destinées à restituer une dimension spatiale à l'objet. Elles le décrivent tel que, par exemple, l'œil pourrait percevoir (fig. 4c).

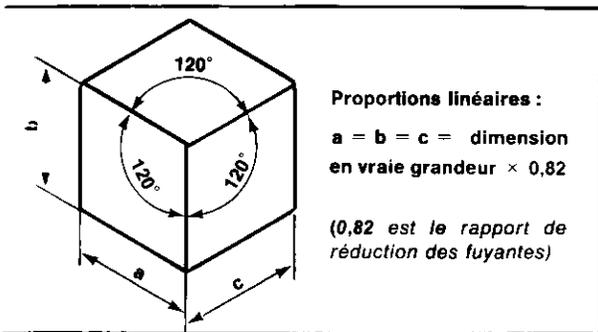
Ce mode de représentation est utilisé à des fins pédagogiques ou didactiques pour faciliter la compréhension des formes ou du fonctionnement de l'objet.

Plusieurs modes de représentation en perspective sont normalisés :

- la perspective cavalière (4a)
- la perspective isométrique (4b)



4a. Perspective cavalière (cube de référence).



4b. Perspective isométrique (cube de référence).

### 5. REPRÉSENTATION ÉCLATÉE

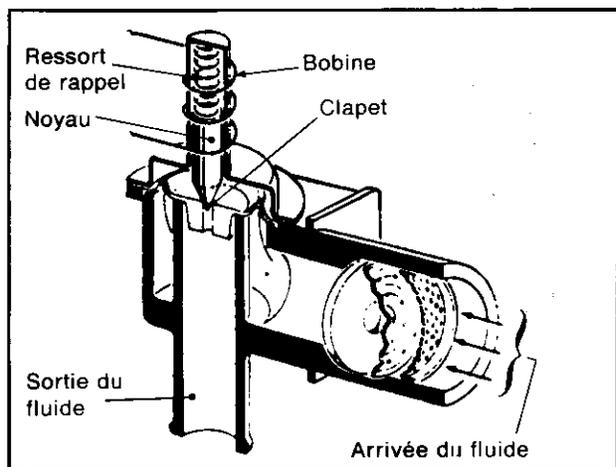
C'est un cas particulier de représentation en perspective qui est la **représentation éclatée** (fig. 4d).

Cette représentation **non normalisée** se généralise sur les dessins de catalogue.

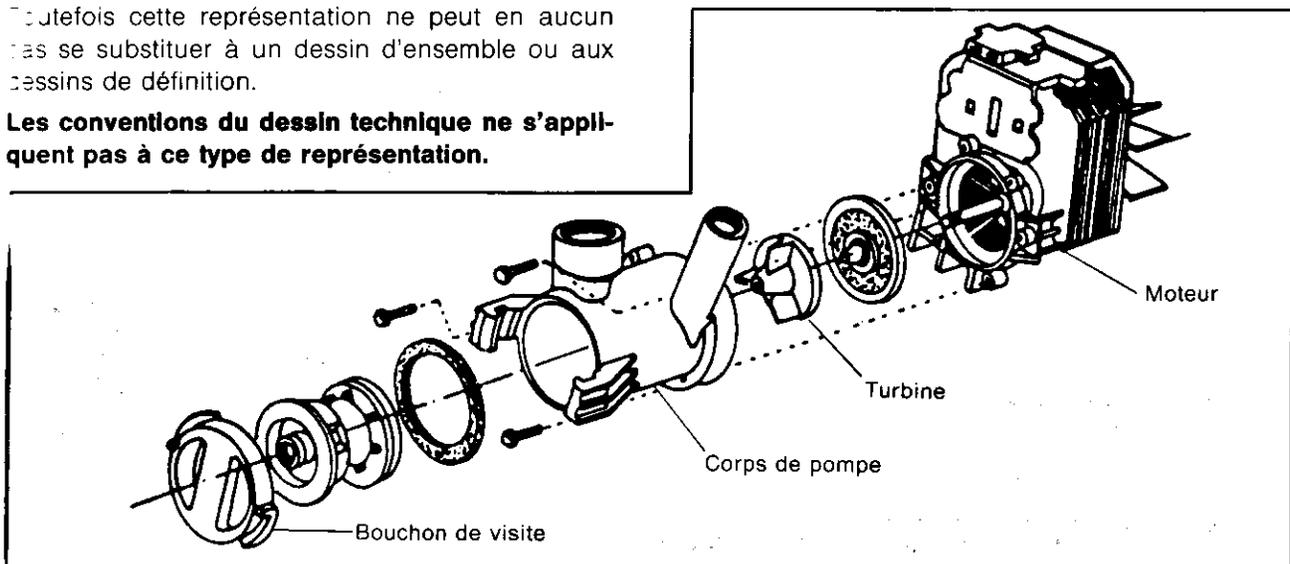
Très appréciée des services après vente, elle permet, les pièces étant représentées dans l'ordre de montage, des démontages, réparations et remontages faciles.

Toutefois cette représentation ne peut en aucun cas se substituer à un dessin d'ensemble ou aux dessins de définition.

**Les conventions du dessin technique ne s'appliquent pas à ce type de représentation.**



4c. Représentation en perspective d'une électro-vanne de lave-linge.



4d. Représentation éclatée d'une pompe de vidance de lave-linge.

## 6. REPRÉSENTATION NORMALISÉE DES PIÈCES FILETÉES

### ● CAS D'EMPLOI DES PIÈCES FILETÉES

En mécanique les **pièces filetées** sont d'un emploi très courant.

Elles sont utilisées :

- pour **assurer un effort de pression** entre des pièces, afin de les immobiliser les unes par rapport aux autres, et satisfaire ainsi une **fonction d'assemblage démontable** (fig. 6a).

Exemples dans une bicyclette (fig. 6b).

- le blocage du moyeu d'une roue sur le cadre avec un écrou papillon,

- l'obturation de la valve de la chambre à air par le bouchon fileté,

- fixation de la pédale sur la manivelle du pédalier par la partie filetée de l'axe.

- pour **transformer un mouvement de rotation en un mouvement de translation**, c'est le **système vis-écrou**.

Exemples :

- déplacement des tables des machines-outils,
- serrage d'une pièce entre le mors fixe et le mors mobile d'un étau,

- déplacement du joint obturateur d'un robinet d'eau en tournant sa poignée.

### ● DÉSIGNATION DES PIÈCES FILETÉES

Quatre familles de pièces filetées sont utilisées :

- Vis (fig. 6c).

Elles sont constituées par une **tige filetée** sur tout ou partie de leur longueur, **avec ou sans tête**, mais comportant toujours un dispositif d'entraînement ou d'immobilisation.

- Ecrus (fig. 6d)

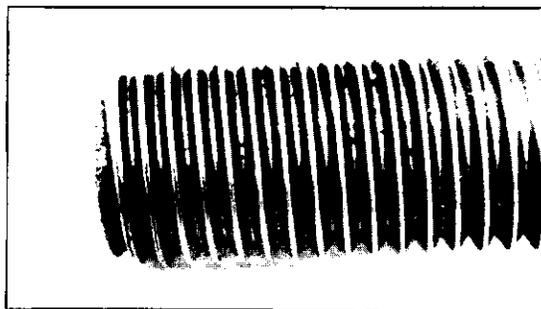
Ces **pièces taraudées** sont destinées à être **vis-sées** et comportent de ce fait un dispositif d'entraînement.

- Boulons (fig. 6e)

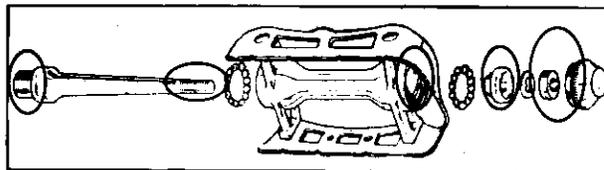
Ces **ensembles constitués d'une vis à tête et d'un écrou** assurent un serrage de plusieurs pièces entre la face d'appui de la tête et celle de l'écrou.

- Goujons (fig. 6f)

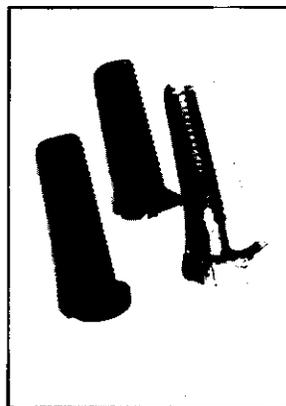
Ces **tiges filetées aux deux extrémités** sont destinées à assurer le serrage d'une ou de plusieurs pièces entre la face d'une pièce dans laquelle une des extrémités a été vissée et la face d'appui de l'écrou vissé sur l'autre extrémité.



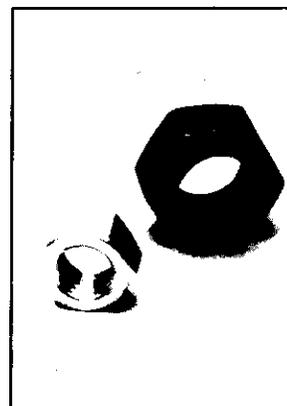
6a. Filetage extérieur.



6b. Parties filetées dans une pédale.



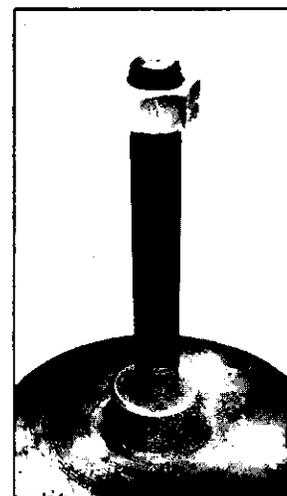
6c. Exemples de vis.



6d. Exemples d'écrous.



6e. Exemple de boulon.



6f. Exemple de goujon.

**Les VIS, les ÉCROUS, les BOULONS, les GOUJONS sont des pièces FILETÉES très utilisées en mécanique.**

● CARACTÉRISTIQUES D'UN FILETAGE

Le filetage est obtenu à partir d'un **cylindre** sur lequel est exécuté une **rainure hélicoïdale**. Le **filet est la partie pleine restante**.

Deux caractéristiques principales d'un filetage sont :

- le **diamètre nominal**,
- et le **pas**.
- **Diamètre nominal** (fig. 6g).

Pour une **vis** c'est le **diamètre mesuré au sommet des filets : diamètre D**.

Pour un **écrou** c'est le **diamètre mesuré au fond des filets : diamètre d**.

- **Pas**.

Le **pas** est la **distance entre deux filets consécutifs de l'hélice**.

Pour une rotation d'un tour, une vis ou un écrou, se déplace en translation d'une distance égale à son pas.

Autres caractéristiques telles que :

- le sens de l'hélice, à droite ou à gauche,
- le profil des filets, métrique, rond, trapézoïdal,
- le nombre de filets,

doivent être pris en considération pour qu'une vis et un écrou puissent s'assembler.

Toutes ces caractéristiques sont définies par des spécifications normalisées.

Exemple :

Le tableau figure 6h précise pour les filetages de profil métrique normalisé les diamètres nominaux et les pas correspondants.

● REPRÉSENTATION DES PIÈCES FILETÉES

Une **pièce filetée se représente toujours comme une pièce lisse, sans filetage**.

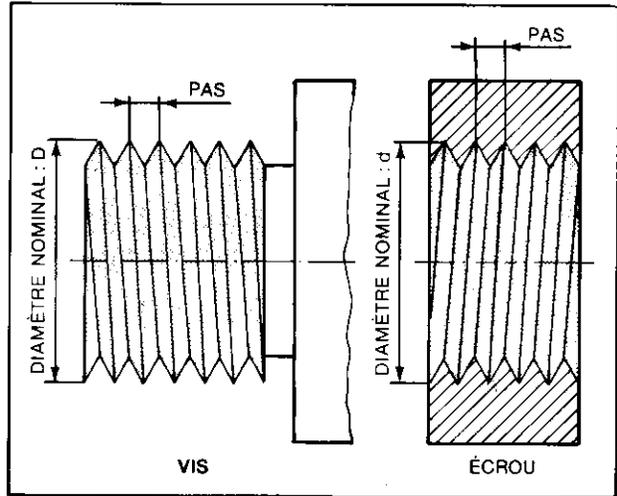
- FILETAGES VUS (fig. 6i)
- **Tige**.

Le **diamètre nominal D** est représenté par un **trait continu fort**, le **diamètre en fond de filet d** par un **trait continu fin**.

Le **diamètre au sommet des filets, ou diamètre de perçage** est représenté par un **trait continu fort**.

Pour la **vue en bout du filetage** le **fond de filet** est représenté par une **portion de cercle**, tracée en **trait continu fin** sur les **trois quarts de la circonférence** environ.

Dans une représentation **en coupe** les **hachures s'arrêtent toujours sur le trait fort**.

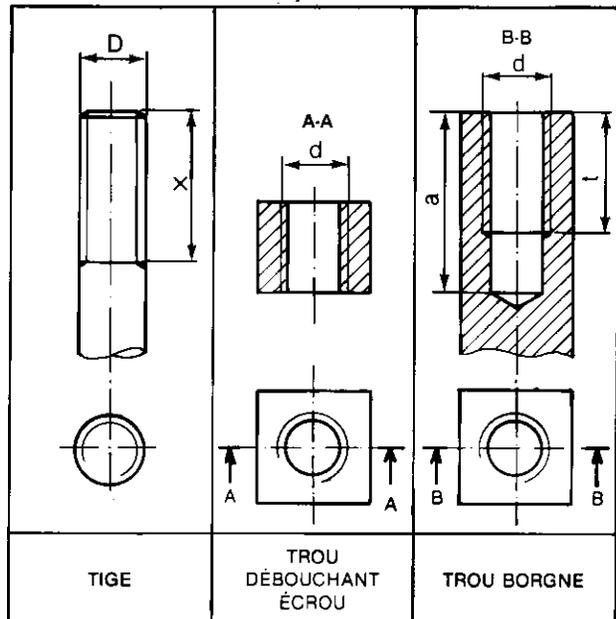


6g. La vis et l'écrou ont le même diamètre nominal D et le même pas.

D ou d (mm)	PAS GROS (mm)	PAS FINS (mm)	D ou d (mm)	PAS GROS (mm)	PAS FINS (mm)
3	0,5	0,35	(18)	2,5	1 -1,5-2
4	0,7	0,5	20	2,5	1 -1,5-2
5	0,8	0,5	(22)	2,5	1 -1,5-2
6	1	0,75	24	3	1 -1,5-2
8	1,25	0,75-1	(27)	3	1 -1,5-2
10	1,5	0,75-1 -1,25	30	3,5	1 -1,5-2
12	1,75	1 -1,25-1,5	(33)	3,5	1,5-2
(14)	2	1 -1,25-1,5	36	4	1,5-2 -3
16	2	1 -1,5			

6h. Correspondance, dans le profil métrique normalisé entre les diamètres nominaux D ou d et les pas :

- pas gros d'usage courant usuel,
  - pas fins d'emploi exceptionnel.
- Les valeurs entre parenthèses sont à éviter.



6i. Représentation des filetages vus.

● FILETAGES CACHÉS (fig. 6j)

Le **fond de filet** d'un filetage caché est représenté par un **trait interrompu fin**.

● COTES FONCTIONNELLES

Pour les différents filetages les **cotes fonctionnelles** sont :

- le **diamètre nominal  $d$  ou  $D$** ,
- la **longueur filetée utilisable  $X$**  dans le cas d'une tige,
- la **profondeur de perçage  $p$**  et la **profondeur de filetage utilisable  $t$**  dans le cas d'un trou borgne.

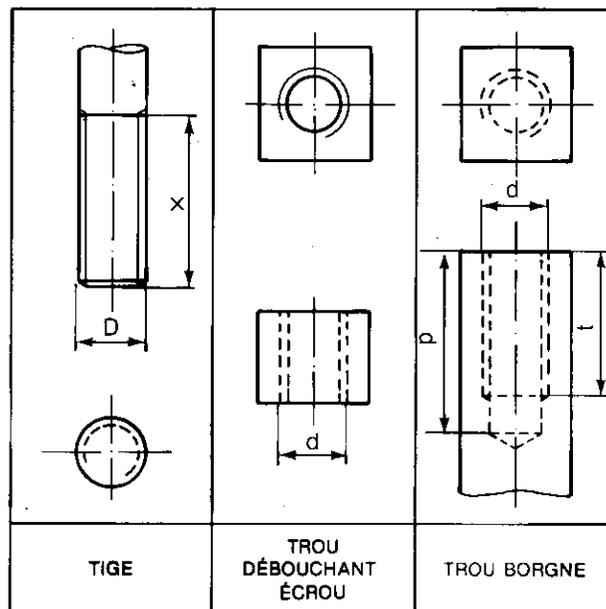
La profondeur de filetage utilisable est obtenue par une opération de **tarudage**.

● DÉSIGNATION NORMALISÉE

Les différentes pièces filetées doivent être désignées conformément aux **normes**.

Exemple :

- Vis  $H$   $M$  10-25
  - diamètre nominal : 10 mm
  - longueur : 25 mm
  - profil du filet : métrique
  - forme de la tête : hexagonale



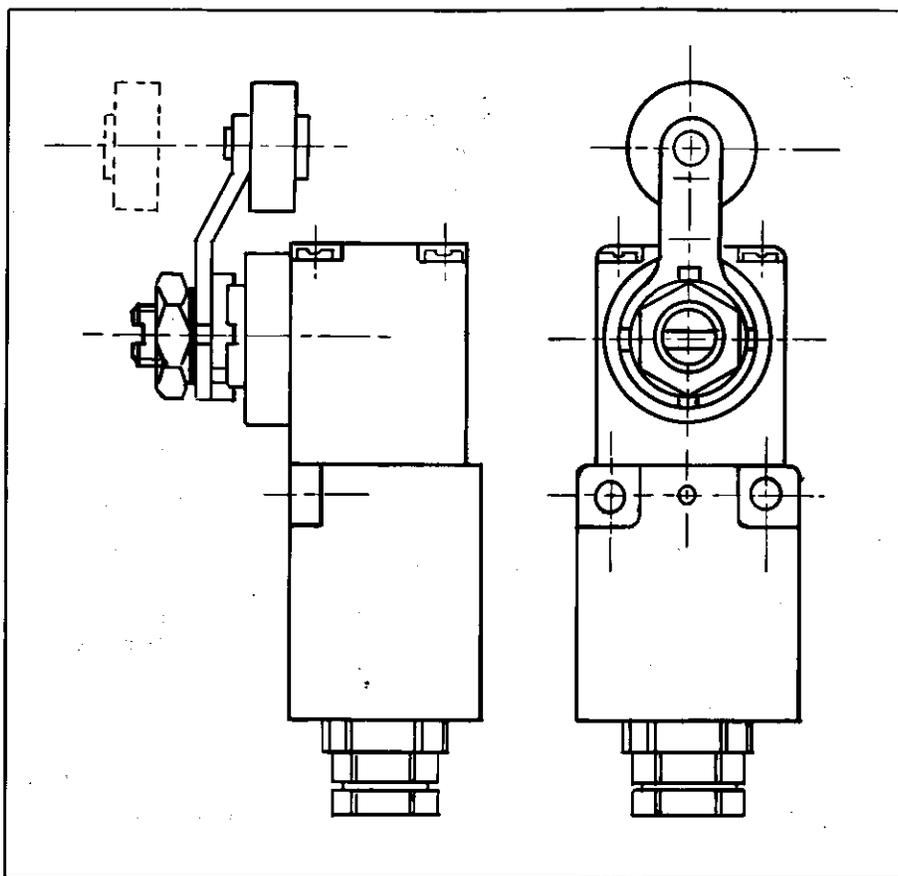
6j. Représentation des filetages cachés.

7. EXEMPLE DE REPRÉSENTATION GRAPHIQUE

Représentation graphique d'un capteur de position (fig. 7a et 7b).

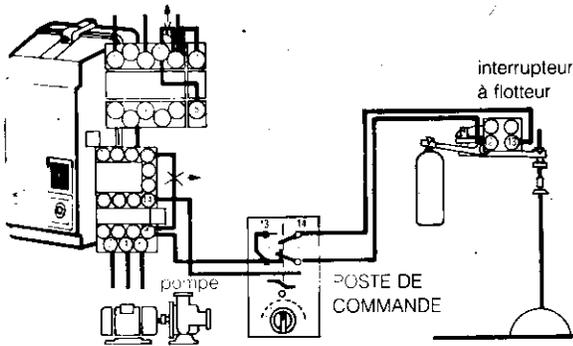


7a. Capteur de position (Télémechanique).



7b. Représentation graphique du capteur de position.

Comment dépanner cette station de pompage sans connaître le schéma ?



# 12

## SCHÉMAS ÉLECTROTECHNIQUES ET ÉLECTRONIQUES

### IDENTIFICATION DES DIFFÉRENTS SCHÉMAS

Les **schémas** sont des **opérateurs de communication technique** utilisés en **électrotechnique** et **électronique** pour :

- **expliquer** les fonctions,
- **identifier** les interconnexions électriques,
- **guider** la conception, la réalisation et la maintenance, d'un système ou d'un objet technique

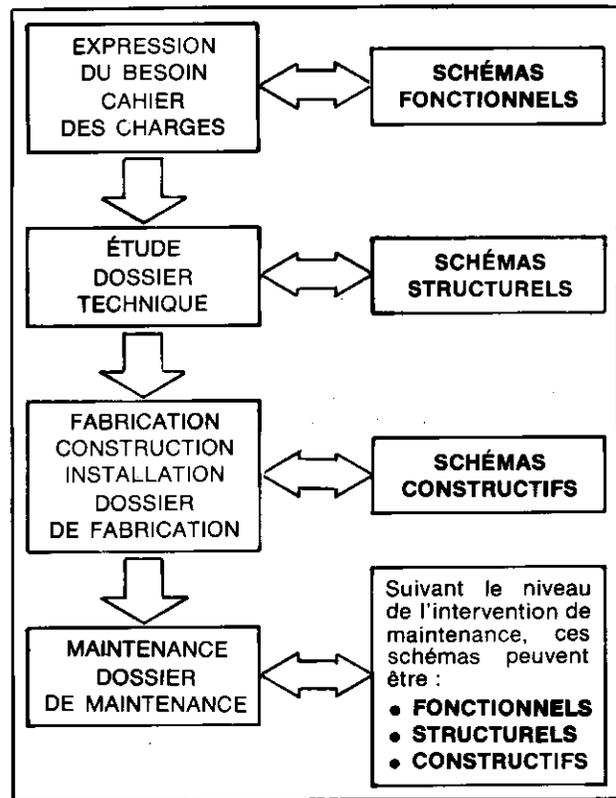
Il peut être :

- un réseau,
- une installation,
- un équipement,
- un appareil.

Un **schéma** se traduit par une représentation technique **normalisée** ou **standardisée**. Le schéma **normalisé** a une écriture conforme aux normes éditées par l'**ASSOCIATION FRANÇAISE DE NORMALISATION (AFNOR)**. Le schéma **standardisé** a une écriture conforme à des **spécifications** définies par une entreprise ou un groupe d'entreprises.

Pour un système ou un objet technique, réalisé ou à réaliser, les schémas peuvent être classés en fonction du niveau de leur exploitation (fig. 1a) :

- les **schémas fonctionnels** sont des schémas explicatifs, relativement simples, destinés à faire comprendre le fonctionnement,
- les **schémas structurels** précisent pour un objet technique, ou pour l'une de ses fonctions, l'agencement de ses différents constituants sans tenir compte de leurs dimensions réelles et de leurs positions relatives.
- les **schémas constructifs** apportent toutes les informations jugées nécessaires pour la bonne exécution des différentes étapes de la fabrication et de la maintenance.



1a. Nature des schémas suivant leur niveau d'exploitation dans le système ou l'objet technique.

**Les schémas FONCTIONNELS, STRUCTURELS et CONSTRUCTIFS sont des OPÉRATEURS DE COMMUNICATION TECHNIQUE nécessaires pour la REPRÉSENTATION et la COMPRÉHENSION des systèmes et objets techniques de nature ÉLECTROTECHNIQUE et ÉLECTRONIQUE.**

## 2. SCHÉMAS FONCTIONNELS

Parmi les schémas fonctionnels le plus utilisé est le **schéma de principe**, ou **schéma développé**, ou **schéma des circuits**.

### ● EXPLOITATION D'UN SCHÉMA DE PRINCIPE

Ce type de **schéma explicatif** doit :

- faire comprendre en détail le fonctionnement,
- fournir les bases d'établissement des schémas structurels et constructifs,
- faciliter la mise en service, le dépannage et la maintenance, du système ou de l'objet technique.

Il représente par des symboles ou des figures simples **les seules interdépendances fonctionnelles** sans qu'il soit nécessaire de représenter toutes les liaisons qui sont matériellement réalisées.

Aux interconnexions fonctionnelles électriques doivent s'ajouter toutes les **liaisons mécaniques** ou **physiques** qui interviennent dans le fonctionnement.

Exemples (fig. 2a) :

- liaison entre un mobile et le contact qu'il commande,
- liaison entre un détecteur de température et le contact qu'il commande.

### ● ÉTABLISSEMENT D'UN SCHÉMA DE PRINCIPE

Le **critère fonctionnel** de ce schéma est prioritaire.

Son établissement ne peut tenir compte de la réalité des formes, des dimensions et des emplacements des éléments représentés.

Exemples :

#### ● Schéma de principe du montage va et vient (fig. 2b).

Ce montage d'éclairage permet de commander un circuit depuis deux endroits, A et B.

Dans le schéma proposé le circuit commandé est constitué par les deux lampes L1 et L2 en parallèle.

#### ● Schéma de principe du montage télérupteur (fig. 2c).

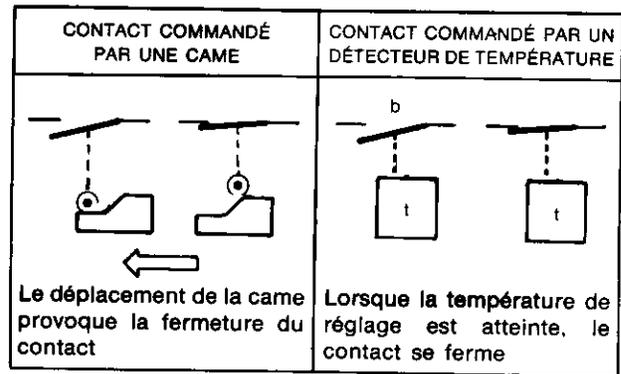
Ce montage d'éclairage permet de commander un circuit depuis un nombre d'endroits supérieur à deux.

Dans le schéma proposé les deux lampes L1 et L2 sont commandées par les trois boutons-poussoirs S1, S2 et S3, situés à trois endroits différents.

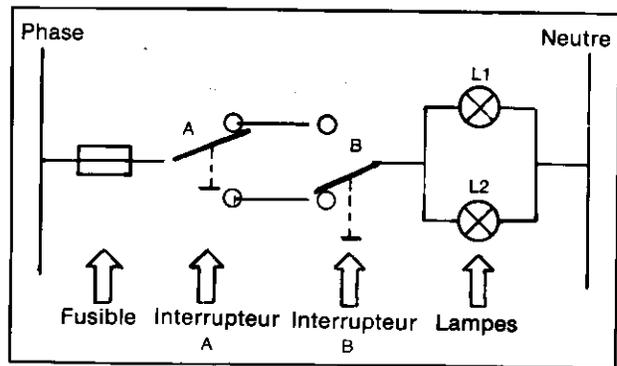
#### ● Schéma de principe d'un amplificateur électronique (fig. 2d).

L'amplitude du signal de sortie dépend :

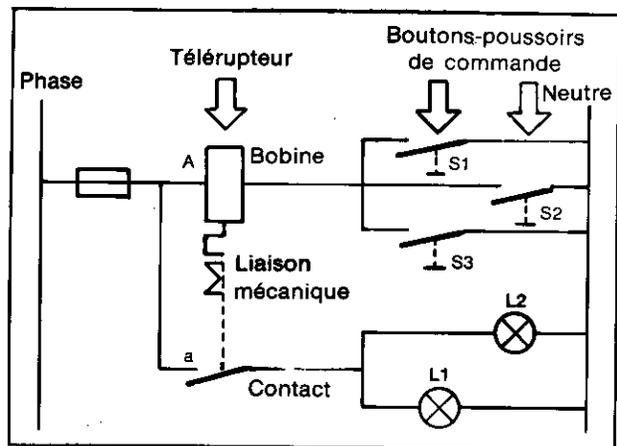
- de l'amplitude du signal d'entrée,
- et du coefficient d'amplification de l'amplificateur.



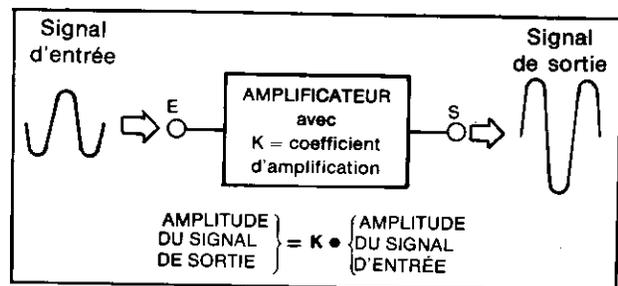
2a. Liaisons fonctionnelles, mécanique (came) ou physique (détecteur de température).



2b. Schéma de principe du montage va et vient.



2c. Schéma de principe du montage télérupteur.



2d. Schéma de principe d'un amplificateur.

### 3 SCHÉMAS STRUCTURELS

Une structure est un ensemble de constituants nécessaire pour satisfaire une fonction déterminée.

Un schéma structurel est un schéma explicatif qui se représente par des symboles normalisés :

- au niveau de l'objet technique, l'organisation des structures entre elles,
- au niveau d'une fonction, l'agencement des constituants.

Le schéma structurel ne tient pas compte ni des dimensions réelles ni des positions respectives des constituants dans leur implantation.

Un schéma fonctionnel peut convenir à une série d'objets techniques, le schéma structurel concerne qu'une des solutions susceptibles d'être retenues puisqu'il impose des choix technologiques par rapport :

- à la nature des constituants,
- et à leur interconnexion fonctionnelle.

Exemples :

• **Montage oscillateur (fig. 3a).**

Le montage qui satisfait une fonction de **génération de signaux périodiques** est réalisé avec un circuit intégré 555.

Les valeurs des résistances R1, R2 et du condensateur C déterminent la **fréquence** du signal périodique, et en conséquence la fréquence de clignotement de la diode électroluminescente.

• **Hotte aspirante à trois vitesses (fig. 3b).**

Placée dans une cuisine cette hotte a pour fonctions :

- d'évacuer les fumées et les vapeurs grasses,
- d'absorber les odeurs, qui sont dégagées par la cuisson des aliments.

Elle présente trois structures fonctionnelles :

- le groupe moteur-turbine avec sa commande,
- un ou plusieurs filtres
- la source lumineuse pour éclairer le plan de travail.

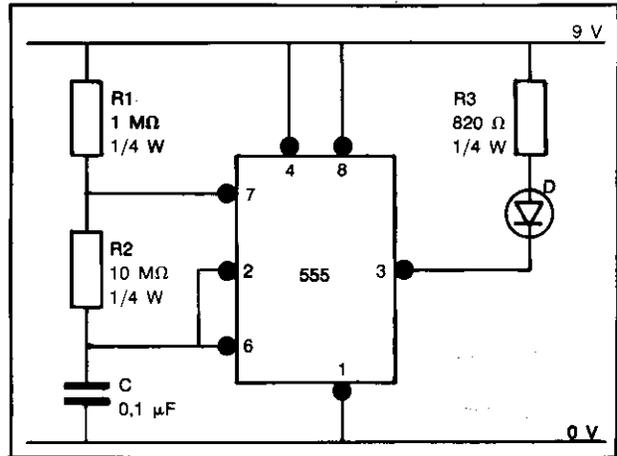
Le groupe moteur-turbine peut être à une ou plusieurs vitesses.

Le fig. 3b représente une hotte aspirante à trois vitesses obtenues par **insertion de résistances en série avec le moteur**.

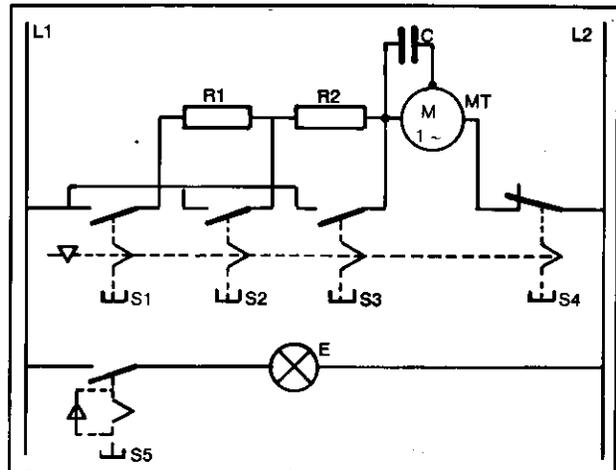
Cette solution satisfait la **fonction adaptation de la tension** aux bornes du moteur suivant la vitesse désirée.

• **Montage amplificateur à transistor (fig. 3c).**

Les valeurs des résistances et des condensateurs dépendent du type de transistor retenu et de la fréquence du signal à amplifier.

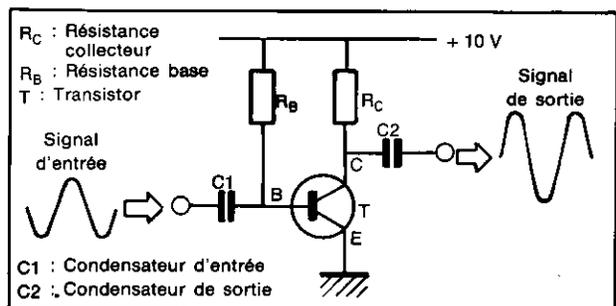


3a. Schéma structurel d'un montage oscillateur.



- |                                      |                                |
|--------------------------------------|--------------------------------|
| S1 : première vitesse.               | S4 : arrêt.                    |
| S2 : deuxième vitesse.               | S5 : éclairage.                |
| S3 : troisième vitesse.              | MT : moteur-turbine.           |
| R1, R2 : résistances additionnelles. | E : éclairage plan de travail. |

3b. Schéma structurel d'une hotte aspirante à trois vitesses.



3c. Montage amplificateur à transistor.

### 4. SCHÉMAS CONSTRUCTIFS

Les **schémas constructifs** sont destinés à guider la **réalisation** et la **vérification** de l'**interconnexion électrique** des constituants d'un système ou d'un objet technique.

Ils constituent des **références** pour l'appréciation de la **qualité** en précisant :

- les **points de réglage** et les valeurs à y affecter pour assurer un bon fonctionnement,
- les **points tests** avec la nature et les caractéristiques des signaux qui doivent y figurer dans le cadre d'un fonctionnement normal.

Ces schémas représentent l'**ensemble des connexions** et tiennent obligatoirement compte de la disposition réelle, ou **implantation**, des différents constituants avec leurs dispositifs de raccordement.

Parmi les différents types de schémas constructifs les plus utilisés sont :

- le **schéma architectural** pour une installation électrique,
- le **schéma d'implantation** des constituants pour un équipement, ou des composants pour un système électronique,
- le **schéma des connexions** pour une installation ou un équipement,
- le **schéma du circuit imprimé** en construction électronique.

#### ● SCHÉMA ARCHITECTURAL

Le **schéma architectural** d'une installation est établi à partir du **descriptif de l'installation**, défini conjointement par le client et l'architecte, en respectant la conformité aux normes et règlements techniques en vigueur.

Ce mode de représentation se justifie toutes les fois que des dispositions architecturales imposent aux installations des contraintes d'exploitation des matériels et d'utilisation des circuits.

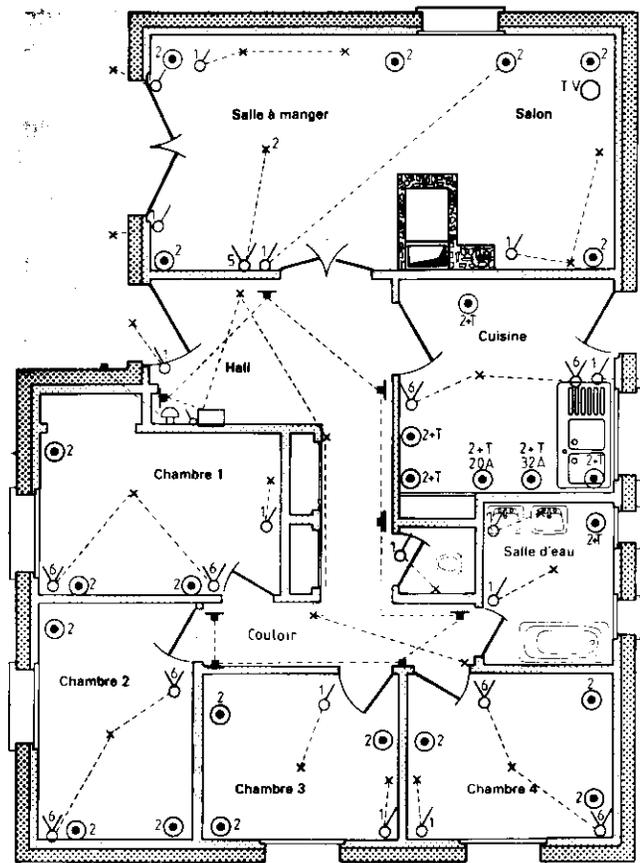
C'est le cas pour tout ce qui concerne les installations électriques des **locaux d'habitation**, mais également dans d'autres locaux pour les installations :

- d'éclairage,
- de chauffage,
- et de distribution de l'énergie électrique, en général.

#### ● ÉTABLISSEMENT

Ce type de schéma tient compte de la **disposition topographique** des matériels dans le local. Le parcours exact des canalisations n'y figure pas.

Exemple : Installation électrique d'un local d'habitation (fig. 4a).



4a. Schéma architectural : installation électrique d'un local d'habitation.

Les symboles :

- × , points d'éclairage,
- ⊗ , ⊘ , points de commande par interrupteurs,
- ⊣ , points de commande par boutons-poussoirs,
- ⊙ , prises de courant,
- 📞 , 📠 , appareils (sonnette, télérupteur),  
disposés suivant leur réelle implantation dans le local sont reliés entre eux par des liaisons fonctionnelles-----

Sur ce type de schéma il est possible de faire l'inventaire des montages retenus dans l'installation :

- les WC sont éclairés par une applique commandée d'un seul endroit : **montage simple allumage**,
- les chambres 1, 2 et 4 disposent d'un éclairage central commandé depuis deux endroits : **montage va et vient**,
- la salle à manger a un éclairage central du type **double allumage**,
- le hall et le couloir sont éclairés par quatre appliques commandées depuis huit endroits : **montage télérupteur**,
- dans chaque chambre il est prévu **trois prises de courant bipolaires**,
- dans la cuisine une **prise 20 A** (deux bornes plus terre) est prévue pour le lave-vaisselle, une autre de **32 A (2 + T)** est prévue pour l'appareil de cuisson.

### ● SCHÉ

Le type de...  
 à partir de la...  
 connexion...  
 les caracté...  
 tement ou...  
 eau perm...  
 Le dispos...  
 vents

- acc...
- C S...
- E...
- peut être...
- in de c...

Exemple :

Cette insta...

- un...
- et Mar...
- et un...
- par ex...
- un dispo...
- d'un...
- non erab...
- et d...
- fonction d...
- moteur.

La boîte à...  
 distance

- FC...
- suivant...
- commande

En action...  
 courant...  
 ou s'enc...  
 remarque...  
 Au re à c...  
 reste fer...  
 que le r...  
 Une act...  
 interromp...  
 moteur...  
 Si au co...  
 F2 detec...  
 le conta...  
 que la s...

● SCHÉMA DES CONNEXIONS

Ce type de **schéma constructif** est destiné à guider la **réalisation** et la **vérification des connexions** d'une installation ou d'un équipement. Des connexions peuvent être **intérieures** à l'équipement ou **extérieures** aux différentes parties de l'équipement ou de l'installation.

La disposition matérielle des différents constituants :

- appareils,
- dispositifs de raccordement,
- auxiliaires de commande,

peut être prise en compte pour faciliter l'exploitation de ce schéma.

Exemple :

Installation de démarrage d'un moteur asynchrone triphasé (fig. 4b).

Cette installation comprend :

- un poste de commande avec un bouton-poussoir « Marche » et un bouton-poussoir « Arrêt »,
- et un équipement discontacteur réalisé en coffret par exemple.

Le discontacteur est l'association :

- d'un contacteur qui assure la fonction commutateur d'établissement et interruption de courant,
- et d'un système à relais thermique qui assure la fonction détection des surintensités et protection du moteur.

La boîte à boutons-poussoirs permet la commande à distance de la marche ou de l'arrêt du moteur.

● FONCTIONNEMENT

Suivant le schéma de principe du circuit de commande (fig. 4b).

En actionnant le bouton-poussoir « Marche » S2 le courant s'établit dans la bobine du contacteur K qui s'enclenche et ferme son contact K1, le moteur démarre.

À relâchement du bouton-poussoir S2 le circuit reste fermé par K1, le contacteur K reste enclenché, le moteur reste en marche.

Une action sur le bouton-poussoir « Arrêt » S1 interrompt le circuit, le contacteur s'ouvre, le moteur s'arrête.

Si au cours du fonctionnement le relais thermique F2 détecte une surintensité, le contact F2 s'ouvre, le contacteur s'ouvre et le moteur s'arrête avant que la surintensité ne le détériore.

SCHÉMA DE PRINCIPE DU CIRCUIT DE COMMANDE

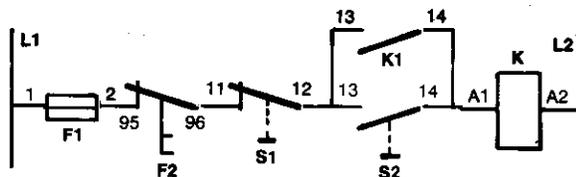
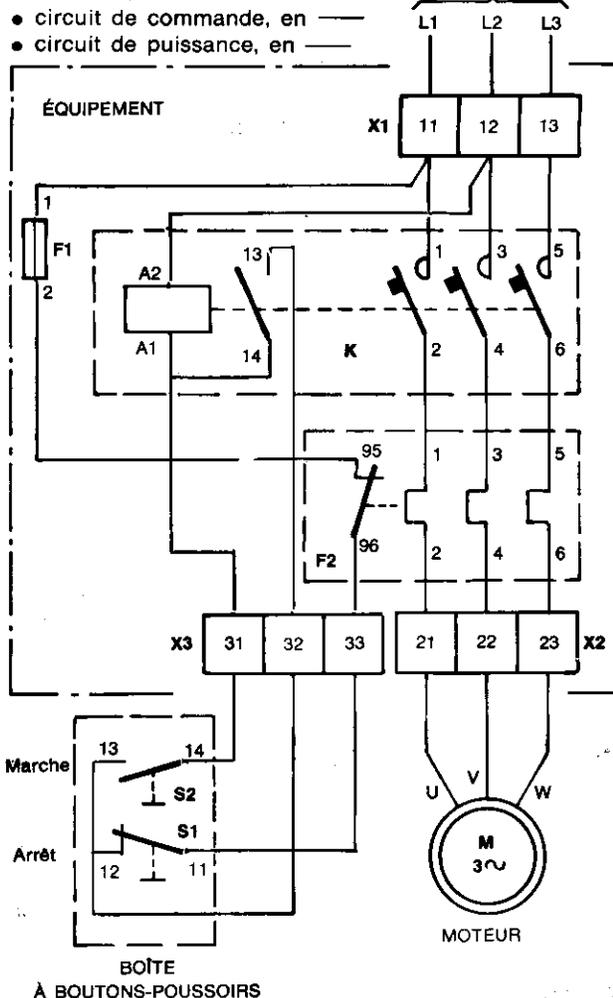


SCHÉMA DES CONNEXIONS



- 4b. Schéma de principe et schéma des connexions d'une installation « Marche-Arrêt » d'un moteur asynchrone triphasé.
- M3~ : Moteur asynchrone triphasé.
  - F1 : Fusible de protection du circuit de commande.
  - F2 : Contact à ouverture du relais thermique.
  - S1 : Bouton-poussoir « Arrêt ».
  - S2 : Bouton-poussoir « Marche ».
  - K : Bobine du contacteur K.
  - K1 : Contact à fermeture commandé par le contacteur K, c'est le contact d'auto-maintien.
  - X1 : Bornier de connexion au réseau.
  - X2 : Bornier de connexion au moteur.
  - X3 : Bornier de connexion aux boutons-poussoirs.

● SCHÉMA D'IMPLANTATION

Un **schéma d'implantation** précise dans un système ou objet technique **l'emplacement exact des différents constituants**.

Il permet :

- au moment de **l'étude**, de rechercher la **disposition optimale de ces constituants** afin de définir les dimensions de leur support,
- lors d'une opération de **dépannage**, de **localiser**, avec certitude, l'emplacement du constituant jugé défectueux au terme d'une phase de diagnostic.

● ÉTABLISSEMENT (fig. 4c)

A partir des schémas fonctionnels et structurels, ce schéma doit tenir compte :

- des **dimensions exactes des constituants**,
- de la **nature** et de la **disposition de leurs points de connexion**,
- des **conditions d'exploitation du système technique** pour tenir compte, par exemple, des meilleures conditions d'échanges thermiques entre certains composants de puissance et l'air ambiant.

● SCHÉMA DU CIRCUIT IMPRIMÉ

En électronique, le **schéma du circuit imprimé** représente la **conductibilité électrique** nécessaire entre les différents composants d'un objet technique pour permettre :

- leur alimentation,
- et le transfert des signaux traités.

La fig. 4c représente le circuit imprimé de l'étage redresseur (9 V alternatif-5 V continu).

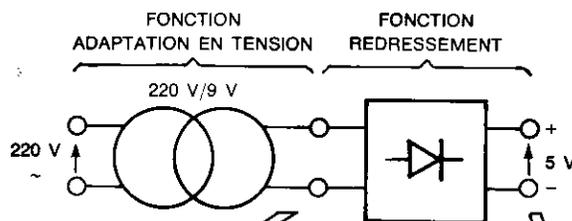
● EXEMPLE DE PROGRESSION DANS L'ÉTABLISSEMENT DES SCHÉMAS

Les figs. 4c et 4d représentent l'ensemble des schémas fonctionnel, structurel et constructif, ainsi que la nomenclature des composants relatifs à un étage redresseur (9 V alternatif-5 V continu).

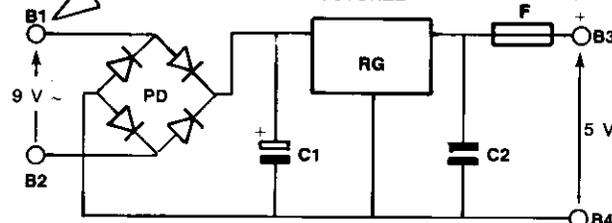
REP.	Q	DÉSIGNATION
PD	1	Pont de diodes moulé 3 A - 600 V
RG	1	Régulateur positif 5 V - 3 A type LM 123/LM 223/LM 323
C1	1	Condensateur 4 700 µF/25 V
C2	1	Condensateur 0,1 µF
F	1	Fusible 5 x 20 - 3,15 A avec son porte-fusible
RF	1	Refroidisseur
B	4	Cosses « poignard » mâles 2,8 mm

4d. Nomenclature des composants d'un étage redresseur 9 V alternatif-5 V continu.

● SCHÉMA FONCTIONNEL

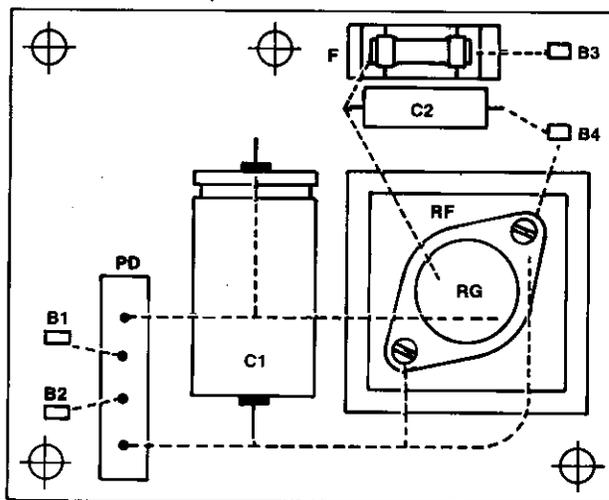


● SCHÉMA STRUCTUREL

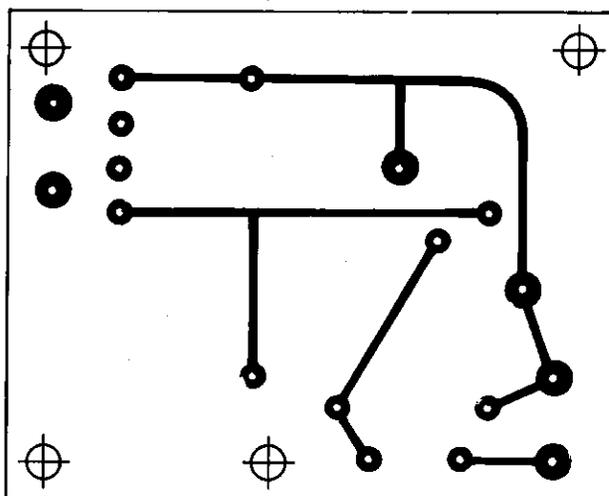


● SCHÉMAS CONSTRUCTIFS

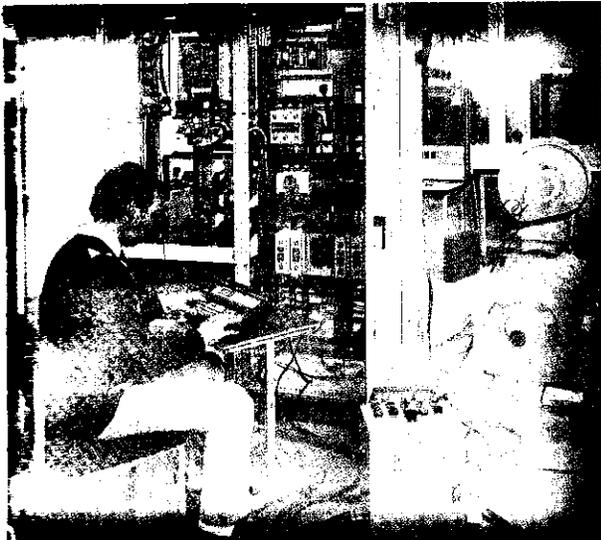
● Schéma d'implantation



● Schéma du circuit imprimé



4c. Schéma fonctionnel, structurel et constructif (implantation des composants et circuit imprimé) d'un étage redresseur 9 V alternatif-5 V continu.



**RAPPEL DES LOIS GÉNÉRALES. D'ÉLECTROTECHNIQUE**

● **PRINCIPE**

Le moteur asynchrone ou **moteur à induction** est un transformateur à champ tournant :

- le **stator** en est le **primaire**, il est alimenté par le réseau d'énergie;
- le **rotor en court-circuit** et libre de tourner constitue le **secondaire**.

● **FONCTIONNEMENT**

Les courants triphasés alimentant le stator donnent naissance à un **champ tournant** qui induit des courants dans les conducteurs du rotor. L'action du champ sur les courants rotoriques génère des **forces électromagnétiques** qui font tourner le rotor.

● **VITESSE DE ROTATION ET GLISSEMENT**

- **Vitesse du champ tournant ou vitesse de synchronisme.**

$$\Omega_S = \omega = 2\pi n_S \quad n_S = \frac{f}{p}$$

avec :  $\Omega_S$  et  $\omega$  : rad/s;  $p$  : nombre de paires de pôles.  $n_S$  : vitesse en tr/s;  $f$  : fréquence en Hz.

- **Inversion du sens de rotation.**

Pour inverser le sens de rotation du champ tournant il suffit d'intervir deux des trois phases d'alimentation.

- **Limites des vitesses.**

Pour une fréquence donnée la vitesse ne dépend que du facteur technologique de construction, le nombre de paires de pôles.

La limite haute de vitesse est définie par le nombre de paires de pôles minimal, soit 1.

À la fréquence industrielle de 50 Hz, la **vitesse de synchronisme** maximale est :

$$n_S = \frac{f}{p} = 50 \text{ tr / s ou } 3000 \text{ tr / min.}$$

*La maintenance des équipements de démarrage des moteurs doit être exécutée avec méthode et en toute sécurité.*

# 13

## DÉMARRAGE DES MOTEURS ASYNCHRONES TRIPHASÉS À CAGE

La limite inférieure est fonction de contraintes technologiques liées aux problèmes de réalisation et de positionnement des paires de pôles dans la machine. On ne descend généralement pas en dessous d'une vitesse de 500 tr/min ce qui correspond à 6 paires de pôles.

- **Vitesse rotorique glissement.**

Le rotor tourne à une vitesse  $\Omega_r$  inférieure à la vitesse de synchronisme  $\Omega_S$ .

La différence

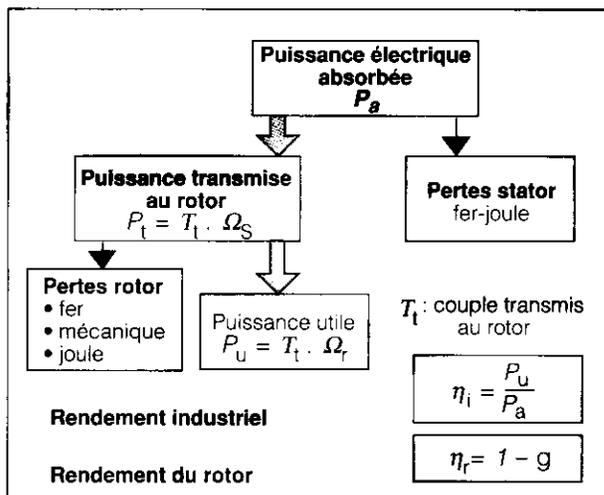
$$\Omega_S - \Omega_r$$

est dite **vitesse de glissement** et les rapports

$$g = \frac{\Omega_S - \Omega_r}{\Omega_S} = 1 - \frac{\Omega_r}{\Omega_S} = 1 - \frac{n_r}{n_S}$$

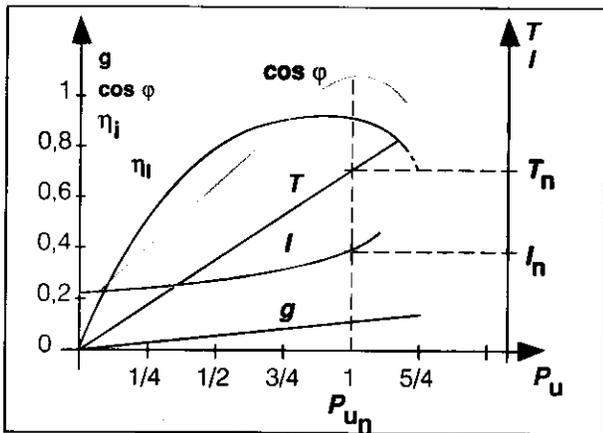
définissent le **glissement**.

- **BILAN DES PUISSANCES – COUPLE TRANSMIS – RENDEMENT (fig. 1a)**



1a. Bilan des puissances.

● COURBES CARACTÉRISTIQUES (fig. 1b)



1b. Courbes caractéristiques.

Ces courbes mettent en évidence les valeurs :

- du couple nominal  $T_n$ ,
- du courant nominal  $I_n$ ,

correspondant à la puissance utile nominale  $P_{un}$ .

L'allure de ces courbes permet de dégager les remarques suivantes :

$g = f(P_u)$  : le glissement augmente avec la charge tout en restant de faible valeur.

$\cos \varphi = f(P_u)$  : le facteur de puissance s'améliore lorsque la charge augmente.

$\eta_i = f(P_u)$  : le rendement passe par un maximum pour une valeur de charge égale environ à  $0,9 P_{un}$

$T = f(P_u)$  : le couple utile est proportionnel à la charge, la vitesse est pratiquement constante.

$I = f(P_u)$  : le courant absorbé croît avec la charge.

2. SOLUTION GÉNÉRALE AU PROBLÈME DE DÉMARRAGE

● ORGANISATION FONCTIONNELLE DU CIRCUIT TERMINAL

Tout système de démarrage se doit de **limiter l'intensité absorbée** par le moteur tout en **maintenant les performances mécaniques** de l'ensemble « moteur-machine entraînée » conformes au cahier des charges.

Le démarrage du moteur peut-être :

- **direct**,
- **par paliers**,
- **progressif, variable** suivant une loi de vitesse.

Les deux premières solutions relèvent de technologie électromécanique, la dernière de technologie électronique.

Dans tous les cas ce circuit terminal moteur doit satisfaire **quatre fonctions principales** (fig. 2a) :

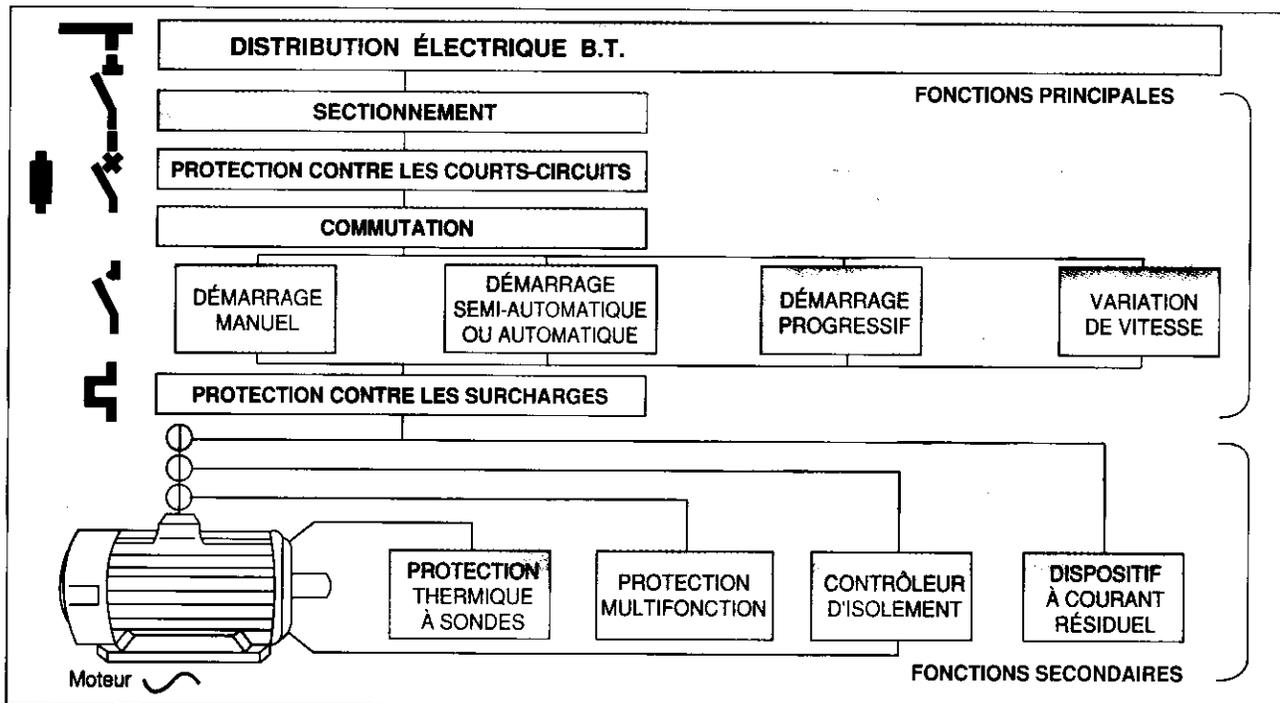
- **le sectionnement** pour isoler ce circuit du circuit amont et permettre des interventions de maintenance en toute sécurité,

- **la protection contre les courts-circuits**, avec une détection et une coupure rapides pour éviter la détérioration de l'installation,

- **la commutation** dont la commande peut être manuelle, automatique ou semi-automatique, progressive, variable en fonction de la vitesse,

- **la protection contre les surcharges**, avec une détection et une coupure qui doit éviter que toute élévation intempestive de la température du moteur n'entraîne la détérioration de ses isolants.

D'autres **fonctions secondaires** telles que le contrôle de la température, de l'isolement du moteur peuvent être mises en œuvre dans certains circuits.



2a. Organisation fonctionnelle d'un circuit terminal de démarrage de moteur asynchrone triphasé à cage.

● APPAREILS CONSTITUTIFS D'UN ÉQUIPEMENT

Un équipement de démarrage est une association d'appareils qui satisfait à l'ensemble des fonctions (fig. 2b).

FONCTIONS	SOLUTIONS FONCTIONNELLES	DÉSIGNATION DES APPAREILS						
		Sectionneur	Fusible	Disjoncteur	Disjoncteur moteur	Relais thermique	Contacteur	Variateur électronique
● SECTIONNEMENT	● par pôles spécifiques ● avec les pôles de « puissance »	●						
● PROTECTION CONTRE LES COURTS-CIRCUITS	● par fusibles ● par déclencheur magnétique		●	●	●			
● COMMUTATION	● à commande manuelle ● à commande automatique ● à commande électronique			●	●		●	
● PROTECTION CONTRE LES SURCHARGES	● par déclencheur thermique					●		●

1. Appareils mis en œuvre dans un équipement de démarrage.

3. DÉMARRAGE DIRECT

● PRINCIPE

Dans ce procédé le stator du moteur est branché directement sur le réseau d'alimentation triphasé. Le démarrage, s'effectue **en un seul temps**.

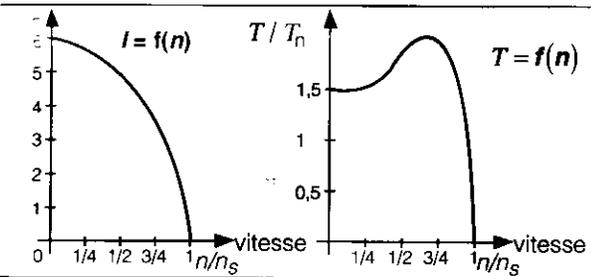
Seuls les moteurs asynchrones triphasés avec rotor en court-circuit ou rotor à cage peuvent être démarrés suivant ce procédé.

**Si le réseau accepte la pointe d'intensité au démarrage ce procédé est simple à mettre en œuvre.**

● CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES (fig. 3a)

À démarrage du moteur la **pointe d'intensité** est de l'ordre de **4 à 8 fois l'intensité nominale**.

Le **couple de décollage** est important, environ **1.5 fois le couple nominal**.



3a. Caractéristiques  $I = f(n)$  et  $T = f(n)$ .

Ces caractéristiques de démarrage peuvent présenter des inconvénients :

- au niveau du réseau d'alimentation : en provoquant une **chute de tension non négligeable** ( $\Delta U > 5\%$  de  $U$ ) et en sollicitant la fourniture d'une puissance apparente élevée,

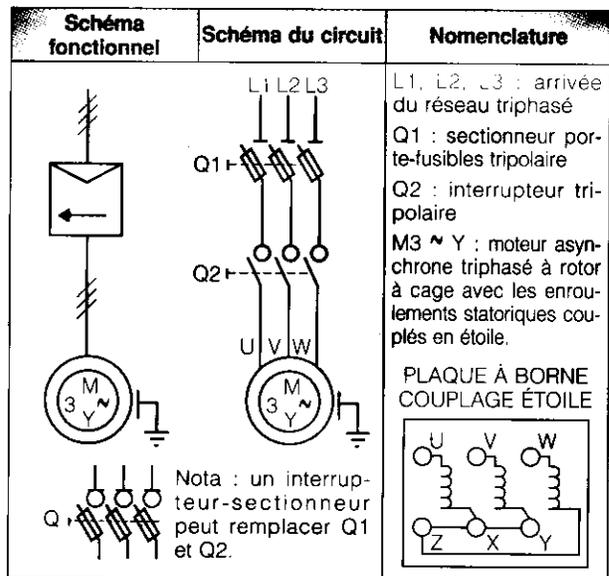
- au niveau de la machine entraînée : en appliquant un **couple d'accélération trop important** dû à l'énergique couple de décollage.

● PROTECTION

La protection du circuit est uniquement assurée par des **fusibles du type aM** (accompagnement moteur). Leur calibre doit être égal à  $I_n$  moteur.

4. DÉMARRAGE DIRECT MANUEL

● DÉMARRAGE DIRECT MANUEL, UN SENS DE MARCHE suivant fig. 4a



4a. Démarrage direct manuel, un sens de marche.

Le schéma fonctionnel comprend le symbole du moteur et le symbole fonctionnel du démarreur. Les enroulements statoriques sont couplés :

- soit en étoile,
- soit en triangle.

La plaque signalétique d'un moteur précise toujours deux tensions d'alimentation possibles : 230/380 V ; 380-660 V.

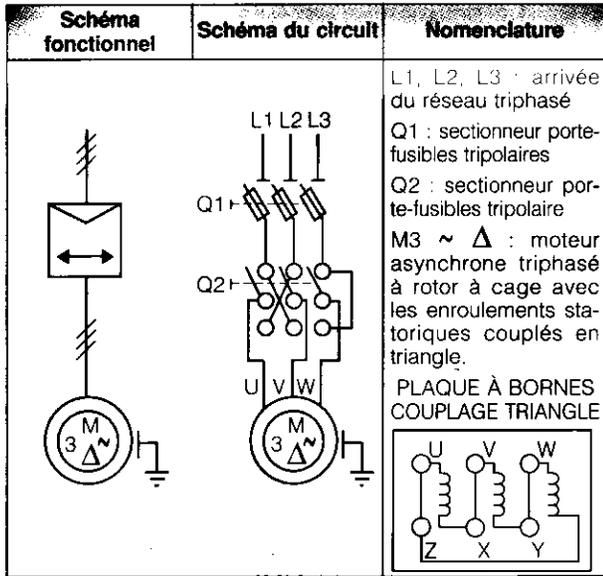
Le moteur est branché :

- **en triangle** : lorsque la tension du réseau d'alimentation est égale à la tension du fonctionnement **la plus basse** ;

- **en étoile** : lorsque la tension du réseau d'alimentation est égale à la tension de fonctionnement **la plus élevée**.

L'**inversion du sens de marche** est obtenue par le **croisement** de deux phases aux bornes du stator.

● DÉMARRAGE DIRECT MANUEL AVEC INVERSION DU SENS DE MARCHÉ suivant fig. 4b.



4b. Démarrage direct manuel avec inversion du sens de marche.

L'inversion du sens de marche est obtenue par le croisement de deux phases aux bornes du stator.

RÉSEAU	MARCHE AVANT	MARCHE ARRIÈRE
Phase 1 : L1	reliée avec borne U	reliée avec borne V
Phase 2 : L2	reliée avec borne V	reliée avec borne U
Phase 3 : L3	reliée avec borne W	reliée avec borne W

5. DÉMARRAGE SEMI-AUTOMATIQUE ET AUTOMATIQUE

● CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES

Un tel équipement est caractérisé par l'utilisation d'un ou de plusieurs **contacteurs** qui satisfont la **fonction commande** suivant un mode de fonctionnement :

- **semi-automatique**, à partir d'un ordre de l'utilisateur,
- **automatique**, à partir d'un ordre délivré par un automate.

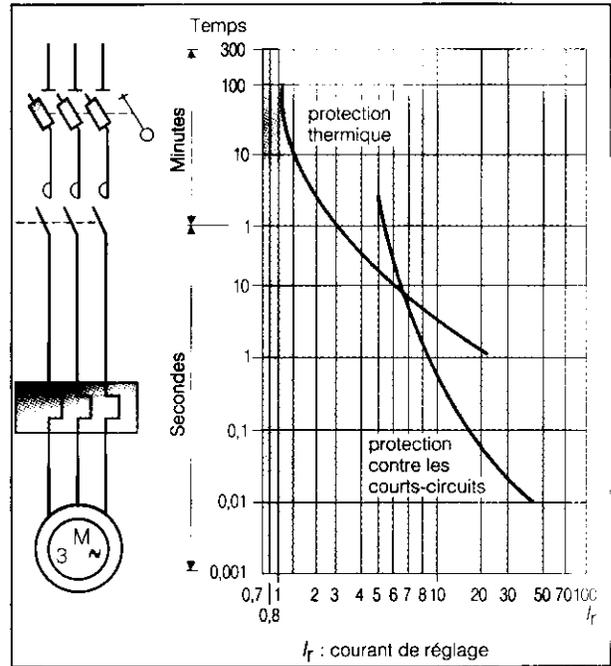
De plus la **commande** de cette commutation peut se faire à **distance**.

Pour une même fonction globale ces équipements diffèrent par rapport aux solutions apportées aux autres fonctions : sectionnement, protection contre les courts-circuits et les surcharges. Cela se traduit par des différences dans leurs caractéristiques fonctionnelles telles que :

- durée et pouvoir de coupure,
- domaine de réglage,
- puissance dissipée,...

D'où les différentes **courbes de déclenchement** des fig. 5a, 5b, 5c, 5e.

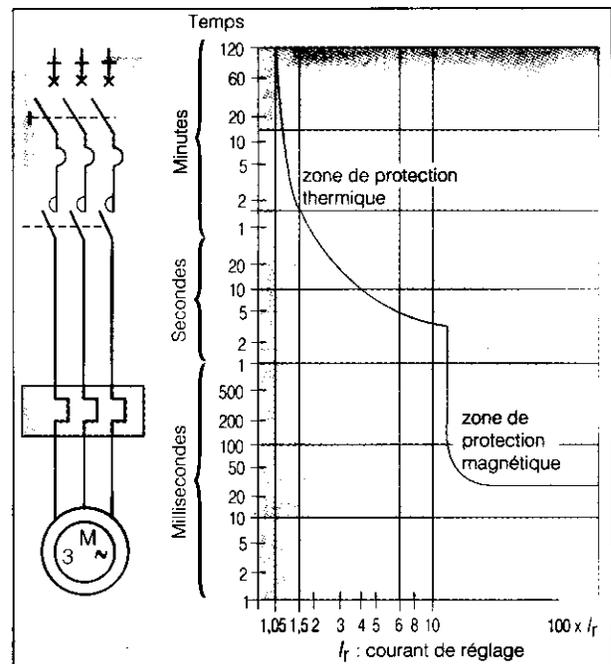
● SECTIONNEUR OU INTERRUPTEUR, FUSIBLES, CONTACTEUR, RELAIS DE PROTECTION THERMIQUE suivant fig. 5a



5a. Exemple d'association avec ses courbes de déclenchement.

Cette association présente un pouvoir de coupure élevé et couvre une gamme très large de cas d'emploi, de 0,25 à 900 kW.

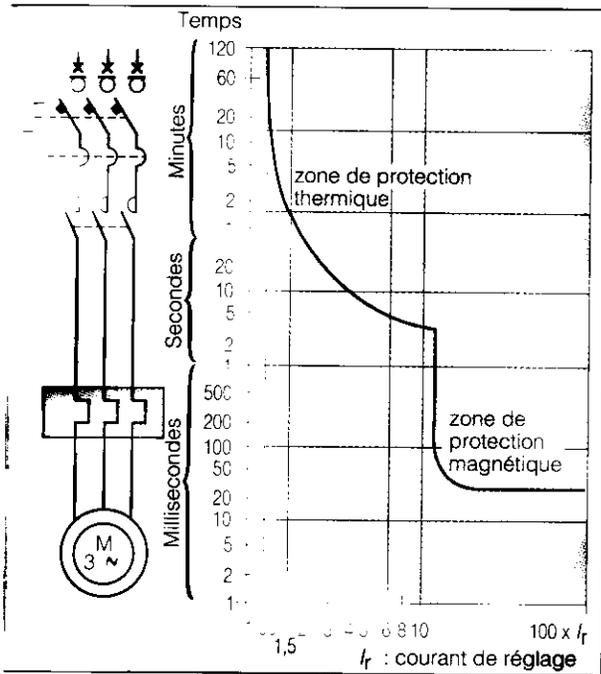
● DISJONCTEUR MAGNÉTIQUE, CONTACTEUR, RELAIS DE PROTECTION THERMIQUE suivant fig. 5b



5b. Exemple d'association avec ses courbes de déclenchement.

Cette association qui limite à trois le nombre d'appareils utilisés couvre une gamme de cas d'emploi de 15 à 250 kW.

● ASSOCIATION SECTIONNEUR-DISJONCTEUR, CONTACTEUR, RELAIS DE PROTECTION THERMIQUE suivant fig. 5c.



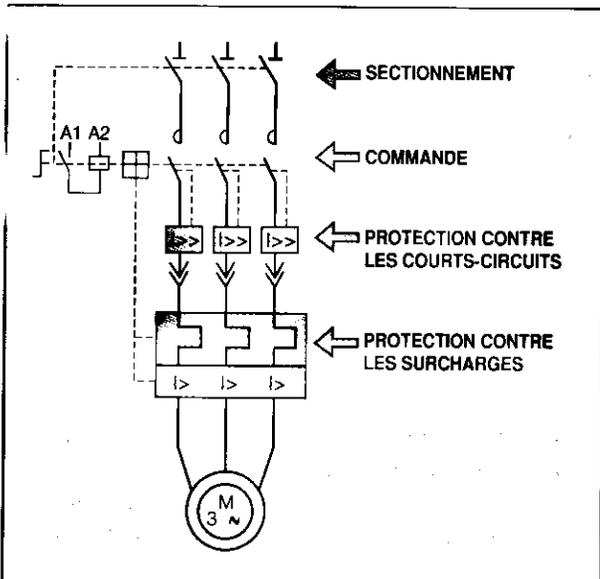
5c. Exemple d'association avec ses courbes de déclenchement.

Le regroupement du sectionneur et du disjoncteur dans un même appareil confère à l'ensemble une **exceptionnelle tenue diélectrique après coupure sur le courant de court-circuit** (solution type Optimal de Télémécanique).

La gamme des cas d'emploi est comprise entre 0,37 et 37 kW.

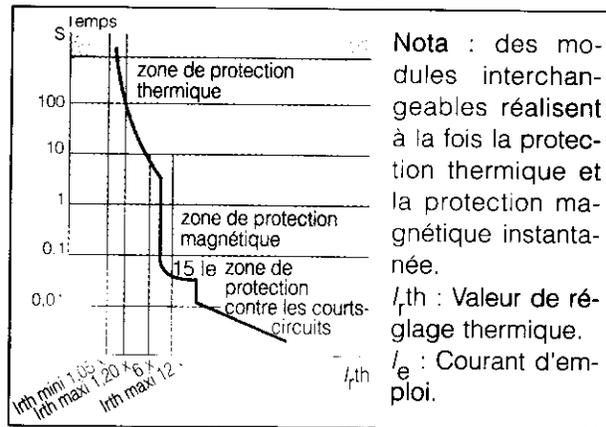
● UTILISATION D'UN SEUL CONTACTEUR-DISJONCTEUR

Dans ce cas **un seul appareil** assure les quatre fonctions, c'est à la fois un disjoncteur, un contacteur, un relais de protection et un sectionneur (fig. 5d).



5d. Intégration des quatre fonctions dans un seul appareil.

Les courbes de déclenchement fig. 5e mettent bien en évidence les **trois zones de protection**.



Nota : des modules interchangeables réalisent à la fois la protection thermique et la protection magnétique instantanée.  
 $I_{r,th}$  : Valeur de réglage thermique.  
 $I_e$  : Courant d'emploi.

5e. Courbe de déclenchement d'un contacteur-disjoncteur équipé d'un module départ moteur.

Cette solution de **fonctions intégrées** présente une grande fiabilité (solution type *Intégral de Télémécanique*).

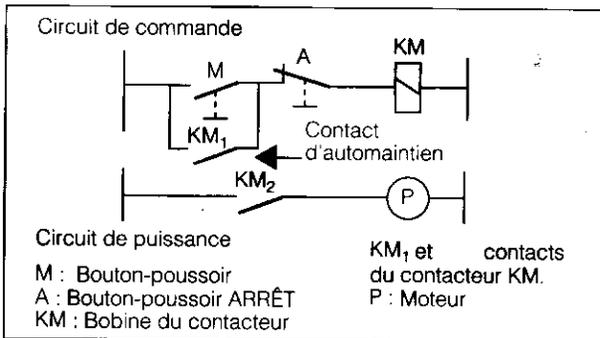
Elle couvre une gamme de cas d'emploi de 0,37 à 30 kW.

● FONCTION AUTO-MAINTIEN

Un contacteur commandé à partir de deux postes de commande « Marche » et « Arrêt » doit rester :

- fermé si la dernière information est Marche,
- ouvert si la dernière information est Arrêt.

Il contribue avec son cablage une **mémoire à arrêt prioritaire** (fig. 5f).



5f. Mémoire à arrêt prioritaire.

Une impulsion sur **M** alimente le contacteur **KM** qui reste alimenté, même après relâchement de **M** par le contact **KM<sub>1</sub>**, dit **contact d'auto-alimentation** ou **d'auto-entretien**.

L'information **MARCHE** est **mémorisée** et le moteur **P** reste alimenté.

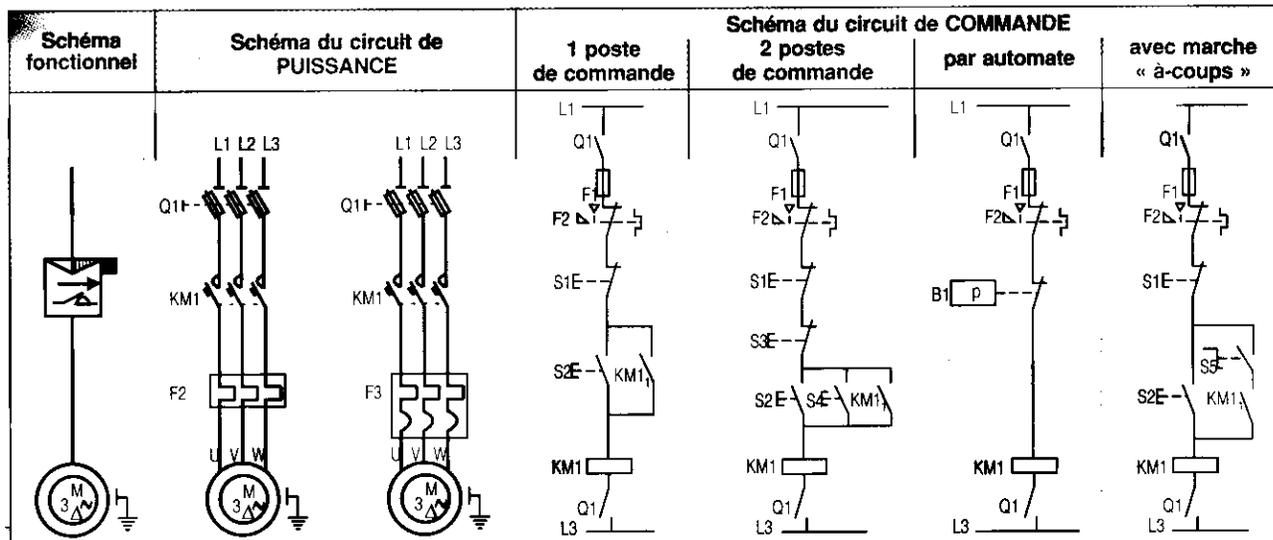
Une impulsion sur **A** coupe l'alimentation de **KM** le contact **KM<sub>2</sub>** s'ouvre, le moteur **P** s'arrête et reste arrêté.

L'information **ARRÊT** est **mémorisée**.

La mémoire est dite à **Arrêt prioritaire** car une **impulsion simultanée** sur les deux boutons-poussoirs entraîne ou **maintient l'arrêt**.

Ce type de circuit se retrouve dans beaucoup de circuits de commande câblés.

### ● DÉMARRAGE DIRECT SEMI-AUTOMATIQUE, UN SENS DE MARCHE (fig. 5g)



5g. Démarrage direct semi-automatique, un sens de marche.

### ● NOMENCLATURE :

L1, L2, L3: arrivée du réseau triphasé.

Q1: sectionneur porte-fusibles tripolaire équipé avec 2 contacts à fermeture.

KM1: contacteur tripolaire équipé avec un contact à fermeture.

F2: relais de protection thermique.

F3: relais de protection magnéto-thermique.

F1: fusible.

S1, S3: bouton-poussoir à ouverture et à retour automatique.

S2, S4: bouton-poussoir à fermeture et à retour automatique.

S5: bouton rotatif à fermeture sans retour automatique.

B1: auxiliaire automatique de commande en fonction d'une pression.

M3 ~ Δ: moteur asynchrone triphasé à rotor à cage avec les enroulements statoriques couplés en triangle.

### ● DÉCODAGE ● SCHÉMA FONCTIONNEL



Le symbole du démarreur traduit :

- par le demi-triangle hachuré : le mode de démarrage semi-automatique,
- par la flèche : un seul sens de marche,
- par le symbole du contacteur, le type de l'appareil de commande utilisé,

● par le petit carré noirci : que l'ouverture ou la mise à l'arrêt est automatique.

- par le petit carré noirci : que l'ouverture ou la mise à l'arrêt est automatique.

### ● SCHÉMA DU CIRCUIT DE PUISSANCE

Deux types de relais de protection sont utilisés :

- relais thermique (F2) : protection contre les surcharges faibles et prolongées ;
- relais magnéto-thermique (F3) : protection contre les surcharges faibles et prolongées et les surintensités importantes.

### ● SCHÉMA DU CIRCUIT DE COMMANDE

Le circuit de commande est protégé par le fusible F1 et isolé de toute alimentation par le sectionneur Q1.

● **Circuit avec un poste de commande** équipé avec deux boutons-poussoirs :

S1 : bouton-poussoir « ARRÊT » (AT),

S2 : bouton-poussoir « MARCHE » (MA).

La bobine du contacteur est repérée KM :

K : identification du matériel : c'est un contacteur,

M : il est sur le circuit de puissance.

Le contact KM1<sub>1</sub> est le contact auxiliaire du contacteur KM1 : c'est le **contact d'auto-alimentation** ou **auto-maintien**.

● **Circuit avec deux postes de commande** : la multiplication des postes de commande est possible :

- par une **mise en série** des boutons-poussoirs « ARRÊT »,
- par une **mise en parallèle** des boutons-poussoirs « MARCHE ».

### ● COMMANDE PAR AUTOMATE

Le déplacement du contact ne dépend que de la valeur atteinte par la grandeur caractéristique (ici la pression) par rapport à sa valeur d'ajustement. Le circuit ne comporte pas de boucle de mémorisation. La mise sous tension du contacteur, donc du moteur, étant inopinée, il y a lieu d'en tenir compte du point de vue de la sécurité des personnels.

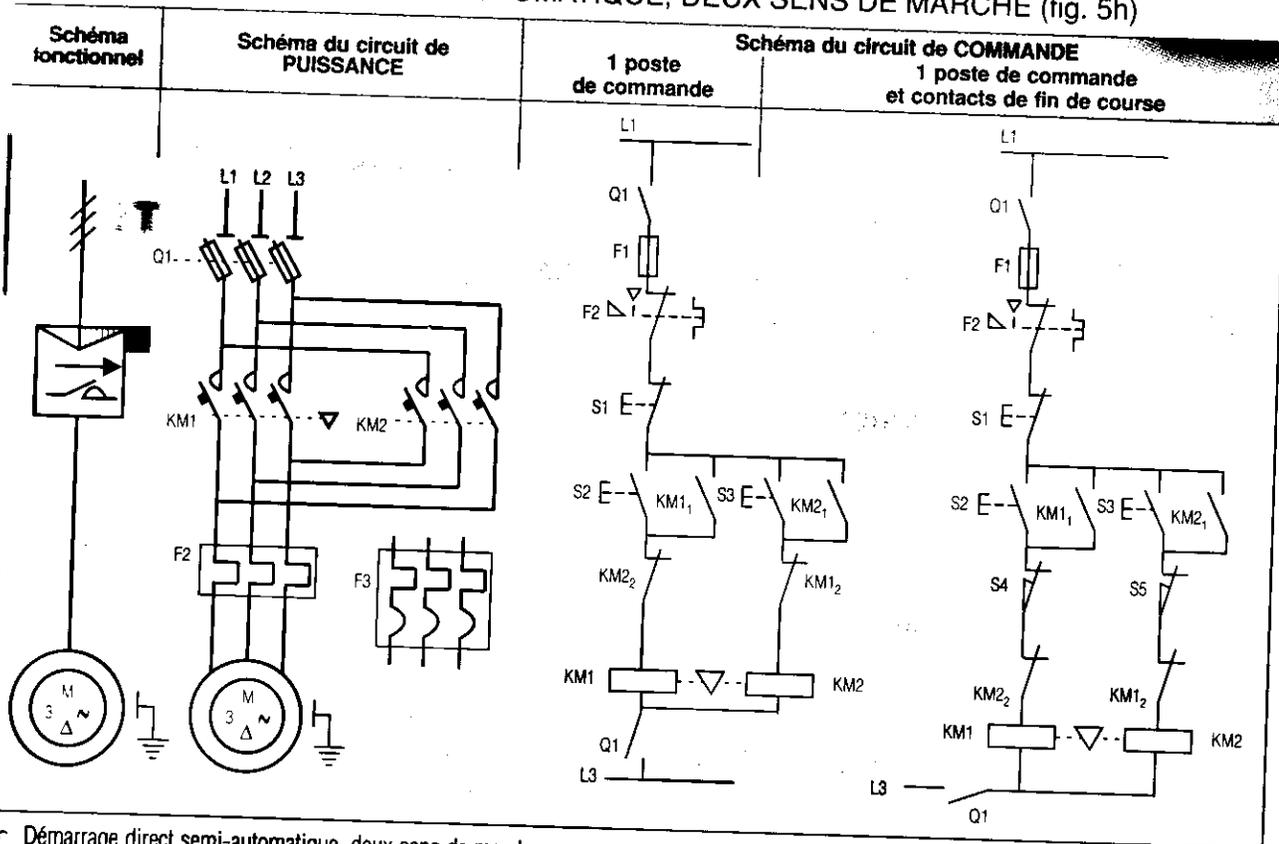
### ● COMMANDE PAR « À-COUPS »

Ce type de commande assure deux modes de fonctionnement distincts :

- **marche continue,**
- **marche impulsionnelle.**

Pour obtenir ce deuxième mode de marche, il suffit d'interrompre momentanément le circuit de la boucle de mémorisation. C'est ce que réalise le bouton rotatif à fermeture sans retour automatique S5.

● DÉMARRAGE DIRECT SEMI-AUTOMATIQUE, DEUX SENS DE MARCHE (fig. 5h)



5h Démarrage direct semi-automatique, deux sens de marche.

● NOMENCLATURE

- L1, L2, L3 : arrivée du réseau triphasé.
- Q1 : sectionneur porte-fusibles tripolaire équipé avec 2 contacts à fermeture.
- KM1, KM2 : contacteurs tripolaires équipés avec un contact à fermeture (F) et un contact à ouverture (O).
- F2 : relais de protection thermique.

- F3 : relais de protection magnéto-thermique.
- F1 : fusible.
- S1 : bouton-poussoir à ouverture à retour automatique.
- S2, S3 : boutons-poussoirs à fermeture et à retour automatique.
- S4, S5 : interrupteurs de position, contact à ouverture.
- M3 ~ Δ : moteur asynchrone triphasé à rotor à cage avec les enroulements statoriques couplés en triangle.

● DÉCODAGE

● SCHÉMA FONCTIONNEL

La flèche bi-directionnelle précise les deux sens de marche.

● SCHÉMA DU CIRCUIT DE PUISSANCE

l'inversion du sens de marche est obtenue par le croisement de deux fils de phase :

L1 et L3 sont inversés

la protection peut être assurée par :

- relais thermique (F2),
- ou relais magnéto-thermique (F3).

● SCHÉMA DU CIRCUIT DE COMMANDE

● Circuit avec un poste de commande : équipé avec trois boutons-poussoirs :

- S1 : bouton-poussoir « ARRÊT »,
- S2 : bouton-poussoir « MARCHE AVANT » (MA AV),
- S3 : bouton-poussoir « MARCHE ARRIÈRE » (MA AR).

Les contacts à ouverture KM1<sub>2</sub> et KM2<sub>2</sub> assurent le verrouillage électrique des deux sens de marche.

Ce symbole traduit un verrouillage mécanique entre les deux contacteurs (à un instant donné, un seul des deux contacteurs peut être fermé).

● Circuit avec un poste de commande et des contacts de fin de course : si l'inversion du sens de marche du moteur se traduit par l'inversion du sens de déplacement d'un mobile.

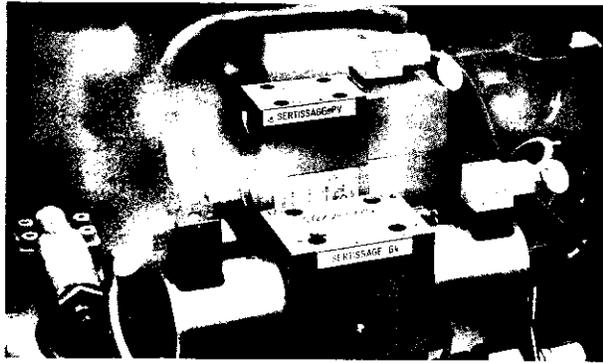
Exemples :

- déplacement vers la gauche ou la droite d'une table de machine-outil,
- déplacement vers l'avant ou l'arrière de la broche d'une tête d'usinage,
- montée ou descente d'un palan.

Il est nécessaire de prévoir des interrupteurs de position qui provoquent l'arrêt automatique du moteur dès qu'ils sont actionnés.

Ils se branchent toujours en série sur la bobine du contacteur à commander :

- si KM1 est le contacteur de marche avant, S4 est le fin de course avant et S5 le fin de course arrière.



Comment dépanner ce poste de sertissage sans connaître le schéma ?

# 14

## SCHÉMAS DES ÉQUIPEMENTS PNEUMATIQUES ET HYDRAULIQUES

### 1. ORGANISATION DES SCHÉMAS DE LA PARTIE OPÉRATIVE

Suivant les normes NF E04-056 et NF E04-057.

#### ● RÈGLES GÉNÉRALES

Les schémas doivent être clairs et permettre de suivre les circuits pour tous les mouvements et les ordres de commande au cours des différentes séquences du cycle de fonctionnement.

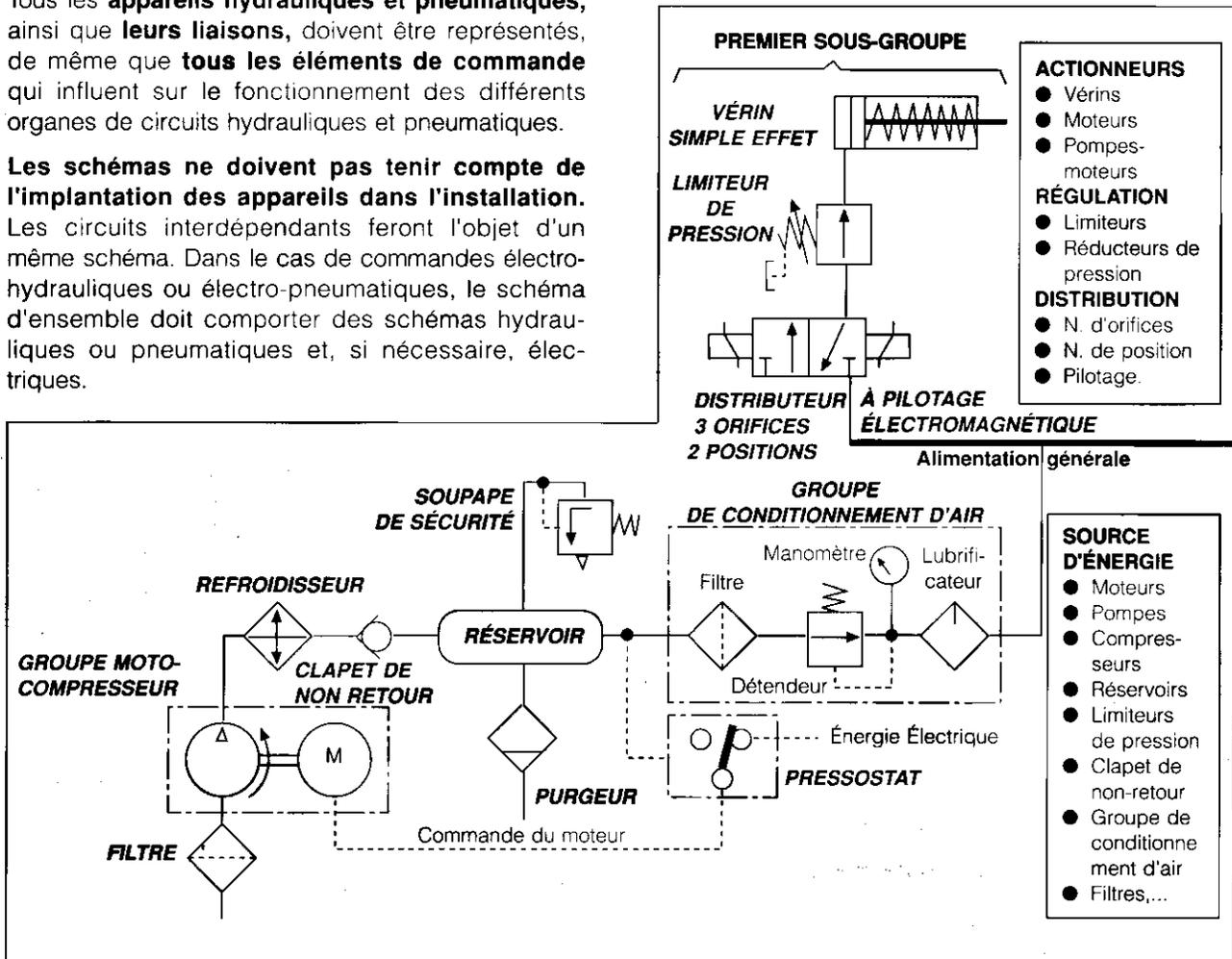
Tous les **appareils hydrauliques et pneumatiques**, ainsi que **leurs liaisons**, doivent être représentés, de même que **tous les éléments de commande** qui influent sur le fonctionnement des différents organes de circuits hydrauliques et pneumatiques.

**Les schémas ne doivent pas tenir compte de l'implantation des appareils dans l'installation.** Les circuits interdépendants feront l'objet d'un même schéma. Dans le cas de commandes électro-hydrauliques ou électro-pneumatiques, le schéma d'ensemble doit comporter des schémas hydrauliques ou pneumatiques et, si nécessaire, électriques.

#### ● DISPOSITION GÉNÉRALE

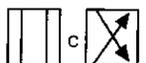
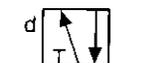
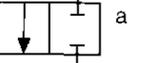
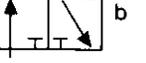
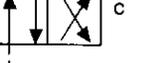
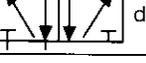
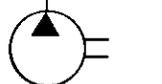
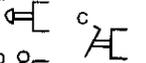
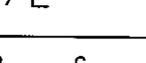
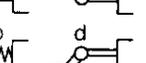
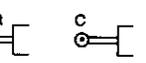
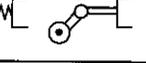
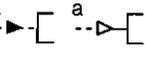
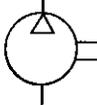
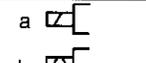
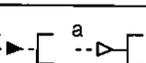
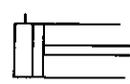
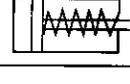
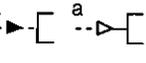
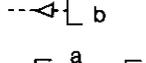
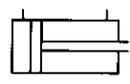
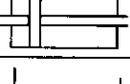
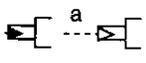
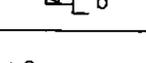
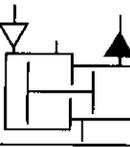
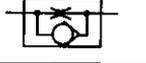
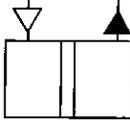
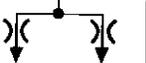
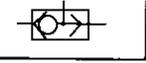
Écrits avec des symboles normalisés ces schémas doivent respecter la disposition suivante (fig. 1a) :

- à la partie inférieure tout ce qui concerne la source d'énergie avec le conditionnement du fluide, en qualité et pression;
- à la partie supérieure et par zones verticales tout ce qui concerne une même fonction avec les constituants de distribution, de régulation et de puissance, c'est-à-dire les actionneurs.



1a. Exemple de schéma pneumatique avec :  
 ● dans la partie inférieure la source d'énergie;  
 ● dans la partie supérieure, par famille d'actionneurs assurant la même fonction, une disposition du bas vers le haut : distribution, régulation, actionneurs.

2. PRINCIPAUX SYMBOLES (suivant tableau 2a)

SYMBOLE	DÉSIGNATION	SYMBOLE	DÉSIGNATION
  	<p><b>CONDUITES</b></p> <p>Trait continu rouge : conduite de travail, d'alimentation et de retour.</p> <p>Trait interrompu rouge : conduite de pilotage.</p> <p>Trait interrompu bleu : conduite de récupération de fuite, de purge ou d'évacuation.</p>	  	<p><b>VOIES OU CANAUX POUR DISTRIBUTEURS</b></p> <p>a. 1 voie    b. 2 orifices fermés</p> <p>c. 2 voies</p> <p>d. 2 voies, 1 orifice fermé.</p>
 	<p>Le TRIANGLE qui précise le sens du flux et la nature du fluide :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- triangle plein : flux hydraulique ;</li> <li>- triangle vide : flux pneumatique et son évacuation à l'air libre.</li> </ul>	   	<p><b>DISTRIBUTEURS</b></p> <p>Le premier chiffre indique le nombre d'orifices, le second le nombre de positions distinctes.</p> <p>a. distributeur 2/2</p> <p>b. distributeur 3/2</p> <p>c. distributeur 4/2</p> <p>d. distributeur 5/2</p>
 	<p><b>POMPE HYDRAULIQUE</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- à cylindrée fixe à un sens de flux ;</li> <li>- à cylindrée variable à deux sens de flux.</li> </ul>	  	<p><b>TYPES DE COMMANDE</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- MANUELLE</li> <li>a. par bouton-poussoir</li> <li>b. par levier</li> <li>c. par pédale</li> </ul>
	<p><b>MOTEUR HYDRAULIQUE</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- à un sens de flux ;</li> <li>- à cylindrée variable à deux sens de flux.</li> </ul>	   	<ul style="list-style-type: none"> <li>- MÉCANIQUE</li> <li>a. par poussoir ou palpeur</li> <li>b. par ressort</li> <li>c. par galet</li> <li>d. par galet escamotable</li> </ul>
	<p><b>COMPRESSEUR À CYLINDRÉE FIXE</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- à un seul sens de flux.</li> </ul>	 	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ÉLECTROMAGNÉTIQUE</li> <li>a. à 1 enroulement (simple action)</li> <li>b. à 2 enroulements opposés (double action).</li> </ul>
 	<p><b>VÉRINS À SIMPLE EFFET</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- à rappel par force non définie ;</li> <li>- à rappel par ressort.</li> </ul>	 	<ul style="list-style-type: none"> <li>- PAR PRESSION DIRECTE</li> <li>a. par augmentation de la pression</li> <li>b. par diminution de la pression.</li> </ul>
 	<p><b>VÉRINS À DOUBLE EFFET</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- à simple tige ;</li> <li>- à double tige transversante.</li> </ul>	 	<ul style="list-style-type: none"> <li>- PAR PRESSION INDIRECTE PAR DISTRIBUTEUR-PILOTE</li> <li>a. par augmentation de la pression</li> <li>b. par diminution de la pression</li> </ul>
	<p><b>MULTIPLICATEURS DE PRESSION</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- à deux natures de fluide (une pression pneumatique est transformée en une pression hydraulique supérieure).</li> </ul>	  	<p><b>CLAPETS DE NON RETOUR</b></p> <p>a. sans ressort</p> <p>b. avec ressort</p> <p>c. avec étranglement.</p>
	<p><b>ÉCHANGEURS DE PRESSION PNEUMATIQUE HYDRAULIQUE</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- transformant une pression pneumatique en une pression hydraulique égale.</li> </ul>	 	<p><b>RÉGULATEURS DE DÉBIT</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- à débit réglable</li> <li>- à débit réglable avec clapet de non retour.</li> </ul>
 	<p><b>SOURCES DE PRESSION</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- hydraulique ;</li> <li>- pneumatique.</li> </ul>	 	<p><b>DIVISEUR DE DÉBIT</b></p> <p><b>SÉLECTEUR DE CIRCUIT</b></p>

2a. Principaux symboles.

### 3. SCHÉMAS DE LA PARTIE COMMANDE : SÉQUENCEUR PNEUMATIQUE

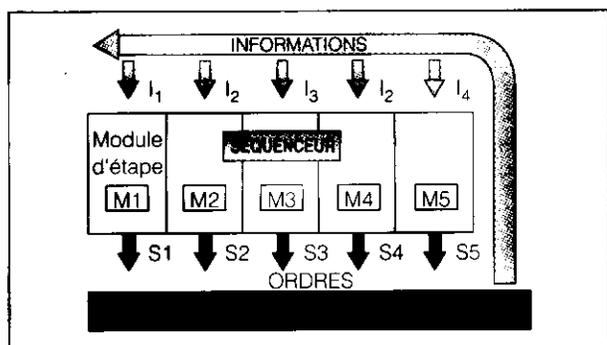
#### ● FONCTION

Un séquenceur est un ensemble technologique qui commande et contrôle l'exécution des actions d'un cycle conformément à la chronologie des étapes du diagramme fonctionnel, le GRAFCET.

C'est l'organe de la partie commande qui dialogue pas à pas avec la partie opérative de la machine ou de l'installation.

Il est constitué par l'association des modules d'étape du cycle à automatiser.

À chaque étape correspond un module (fig. 3a).

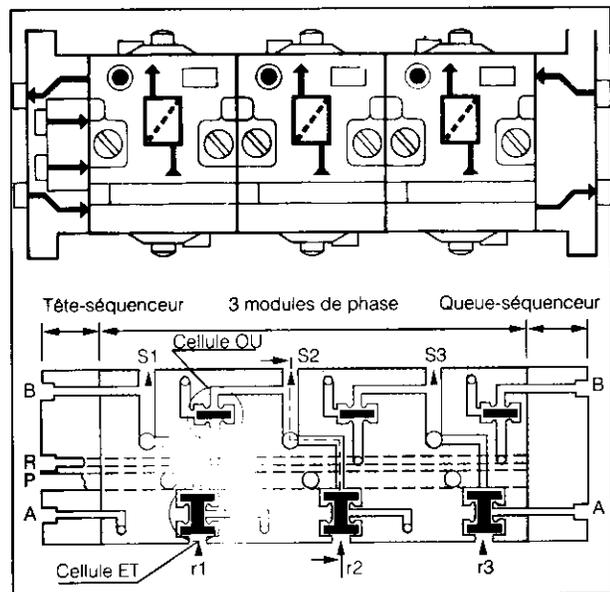


3a. Organisation modulaire d'un séquenceur.

#### ● CONSTITUTION

Chaque module de phase comprend une mémoire implantée sur une base. Chaque base inclut une cellule ET et une cellule OU. Lors de leur juxtaposition pour la constitution du séquenceur, les modules de phase sont interconnectés entre eux par leur base (fig. 3b).

Voir page 97 le fonctionnement d'une mémoire pneumatique.



3b. Implantation des modules d'étape et coupe fonctionnelle d'un séquenceur pneumatique (suivant Télémécanique).

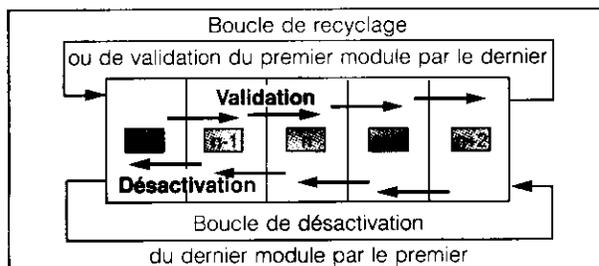
#### ● CIRCULATION DES INFORMATIONS DANS LE SÉQUENCEUR

Deux familles d'informations sont à considérer :

- les informations internes, de deux natures :
  - de validation d'un module de rang (n + 1) par un module de rang (n) ;
  - de désactivation d'un module de rang (n - 1) par un module de rang (n).

Ce qui entraîne la mise en place de deux boucles (fig. 3c) :

- la boucle de recyclage ou de retour à l'état initial qui assure la validation du premier module par le dernier,
- la boucle de désactivation du dernier module par le premier.

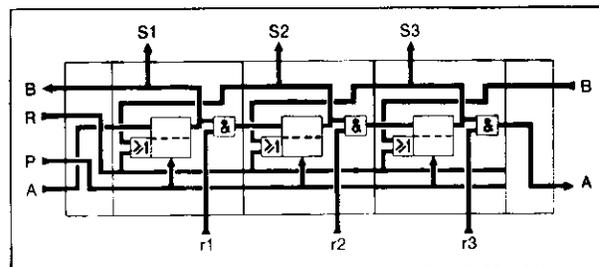


3c. Circulation des informations dans le séquenceur.

#### ● les informations externes :

- au niveau des entrées : les conditions de réceptivité qui, associées à la condition de validation autorisent l'activation et les informations relatives aux modes de marche, aux arrêts d'urgence, aux remises à zéro, aux consignes particulières, etc. ;
- au niveau des sorties : les ordres donnés aux organes de commande des actionneurs.

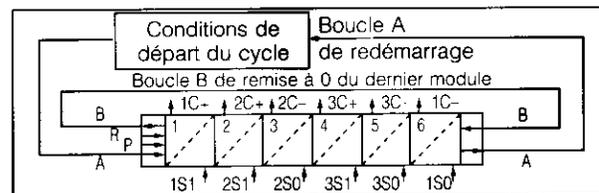
#### ● SCHÉMA LOGIQUE (fig. 3d).



3d. Schéma logique d'un séquenceur.

#### ● SCHÉMA D'USAGE

Pour un cycle de fonctionnement avec trois vérins 1C, 2C, 3C et les actions 1C+, 2C+, 2C-, 3C+, 3C-, 1C- (fig. 3e).



3e. Schéma d'usage.

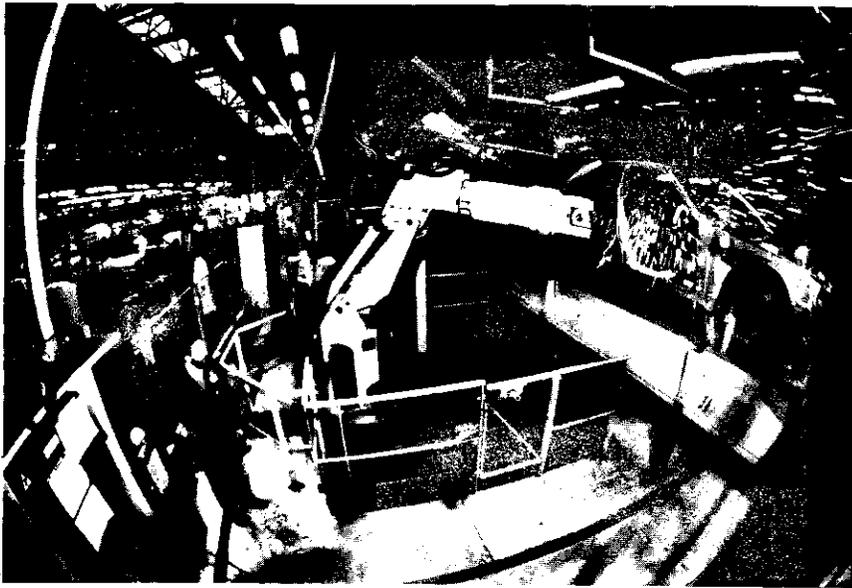
# QUATRIÈME PARTIE

## AUTOMATIQUE INDUSTRIELLE

- ORGANISATION FONCTIONNELLE D'UN SYSTÈME AUTOMATISÉ
- CONSTITUANTS PROGRAMMABLES DE COMMANDE
- ACQUISITION DES DONNÉES
- AFFECTATION DES SORTIES
- DIALOGUE ET COMMUNICATION
- FONCTIONS DE LOGIQUE COMBINATOIRE
- FONCTIONS DE LOGIQUE SÉQUENTIELLE
- GRAFCET
- EXEMPLE D'APPLICATION DU GRAFCET
- OBJETS TECHNIQUES D'INFORMATION : LES CAPTEURS
- OBJETS TECHNIQUES DE PUISSANCE : LES ACTIONNEURS.

Les contenus proposés dans cette quatrième partie représentent les **ressources nécessaires** à l'acquisition des **savoirs et des savoir-faire technologiques** de la maintenance par un développement progressif des **capacités** :

- de justifier l'**organisation fonctionnelle** d'un système automatisé ;
- de décrire l'organisation fonctionnelle et structurale des **fonctions principales** d'une **chaîne de traitement de l'information** ou d'un **constituant programmable** ;
- de justifier l'organisation fonctionnelle et structurale d'un **système d'acquisition de données** et d'un **système d'affectation des sorties** ;
- d'**identifier** sur un **système automatisé** les constituants du **dialogue** ;
- d'**exprimer** logiquement une **réceptivité** ;
- d'**exprimer** le **fonctionnement séquentiel** d'un système automatisé ;
- d'**identifier la fonction mémoire** ;
- d'**élaborer le GRAFCET** d'un système automatisé simple ;
- de **décoder le GRAFCET** d'un système automatisé et de justifier les choix technologiques de la partie opérative ;
- de caractériser l'**image informationnelle** d'un phénomène physique ;
- d'**identifier un actionneur ou un capteur** sur un dessin normalisé et en définir le rôle ;
- de justifier le choix d'un **actionneur** et de l'**effecteur** qui lui est associé ;
- d'**identifier les équipements de commande** des moteurs électriques ;
- de choisir un **constituant de remplacement** en fonction des caractéristiques imposées ;
- de remplacer sur la partie opérative du système automatisé, le **capteur ou l'actionneur défectueux**.



*De l'intérêt du robot pour améliorer la productivité de ce poste de travail.*

# 15

## ORGANISATION FONCTIONNELLE D'UN SYSTÈME AUTOMATISÉ

### 1. AUTOMATISMES INDUSTRIELS

L'**automaticien** est un technicien qui doit concevoir des dispositifs automatiques, ou **automatismes**, qui satisfont au mieux avec le **minimum d'intervention humaine** l'amélioration :

- des **conditions de travail**,
- et de la **productivité de l'entreprise**.

#### ● COMPLEXITÉ DES AUTOMATISMES

Si de nombreux automatismes existent dans les systèmes et les objets techniques qui constituent notre environnement il faut remarquer que le **niveau de leur complexité** est très divers.

C'est ainsi qu'un automatisme peut :

- **se limiter au contrôle et à la gestion de certaines grandeurs techniques ou économiques** représentatives d'un système.

*Exemples :*

- dans un appartement un thermostat d'ambiance contrôle la température pour maintenir ou couper le chauffage,
- dans une station d'essence en libre service, le raccrochage du pistolet entraîne l'édition du ticket-facture à payer à la caisse.

- **assurer pour une machine le traitement de l'ensemble des données techniques et des actions** qui en résultent.

*Exemples :*

- robot de manutention,
- machine à laver le linge,
- poste de lavage de véhicules automobiles,

• **intégrer au niveau d'un atelier ou d'une usine l'ensemble des données techniques et économiques** à des fins de gestion et d'exploitation d'un nombre important de moyens de production,

*Exemples :*

- ligne de fabrication de châssis de véhicules automobiles (fig. 1a),
- atelier de fabrication de pièces mécaniques,
- unité de raffinage de produits pétroliers.



1a. Ligne de fabrication de véhicules automobiles.

**Les AUTOMATISMES doivent améliorer :**

- les **CONDITIONS** de **TRAVAIL**,
- et la **PRODUCTIVITÉ** de l'entreprise.

**Suivant le niveau de leur application ils sont plus ou moins complexes.**

## 2. COMMENT EST ORGANISÉ UN SYSTÈME AUTOMATISÉ

Un système automatisé comprend (fig. 2a) :

- une partie opérative,
- et une partie commande.

qui dialoguent ensemble.

### ● PARTIE OPÉRATIVE

La partie opérative regroupe l'ensemble des opérateurs techniques qui assurent et contrôlent la **production des effets utiles**, pour lesquels le système automatisé a été conçu.

Exemples :

- dans un lave-linge l'effet utile attendu est le lavage du linge qui est obtenu par le brassage de ce dernier dans un tambour entraîné par le moteur, l'ensemble moteur et tambour constitue avec les capteurs qui contrôlent le bon déroulement du lavage, la partie opérative du lave-linge,
- de même l'ensemble bras, pince, moteurs et capteurs est la partie opérative d'un robot manipulateur,
- et l'ensemble des feux tricolores d'un carrefour qui indique aux automobilistes et aux piétons les bonnes conditions de franchissement, est la partie opérative de cette installation de signalisation.

La partie opérative **consomme de l'énergie** qui peut lui être fournie sous des formes diverses :

- électrique,
- pneumatique (air sous pression),
- hydraulique (huile sous pression).

Les opérateurs techniques d'une partie opérative sont :

- les **actionneurs** qui transforment l'énergie reçue en énergie utile.

Exemple :

- le moteur d'une machine-outil de production automatisée transforme l'énergie électrique reçue en énergie mécanique utile,
- les **capteurs** qui transforment la **variation des grandeurs physiques** liées au fonctionnement de l'automatisme en **signaux électriques**,

Exemple :

- le capteur de température du lave-linge transforme la variation de la grandeur physique, température du bain lessiviel, en un signal électrique.

### ● PARTIE COMMANDE

Cette partie transmet les **ordres** aux **actionneurs**.

Exemples :

- déplacement des brosses d'une station de lavage de voitures (fig. 2d).
- ouverture ou fermeture de la pince d'un robot,

- Inversion du sens de rotation du moteur d'un lave-linge.

Ces ordres peuvent être élaborés :

- à partir d'une **programmation chronologique**, c'est-à-dire une programmation dans laquelle chaque ordre a une durée de validité prédéterminée.

Exemple :

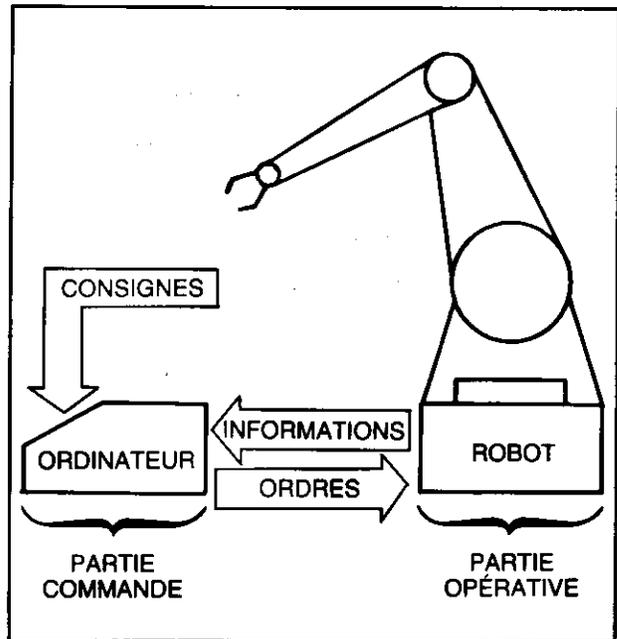
- sur une des voies d'un feu de carrefour le feu vert :
  - est allumé pendant 25 secondes,
  - reste éteint pendant 35 secondes, et ce cycle se répète identiquement 24 heures sur 24.
- à partir des **informations** délivrées par les **capteurs** de la partie opérative et traitées suivant un programme bien défini,

Exemple :

- l'ordre de fermeture de la pince d'un robot sur l'objet à saisir est donné après l'approche de ce dernier et le contrôle de sa bonne position relative par rapport à la pince.
- à partir des **consignes** qui sont données par l'**opérateur** ou l'utilisateur du système automatisé,

Exemples :

- ordre de marche donné par le conducteur d'une machine automatisée,
- ordre de mise au rouge d'un feu jaune clignotant par un piéton qui désire traverser la voie.



2a. Système automatisé comprenant :  
 • un robot, comme partie opérative  
 • un ordinateur, comme partie commande.

**Un SYSTÈME AUTOMATISÉ comprend :**

- une **PARTIE OPÉRATIVE** qui **consomme de l'ÉNERGIE** et produit les **EFFETS UTILES** du système,
- une **PARTIE COMMANDE** qui élabore des **ORDRES** en fonction des **INFORMATIONS** générées par les **CAPTEURS** de la partie opérative ou à partir des **CONSIGNES** affichées par l'opérateur.

● **EXEMPLE DE SYSTÈME AUTOMATISÉ : INSTALLATION DE MANUTENTION DE SABLE**

Un transporteur à benne assure le remplissage en sable d'une trémie peseuse à partir de laquelle est alimentée une centrale à béton (fig. 2b).

**À l'état initial**

- la trémie est fermée et vide, affichage  $P_0$ ,
- le transporteur est immobilisé dans l'axe de la trémie,
- la benne est ouverte en position haute.

**Description du cycle.**

À partir de l'information de début de cycle la chronologie des actions est :

- déplacer la benne vers la gauche jusqu'à l'axe du tas de sable,
- descendre la benne,
- fermer la benne,
- monter la benne,
- déplacer la benne vers la droite jusqu'à l'axe de la trémie,
- descendre la benne,
- ouvrir la benne,
- monter la benne,

et ce cycle se répète jusqu'au moment où le poids  $P_1$  est atteint, ce qui entraîne :

- démarrer le tapis roulant,
- ouvrir la trémie,

jusqu'à l'affichage du poids  $P_0$  qui provoque les actions :

- fermer la trémie,
- arrêter le tapis roulant, 30 secondes après.

La figure 2c met en évidence les **deux parties** du système automatisé :

● **PARTIE OPÉRATIVE**, que l'on appelle aussi **processus** ou **partie puissance**.

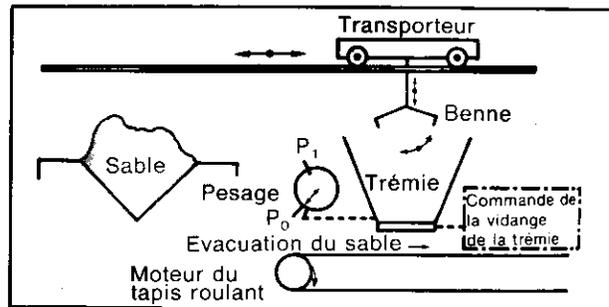
● **PARTIE COMMANDE**, que l'on appelle aussi **automate** ou **traitement logique de l'information**.

**La partie opérative est représentative du processus à automatiser.**

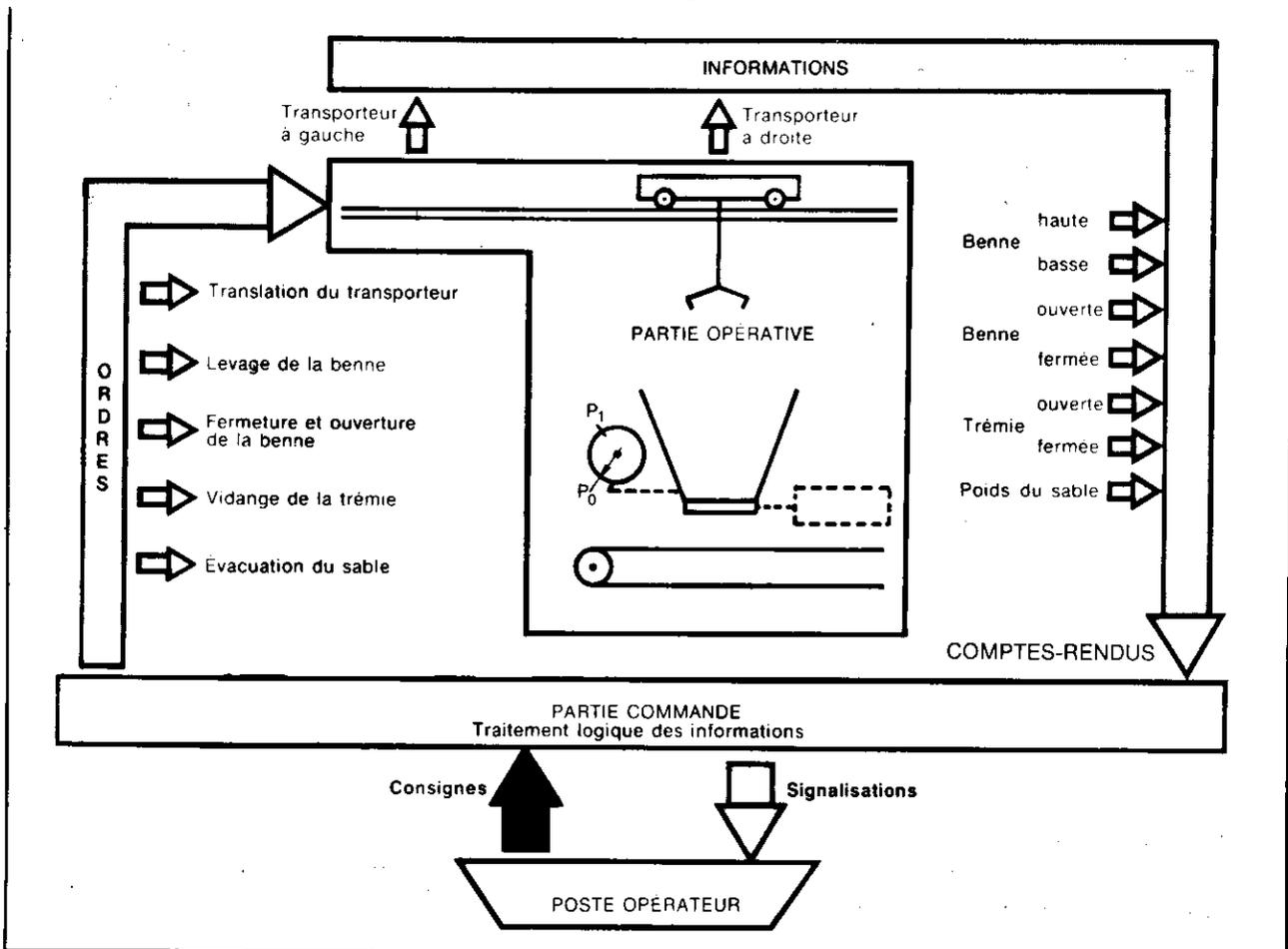
Cette même figure représente :

● le dialogue entre la **partie opérative** et la **partie commande**,

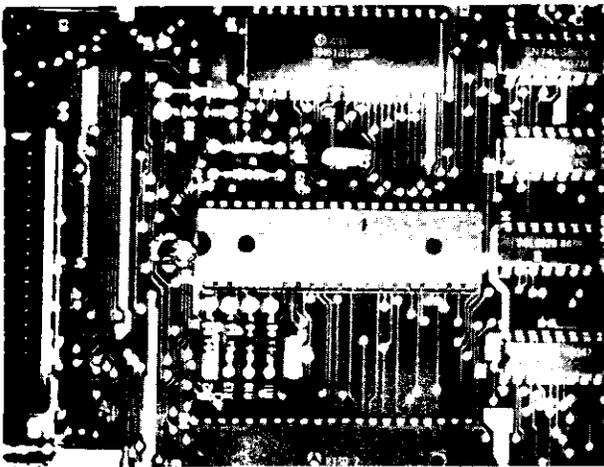
● et le dialogue entre la **partie commande** et l'**opérateur**.



2b. Alimentation en sable d'une centrale à béton.



2c. Dialogue entre la partie opérative et la partie commande et entre la partie commande et l'opérateur.



De la nécessité d'implanter de nombreux composants pour que le microprocesseur MC 6809 fonctionne bien.

# 16

## CONSTITUANTS PROGRAMMABLES DE COMMANDE

### 1. CLASSIFICATION DES CONSTITUANTS PROGRAMMABLES DE COMMANDE

#### ● CRITÈRES DE CHOIX

Tous ces objets techniques doivent apporter une solution de "logique programmée à la partie commande des systèmes automatisés.

Leurs critères de choix sont nombreux et dépendent globalement de la nature des produits fabriqués et des conditions de production retenues.

C'est ainsi que :

- **l'importance des systèmes** avec leur nombre d'entrées et de sorties à gérer et aussi le nombre de machines à piloter,

- la nécessité de mettre en oeuvre un **traitement numérique** plus ou moins important,

- **l'intégration** plus ou moins grande des tâches industrielles et des tâches de gestion,

- **la flexibilité**, c'est-à-dire l'aptitude du centre de production à changer rapidement de fabrication,

- la facilité de la maintenance,
- la compatibilité dans leur interconnection pour créer des réseaux,

sont autant de critères qui peuvent être pris en compte dans leur choix.

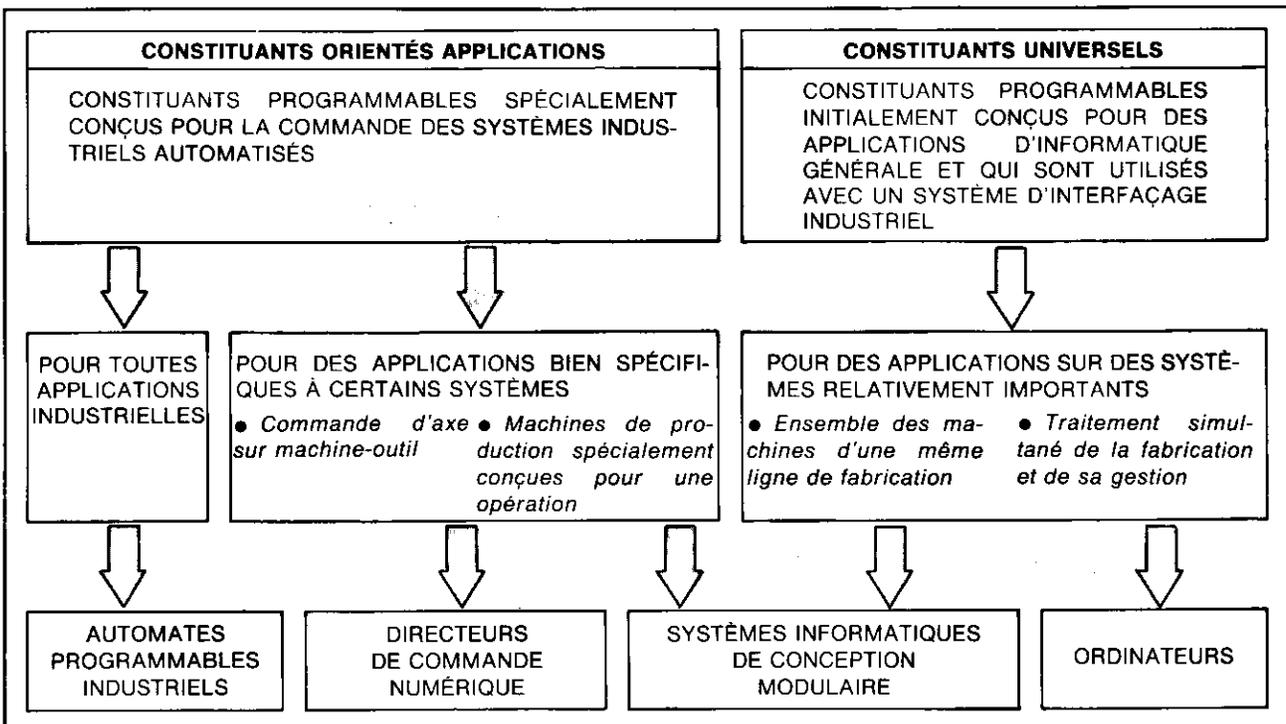
#### ● CLASSIFICATION

Malgré leurs nombreux critères de choix, ces constituants peuvent se classer en deux familles :

- ceux qui sont **orientés applications**,
- et ceux dits **universels**.

Pour chacune de ces familles le tableau fig. 1a donne :

- la description fonctionnelle,
- le champ d'application,
- la désignation des matériels utilisés.



1a. Classification des constituants programmables de commande.

## 2. ORGANISATION FONCTIONNELLE D'UN CONSTITUANT PROGRAMMABLE

La fig. 2a représente la fonction globale de ce constituant, la fig. 2b en donne la structure interne.

Cette dernière met en évidence cinq supports techniques d'activité :

- l'alimentation,
- l'interface d'entrée,
- le processeur,
- la mémoire,
- l'interface de sortie.

### ● PROCESSEUR

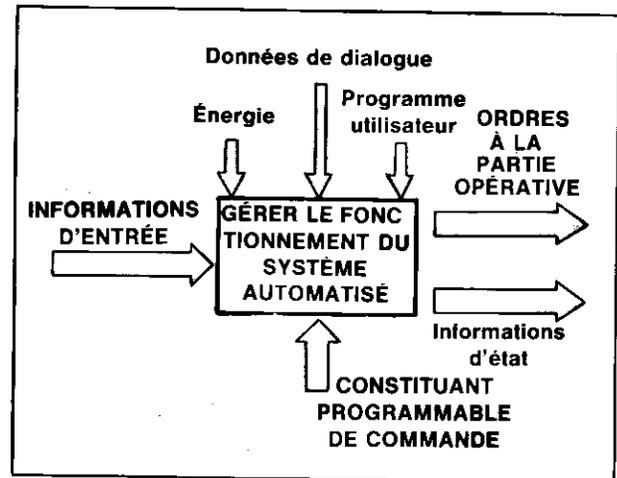
Dans un système de traitement d'information le processeur est l'unité fonctionnelle capable d'interpréter et d'exécuter les instructions du programme.

Dans un constituant programmable le processeur gère l'ensemble des échanges informationnels en assurant :

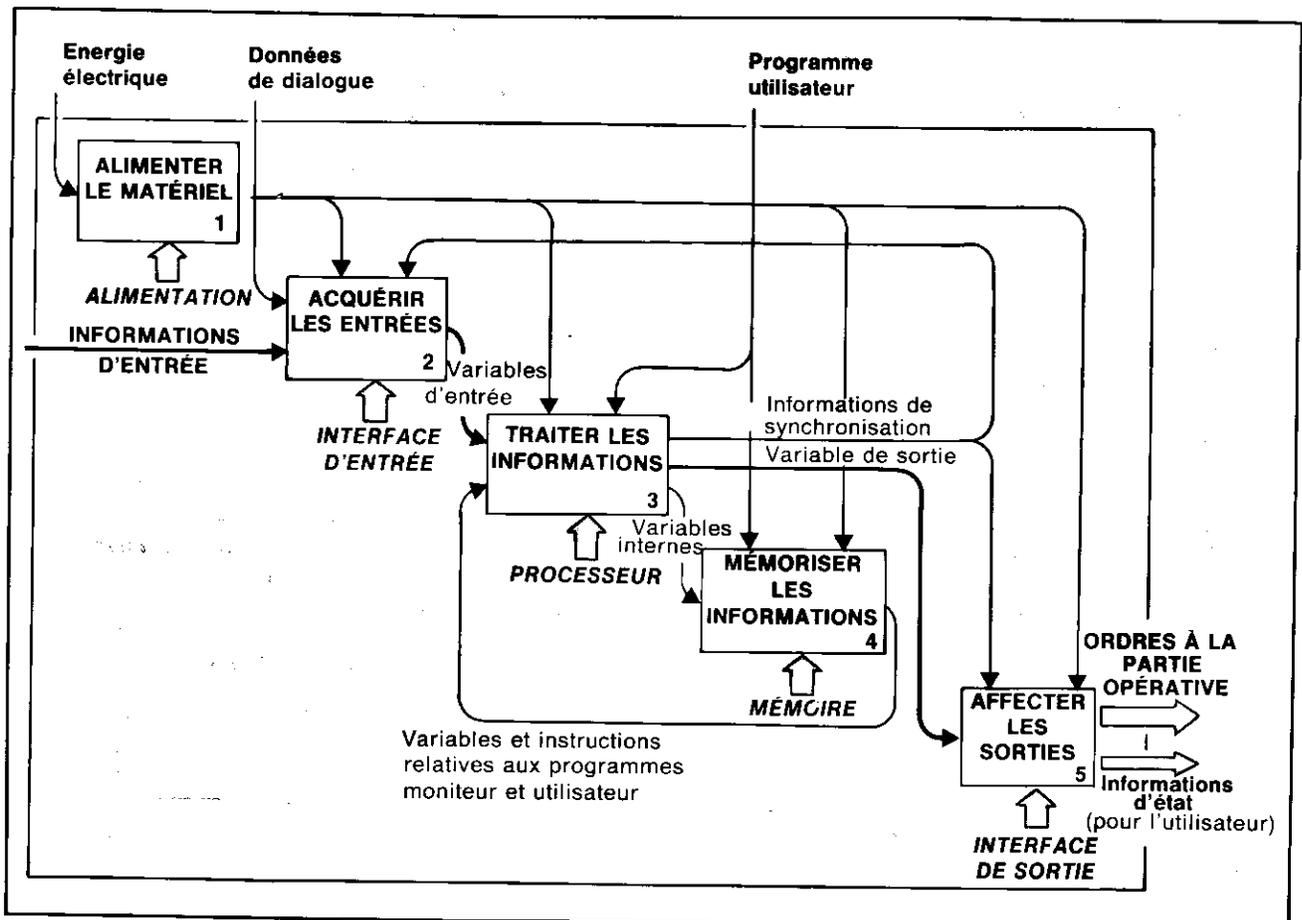
- la lecture des informations d'entrée,
- l'exécution des instructions du programme stocké en mémoire,
- la commande ou l'écriture des sorties.

C'est ainsi que suivant sa puissance de traitement le processeur peut exécuter des instructions relatives à des opérations :

- logiques,
- arithmétiques : addition, soustraction,
- de transfert en mémoire,
- de pas à pas,
- de comptage et décomptage,
- de temporisation,
- de lecture des entrées,
- d'écriture des sorties,
- de comparaison, ...



2a. Constituant programmable de commande (Niveau A-0).



2b. Structure interne d'un constituant programmable de commande (Niveau A0).

### 3. ORGANISATION FONCTIONNELLE D'UN AUTOMATE PROGRAMMABLE INDUSTRIEL

● **FONCTION (Suivant NF C 63-850)**

Un automate programmable est un appareil électronique qui comporte une mémoire programmable par un utilisateur automaticien à l'aide d'un langage adapté, pour le stockage interne des instructions comportant les fonctions d'automatismes, par exemple :

- logique séquentielle et combinatoire,
- temporisation,
- comptage, décomptage, comparaison,
- calcul arithmétique,
- réglage, asservissement, régulation, etc...

pour commander, mesurer et contrôler au moyen des modules d'entrée et de sortie (logiques, numériques ou analogiques) différentes sortes de machines ou de processus, en environnement industriel.

La compacité, la robustesse et la facilité d'emploi des automates programmables industriels (A.P.I.) font qu'ils sont très utilisés dans la partie commande des systèmes industriels automatisés.

La fig. 3a représente, fonctionnellement, l'emploi d'un A.P.I. pour la partie commande d'un système industriel automatisé.

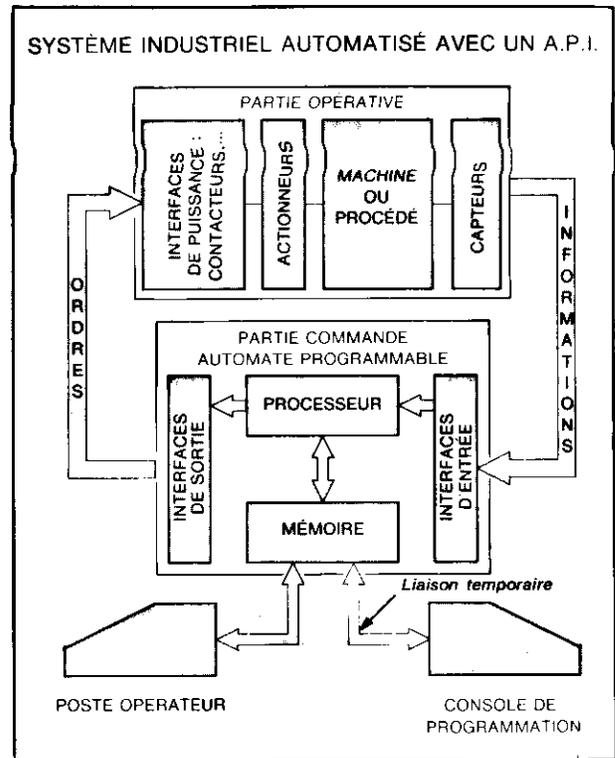
● **ORGANISATION FONCTIONNELLE**

Un A.P.I. se compose (fig. 3b) :

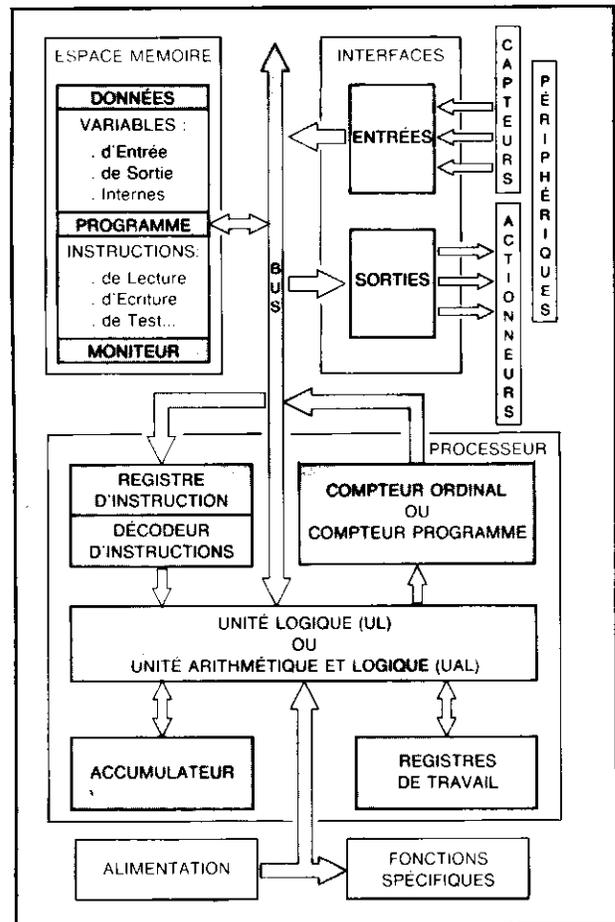
- d'une unité de traitement ou processeur,
- d'une zone ou espace mémoire,
- de systèmes modulaires d'entrée et de sortie,
- de bus internes et externes,
- d'une alimentation,
- éventuellement de modules fonctions spécifiques.

Dans le processeur :

- l'Unité Logique (UL) ou l'Unité Arithmétique et Logique (UAL) traite les opérations logiques ET, OU et Négation pour la première, et en plus les opérations arithmétiques pour la seconde,
- l'Accumulateur est un registre de travail dans lequel se range une donnée ou un résultat,
- le Registre d'Instruction contient, durant le temps de traitement, l'instruction à exécuter,
- le Décodeur d'Instruction décode l'instruction à exécuter en y associant les microprogrammes de traitement,
- le Compteur Programme ou Compteur Ordinal contient l'adresse de la prochaine instruction à exécuter et gère ainsi la chronologie de l'exécution des instructions du programme.



3a. Schéma fonctionnel d'un système industriel automatisé avec un A.P.I. pour la partie commande.



3b. Organisation fonctionnelle d'un A.P.I.

● ORGANISATION DE LA MÉMOIRE CENTRALE

La **mémoire centrale** est aussi désignée : **espace mémoire**.

C'est l'élément fonctionnel qui peut **recevoir, conserver et restituer des informations**.

Dans une zone, ou un emplacement de la mémoire, une information peut être écrite, effacée ou lue.

● NATURE DES MÉMOIRES

Les mémoires utilisées dans un **A.P.I.** peuvent être :

● **durant la phase d'étude et de mise au point du programme :**

- des **mémoires vives RAM** (Random Access Memory) mémoires à accès aléatoire qui sont volatiles,
- des **mémoires EAROM** (Electrically Alterable Read Only Memory) qui sont non volatiles et effaçables partiellement par voie électrique,

● **durant la phase d'exploitation :**

- des **mémoires vives RAM** qui imposent un **dispositif de sauvegarde** par batterie rechargeable pour éviter la volatilité de leur contenu en cas de coupure de courant,
- des **mémoires mortes ROM** à lecture seulement ou **PROM**, programmables à lecture seulement,
- des **mémoires reprogrammables EPROM** (Erasable PROM), effaçables par un rayonnement ultra-violet, et **EEPROM** (Electric Erasable PROM), effaçables électriquement.

● STRUCTURE LOGICIELLE

En plus de la nature technologique des mémoires, cette zone est caractérisée par :

● sa **capacité utile** exprimée en

**K mots** ou **K octets** ( $1 K = 2^{10} = 1 024$ ),

● son **organisation interne** : le format des mots mémorisés et leur nombre,

● son **organisation logicielle** qui impose à l'automaticien des zones affectées à des familles d'informations.

La fig. 3c donne l'organisation logicielle de la mémoire centrale d'un A.P.I. en deux grandes zones :

- **mémoire des données,**
- **mémoire programme.**

Dans la **zone des données**, exploitée en mémoire vive, **une adresse** est assignée à chaque variable.

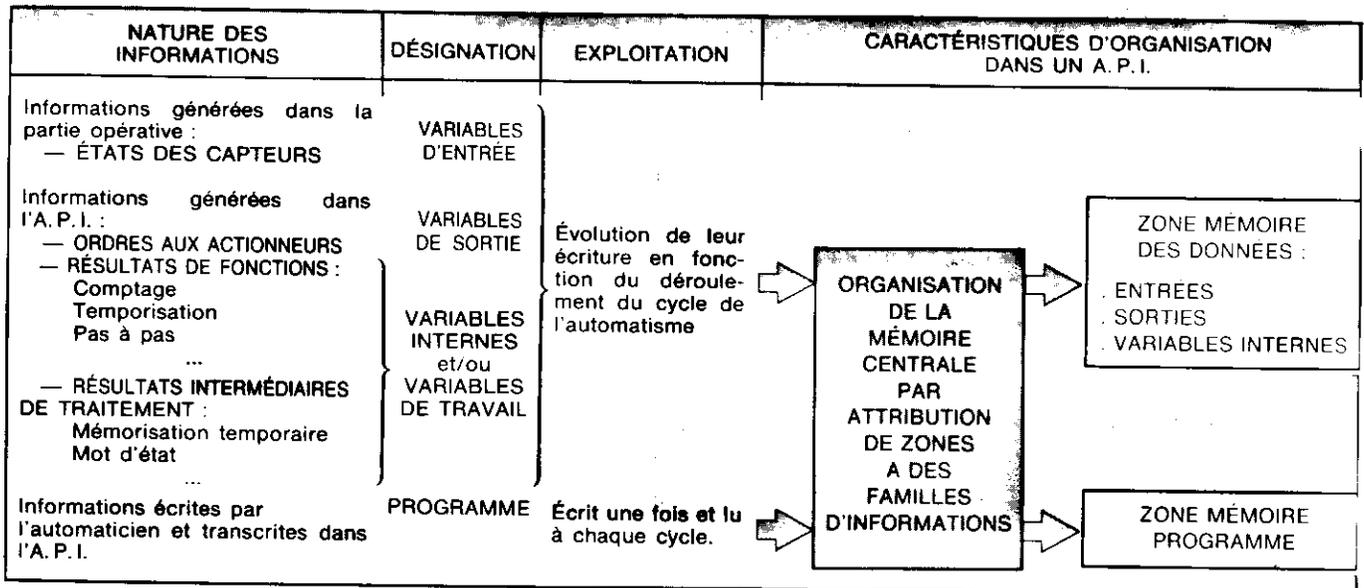
Dans la **zone du programme**, exploitée en mémoire morte ou en mémoire vive avec sauvegarde, le **numéro de la ligne du programme** spécifie sa position mémoire.

*Exemple sur A.P.I. APRIL 15N*

*Dans cet A.P.I. le constructeur a prévu :*

● **une zone mémoire vive** constituée par le composant **RAM 5517** dont la capacité est **2 K octets** ( $1 024 \times 2 = 2 048$  octets) pour le programme objet et le stockage des données ; cette mémoire vive **RAM** est secourue par une **pile au lithium** de capacité 1 Ah avec une autonomie supérieure à 5 ans,

● **une zone mémoire morte** constituée par le composant **EEPROM 2816** dont la capacité est **2 K octets** pour le stockage du programme source, des variables initiales et des consignes.



3c. Organisation de la zone mémoire dans un A.P.I.

### 3. EXEMPLE DE FONCTIONNEMENT D'UN A.P.I.

#### ● UNITÉ CENTRALE

L'unité centrale est le regroupement du processeur et de la mémoire centrale, elle commande l'interprétation et l'exécution des instructions du programme.

#### ● MODE DE FONCTIONNEMENT

L'A.P.I. est caractérisé par un fonctionnement cyclique, ou synchrone, de l'unité centrale.

Ce mode de fonctionnement entraîne :

- un traitement séquentiel des opérations qui sont exécutées les unes après les autres,
- sous le contrôle d'une horloge, ou centrale de temps, qui en assure le séquençage, c'est-à-dire une bonne synchronisation dans l'exécution.

Un fonctionnement cyclique ou synchrone est opposé à un fonctionnement parallèle ou asynchrone dans lequel les opérations peuvent se dérouler de façon simultanée dans un ou plusieurs organes. C'est le cas de la logique câblée.

En réalité si le cahier des charges prévoit deux actions simultanées l'A.P.I. les traite successivement, ce qui en réalité ne porte pas préjudice au fonctionnement de l'automatisme, compte tenu de la différence importante entre le temps de réponse de la partie commande et celui de la partie opérative.

#### ● VITESSE DE TRAITEMENT

C'est la vitesse de l'unité centrale d'un A.P.I. pour exécuter une certaine quantité d'instructions logiques.

Cette expression qui caractérise la puissance de traitement de l'A.P.I. peut s'exprimer :

- en ms par K mots (1 024 mots)
- ou en ms pour n lignes du programme.

Exemples :

- sur APRIL 15N : 3 ms environ pour 600 lignes de programme
- sur TSX 17 : 5 ms pour 1 K instructions.

Pour une unité centrale donnée cette vitesse est fonction :

- du type de mémoire, avec ses temps d'accès, ses temps de cycle de lecture et d'écriture,
- et de la conception technologique du processeur, câblé ou microprogrammé, avec ou sans microprocesseur.

#### ● EXÉCUTION DU PROGRAMME

L'exécution d'un programme impose deux types de tâches (fig. 3a) :

- la **scrutation** :
  - des entrées pour l'acquisition des informations,
  - des sorties pour l'affectation des ordres,
  - et l'exécution des instructions du programme.

La **scrutation** est la période pendant laquelle le programme moniteur, c'est-à-dire le programme qui gère le fonctionnement de l'A.P.I. :

- **interroge** le mot d'état présent sur chaque entrée,
- **affecte** un état logique au mot d'état de chaque sortie.

L'exécution des instructions du programme se déroule sous le contrôle du **compteur programme** qui pointe successivement la totalité des emplacements de la mémoire qui sont occupés par le programme.

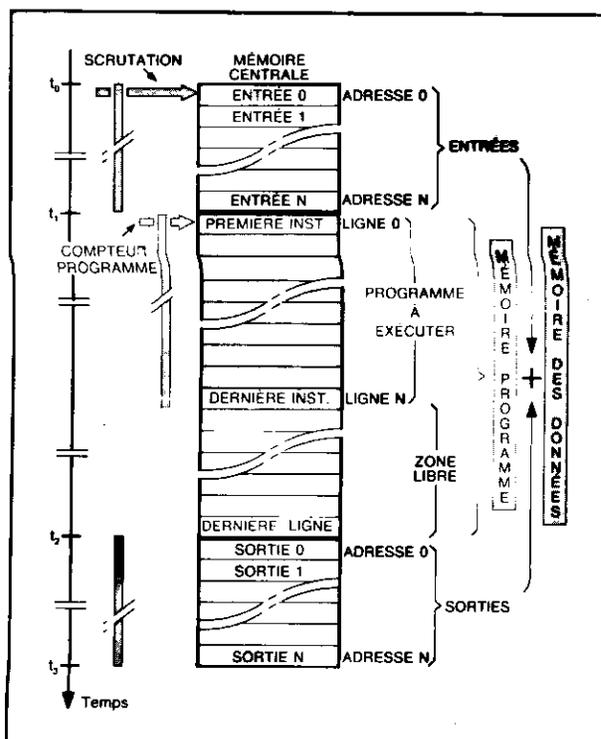
Exemple : Exploitation de la mémoire centrale lors du déroulement d'un programme (fig. 3a).

Cette évolution est synchrone et se caractérise par la chronologie suivante :

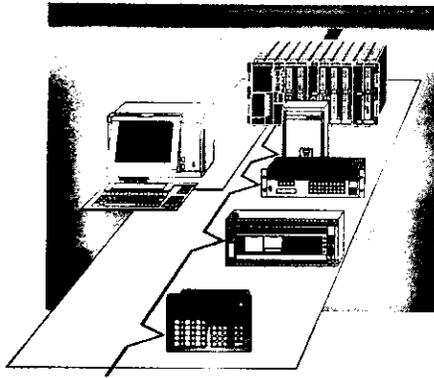
- acquisition de toutes les entrées,
- traitement de tout le programme,
- affectation de toutes les sorties.

Si cette exploitation était appliquée au programme de la fig. 9b page 104 :

- les entrées seraient aux adresses 000 à 002
- le programme écrit de la ligne 0C30 à la ligne 0C46
- les sorties aux adresses 020 et 021.



3a. Exemple d'exploitation de la mémoire centrale lors de l'exécution d'un programme.



De la nécessité de disposer d'un réseau pour l'acquisition des données.

# 17

## ACQUISITION DES DONNÉES

### 1. INTERFAÇAGE D'ENTRÉE

Le dialogue entre la partie opérative et la partie commande nécessite une fonction interface d'entrée.

Sur un A.P.I. cette fonction est concrétisée par des cartes ou modules d'entrée qui peuvent être :

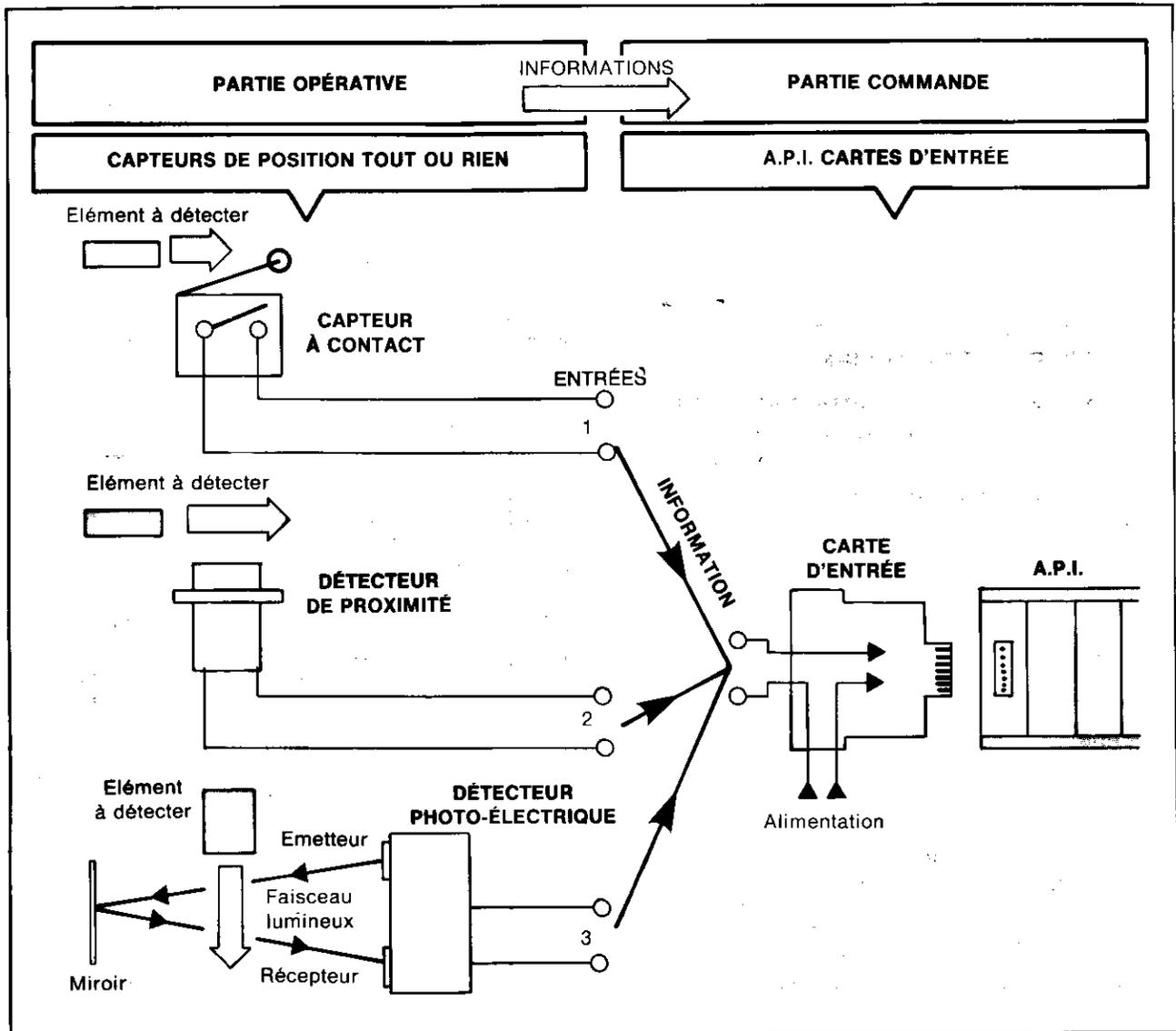
- logiques encore désignés TOUT OU RIEN
- ou analogiques.

Ces cartes concernent plusieurs entrées.

Sur une entrée TOUT OU RIEN deux états binaires peuvent être lus :

- absence de tension,
- présence de tension,

Ces états logiques sont exploités dans l'unité de traitement de l'A.P.I.



1a. Transmission des informations entre la partie opérative et la partie commande.

## 2. ORGANISATION FONCTIONNELLE D'UNE ENTRÉE TOUT OU RIEN

### ● FONCTION

Le **capteur** saisit la **variation d'une grandeur physique** et la transforme en **signal électrique**, binaire dans le cas d'un capteur de position TOUT OU RIEN.

L'entrée TOUT OU RIEN doit acquérir ce signal électrique, **image informationnelle de la grandeur physique** pour le transformer en une **variable binaire à traiter** (fig. 2a).

Voir fig. 2b page 106.

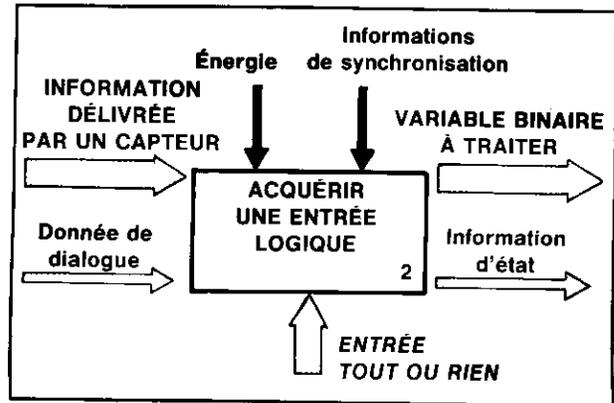
À partir de l'image informationnelle cette interface d'entrée doit (fig. 2b) :

- **protéger les circuits,**
- **mettre en forme le signal** afin de bien différencier ses deux niveaux,
- éviter qu'un **parasite industriel** ne soit interprété comme un signal à traiter,
- **séparer galvaniquement les circuits** de l'entrée et ceux de l'unité de traitement,
- **visualiser** l'état de l'entrée.

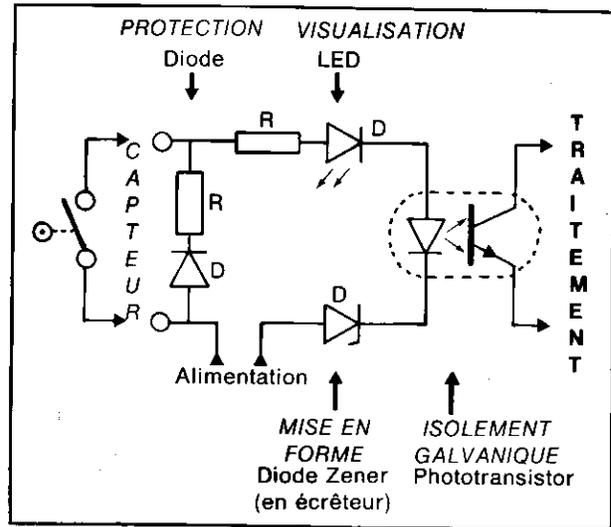
### ● EXEMPLE DE CONCEPTION

La fig. 2c donne un exemple de conception d'une entrée TOUT OU RIEN :

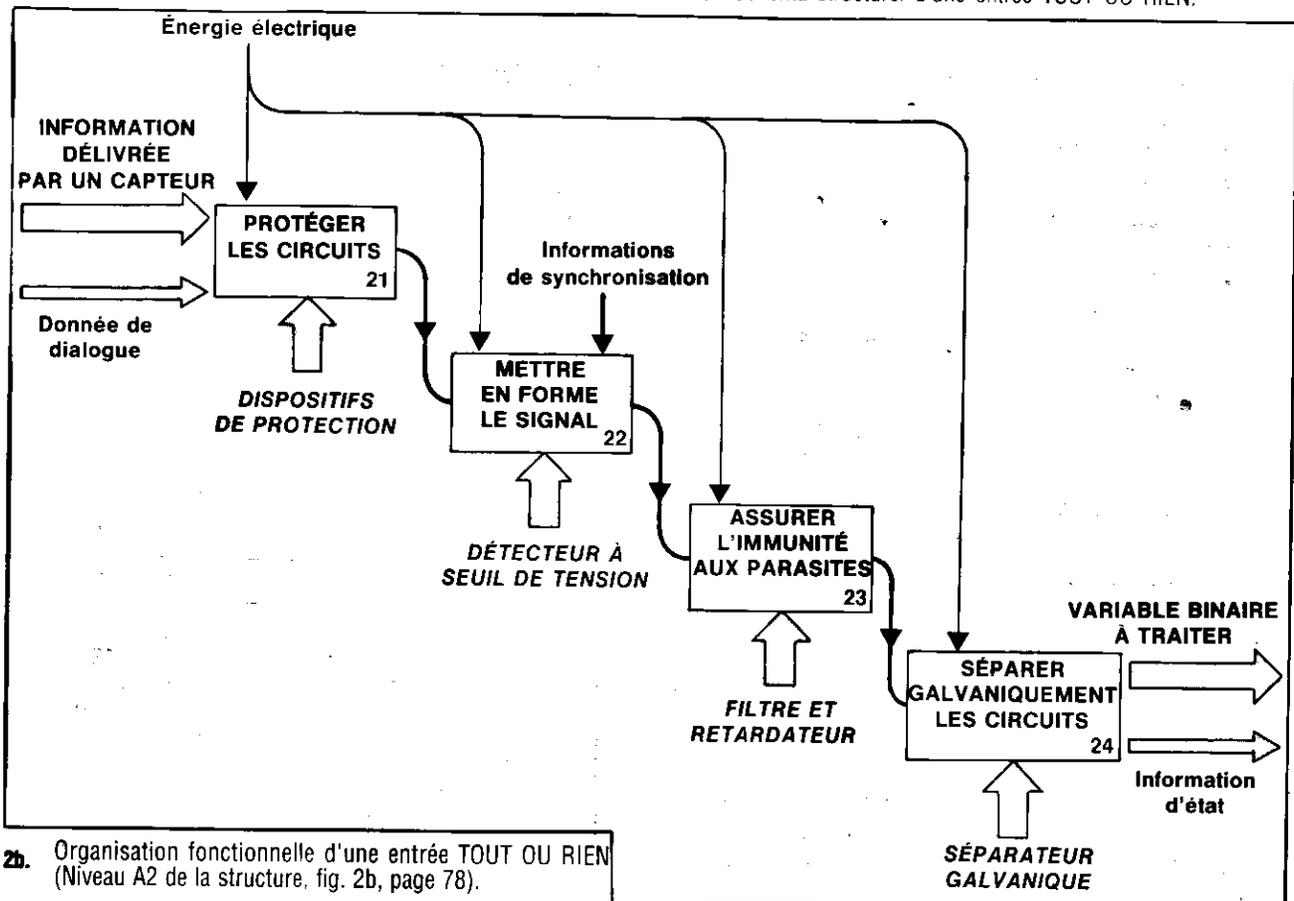
- une **diode Zéner** montée en **écrêteur** permet la mise en forme ; cette dernière pourrait également être réalisée par un **trigger de SCHMITT**.



2a. Fonction d'une entrée TOUT OU RIEN.



2c. Schéma structurel d'une entrée TOUT OU RIEN.



2b. Organisation fonctionnelle d'une entrée TOUT OU RIEN (Niveau A2 de la structure, fig. 2b, page 78).

### 3. CARACTÉRISTIQUES ÉLECTRIQUES D'UNE ENTRÉE TOUT OU RIEN

Les caractéristiques d'une entrée TOUT OU RIEN sont :

- **Tension nominale**, qui est la tension que ses propres circuits d'entrée peuvent supporter sans risque de détérioration.

- **Courant typique absorbé** qui est une donnée importante pour la détermination des liaisons entrée-capteur.

Exemples :

- sur **APRIL 15 N**

- Tension nominale : 24 V continu (+ 20 - 15 %)

- Courant typique : 15 mA

- sur **TSX 17**

- Tension nominale : 24 V continu

- Courant typique : 7 mA

- Alimentation des capteurs : 19,2 à 30 V continu.

- **Valeurs limites d'entrée**, ces données sont très importantes, elles fixent les **plages garanties de tension et de courant** pour lesquelles le signal d'entrée est bien représentatif de son image informationnelle à l'état 1 ou à l'état 0.

Exemples :

- sur **APRIL 15 N** (fig. 3a)

- État logique 0

plage tension  $0 \leq U \leq 4,8$  V

plage courant  $0 \leq I \leq 3$  mA

- État logique 1

plage tension  $13 \leq U \leq 28,8$  V

plage courant  $0 \leq I \leq 1,4$  mA

Cela signifie que pour toute valeur :

- de tension comprise entre 4,8 et 13 V,

- ou de courant comprise entre 3 et 7 mA,

l'entrée logique n'a pas une lecture fiable, elle peut interpréter le signal indifféremment à l'état logique 0 ou 1.

- sur **TSX 17**

- État logique 0

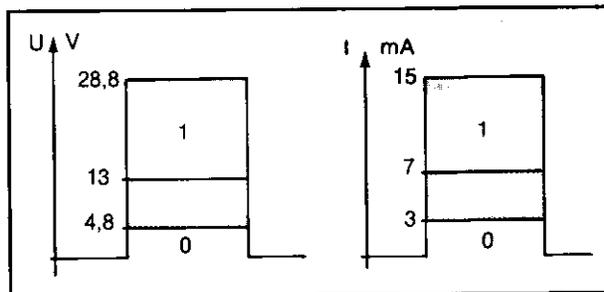
plage tension  $0 \leq U \leq 5$  V

plage courant  $0 \leq I \leq 1,4$  mA

- État logique 1

plage tension  $11 \leq U \leq 30$  V

plage courant  $I \geq 2,5$  mA pour  $U = 11$  V



3a. Exemple de plages tension et courant sur une entrée TOUT OU RIEN de l'APRIL 15 N. Les plages en rose sont les plages garanties.

- **Immunité aux parasites** qui précise la durée maximale d'un parasite pour qu'il ne soit pas lu par l'entrée comme un signal à traiter ; il faut remarquer que cette immunité aux parasites **augmente le temps de réponse** de l'A.P.I. et restreint son utilisation pour des signaux de faible durée et de fréquence élevée, dans ce cas, les entrées à utiliser sont dites rapides avec une très faible temporisation.

Exemples :

- sur **APRIL 15 N**

- Filtrage, valeur typique 10 ms

- sur **TSX 17**

- Pour un changement d'état de 4,5 à 12 ms.

- **Tension d'isolement par rapport à la logique**, c'est la tension maximale qui, en plus de la destruction des circuits de l'entrée, provoquerait un claquage d'isolement entre l'entrée et l'unité de traitement ce qui entraînerait la détérioration de cette dernière.

Exemple :

- sur **APRIL 15 N**

- Isolement par rapport à la logique 2 000  $V_{eff}$

- **Puissance dissipée par entrée**, cette donnée est nécessaire pour la détermination du circuit d'alimentation.

Exemples :

- sur **APRIL 15 N**

- Puissance dissipée par voie commandée sous la tension nominale : 360 mW

- sur **TSX 17**

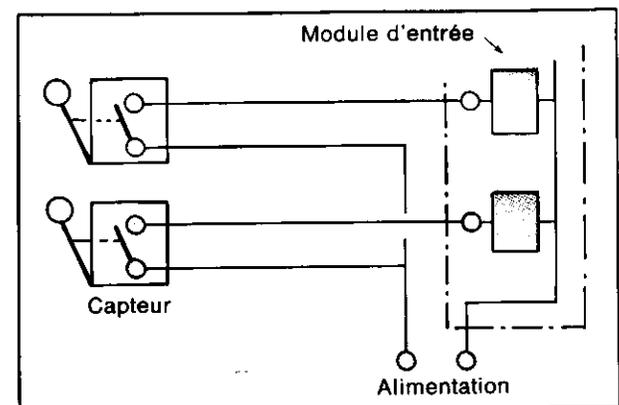
- Puissance dissipée par voie : 170 mW.

### 4. BRANCHEMENT DE PLUSIEURS CAPTEURS ET DÉTECTEURS

Les modules d'entrée comportant un **commun**, le branchement de chaque capteur se fait sur une **seule borne** (fig. 4a).

Pour les capteurs et détecteurs deux fils le signal est transmis par l'alimentation.

Pour les détecteurs trois fils, du type détecteurs inductifs par exemple, le signal est transmis entre un conducteur particulier et le commun de l'alimentation.



4a. Branchement de plusieurs capteurs.

# 18

## AFFECTATION DES SORTIES

### 1. INTERFAÇAGE DE SORTIE

Le dialogue entre la partie commande et la partie opérative nécessite une fonction interface de sortie.

Sur un A.P.I. cette fonction est concrétisée par des cartes ou modules de sortie qui peuvent être :

- logiques, encore désignés « TOUT OU RIEN »,
- ou analogiques.

Ces cartes concernent plusieurs sorties.

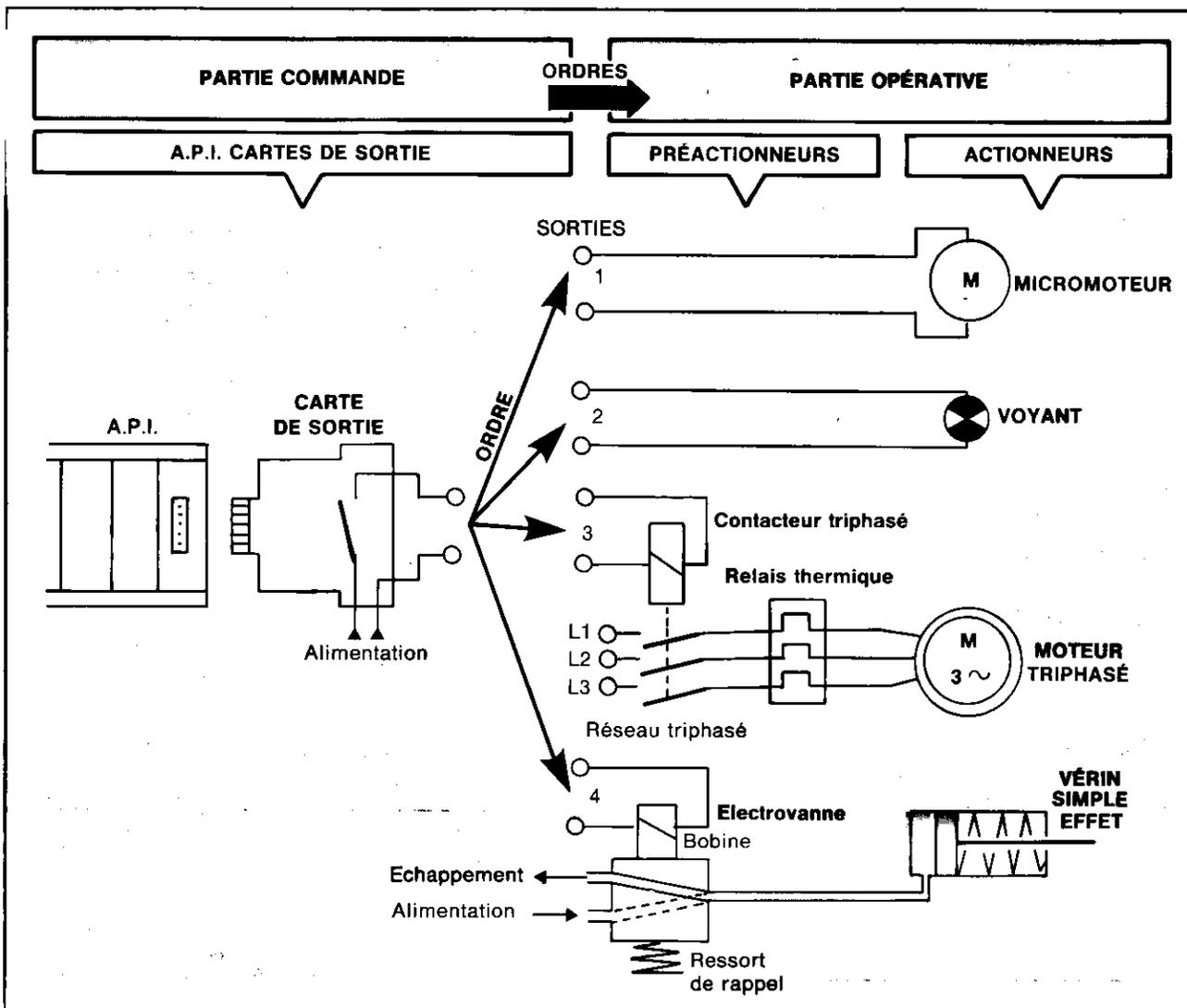
Sur une sortie TOUT OU RIEN deux états binaires peuvent s'écrire :

- absence de tension,
- présence de tension,

qui se traduisent en **états logiques**.

Ces états logiques sont exploités pour la commande des **actionneurs** (fig. 1a) :

- **directement**, si la puissance de ces derniers est inférieure à 10 watts, environ, qui est la limite de puissance en sortie d'un A.P.I.,
- soit par l'**intermédiaire d'un préactionneur**.



1a. Transmission des ordres entre la partie commande et la partie opérative.

## 2. PRÉACTIONNEURS

### ● FONCTION

Un préactionneur **TOUT OU RIEN** commande l'établissement et l'interruption de la circulation de l'énergie entre une source et un actionneur (fig. 2a).

Suivant la nature de l'énergie le préactionneur est :

- un **contacteur** pour l'énergie électrique,
- un **distributeur** pour les énergies **pneumatique** et **hydraulique**.

Il comprend toujours :

- une **partie commande** dont l'état dépend de l'état de la sortie concernée de l'A.P.I.,
- une **partie puissance**, ou commutation, qui alimente l'actionneur.

Exemples :

La **partie commande** est la **bobine** dans le contacteur, dans l'électrovanne.

La **partie puissance** est :

- le bloc des **contacts de puissance** dans un contacteur,
- l'**ensemble corps et tiroir**, ou **corps et clapet**, dans un distributeur.

Le préactionneur présente aussi l'avantage d'être un **amplificateur de puissance**.

Exemples :

Dans un contacteur les 5 à 10 watts consommés dans la bobine permettent de commuter les nombreux kilowatts absorbés par l'actionneur, un moteur par exemple (fig. 2b).

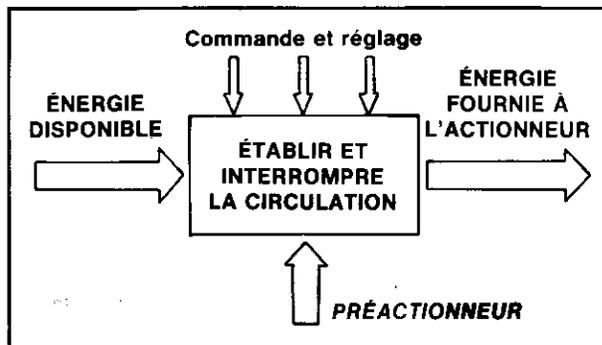
De même dans un distributeur pneumatique, à pilotage pneumatique (fig. 2c) :

- la **pression de pilotage est faible**, de l'ordre de 0,5 à 2 bars, de même que le débit,
- alors que la **pression du circuit de puissance est élevée**, de 7 à 9 bars, avec un débit beaucoup plus important.

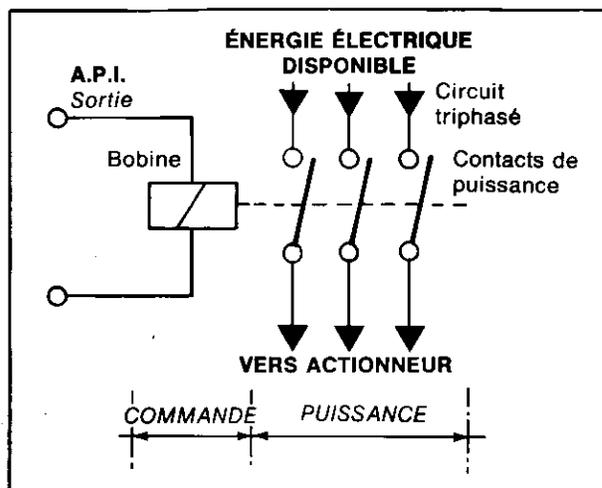
Le pilotage d'un distributeur peut être :

- **mécanique**, par levier,
- **pneumatique**,
- **électrique**, par électro-aimant dans le cas de l'hydraulique,
- **électro-pneumatique**, par électrovalve.

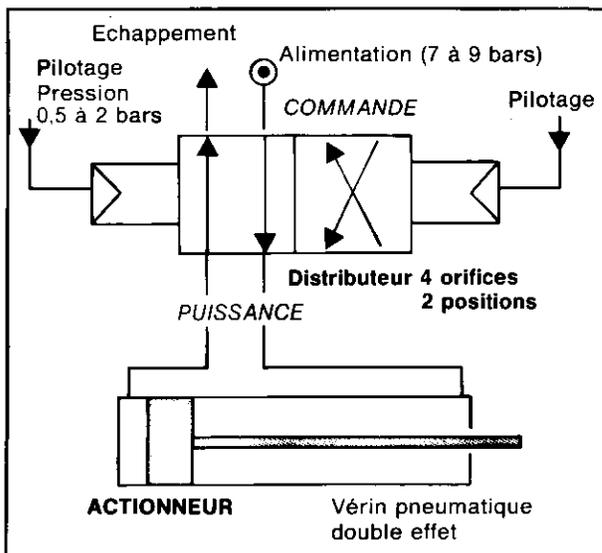
Les signaux de sortie d'un A.P.I. étant électriques le pilotage pneumatique impose une **interface électro-pneumatique** (fig. 2d). Dans le cas de signaux pneumatiques transmis à plus de six mètres le **temps de commutation** de l'ensemble interface électro-pneumatique-distributeur risque d'être trop élevé (supérieur à 80 ms).



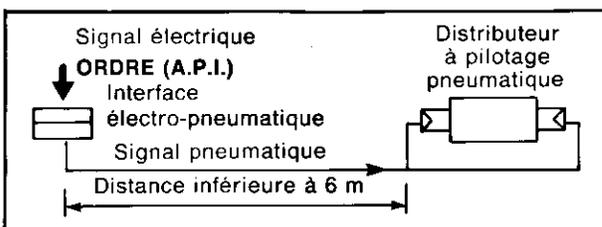
2a. Fonction globale d'un préactionneur.



2b. Schéma fonctionnel d'un préactionneur électrique : contacteur.



2c. Schéma fonctionnel d'un préactionneur pneumatique : distributeur 4 orifices, 2 positions à double pilotage pneumatique.



2d. Limite de distance pour un pilotage pneumatique.

● **DIALOGUE ENTRE L'A.P.I. ET LE PRÉACTIONNEUR OU L'ACTIONNEUR**

Si l'A.P.I. délivre l'ordre d'établir la circulation de l'énergie vers l'actionneur, il est souvent nécessaire que la **bonne exécution de cette commande soit confirmée à l'A.P.I.**

Le dialogue A.P.I., préactionneur se traduit par un **échange d'ordres et de comptes-rendus.**

Exemple (fig. 2e) :

Sur un contacteur, un contact auxiliaire permet d'informer l'A.P.I. de l'état fermé ou ouvert du contacteur et de ce fait, de l'état alimenté ou non alimenté de l'actionneur. Cette information est gérée à partir d'une borne d'entrée de l'A.P.I.

Si l'actionneur est un vérin il est important de connaître la **position exacte de la tige**, rentrée ou sortie, pour faire évoluer la partie commande dans les conditions décrites par le **GRAFSET**.

Des comptes-rendus sont générés par des **capteurs** qui peuvent être :

- implantés directement sur la machine,
- ou placés sur le vérin lorsque la zone de travail ne le permet pas.

Exemples :

● **Capteurs mécaniques de position**, qui implantés sur la machine contrôlent la position de la tige du vérin, ou la position de toute autre pièce entraînée par ce dernier (fig. 2f).

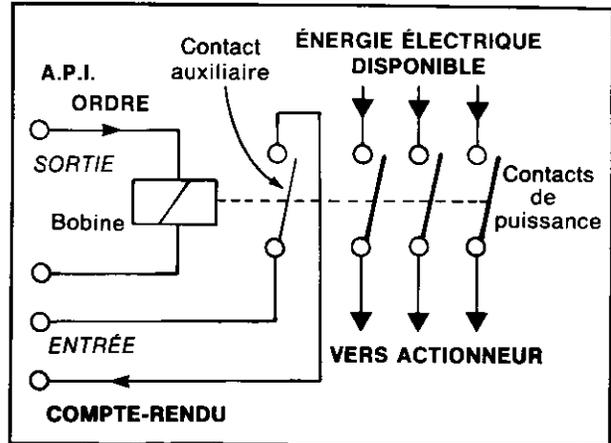
● **Capteurs pneumatiques à seuil de pression** (fig. 2g). Ces capteurs utilisent la chute de pression dans la chambre d'échappement du vérin, ils peuvent émettre un signal de sortie pneumatique, électrique ou électronique.

Ils se placent sur les orifices d'alimentation du vérin.

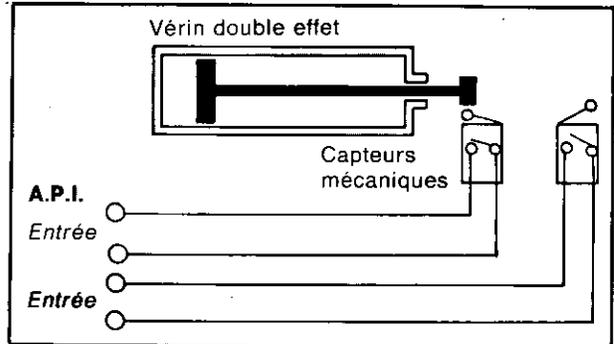
● **Capteurs électroniques à détection magnétique** (fig. 2h).

Ces capteurs se placent directement sur le **corps magnétique du vérin**. Un **aimant permanent** disposé dans le piston crée un champ magnétique.

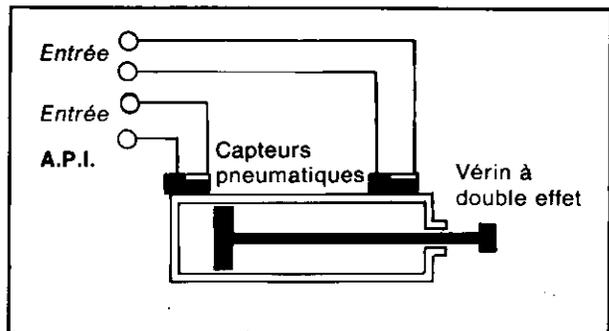
Le piston en se déplaçant déclenche le système de détection électronique du capteur.



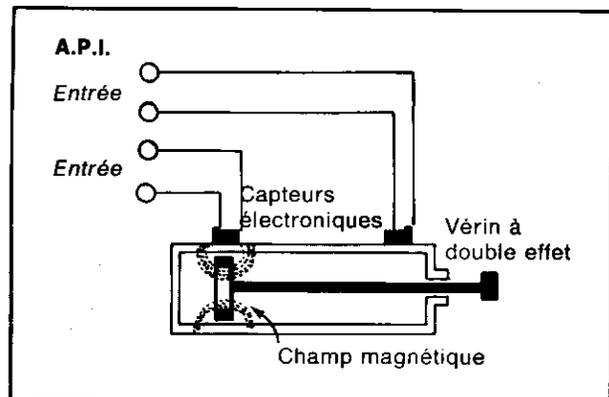
2e. L'état du contact auxiliaire, lu sur une borne d'entrée, rend compte de l'état du contacteur et de l'actionneur.



2f. Contrôle de la position de la tige du vérin par capteurs mécaniques.



2g. Contrôle de la position de la tige du vérin par capteurs pneumatiques.



2h. Contrôle de position de la tige du vérin par capteurs électroniques à détection magnétique.

### 3. ORGANISATION FONCTIONNELLE D'UNE SORTIE TOUT OU RIEN

#### ● FONCTION

Après le traitement des informations par le processeur **une interface de sortie affecte sur la sortie un ordre binaire** (fig. 3a).

Voir fig. 2b page 106.

À partir du résultat du traitement cette interface doit (fig. 3b) :

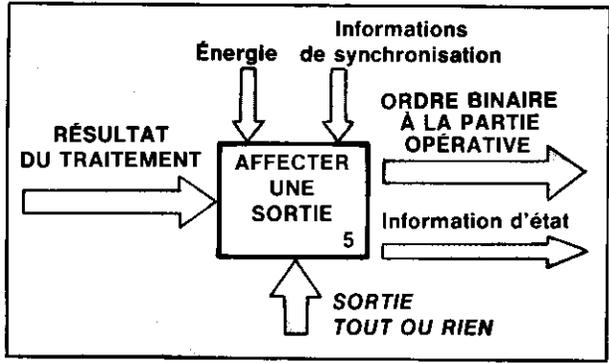
- **mémoriser le résultat**, en terme d'état logique, car durant tout l'état d'activation d'une étape, l'état de la variable de sortie est invariant,
- **séparer galvaniquement les circuits** pour éviter la transmission des signaux parasites,
- **protéger les circuits** contre les surtensions, les courts-circuits, les inversions de polarité, ...
- **commuter et amplifier le signal** pour que ses caractéristiques, courant tension, soient adaptées à l'actionneur ou au préactionneur commandé,
- **visualiser l'état** de la sortie.

#### ● EXEMPLE DE CONCEPTION

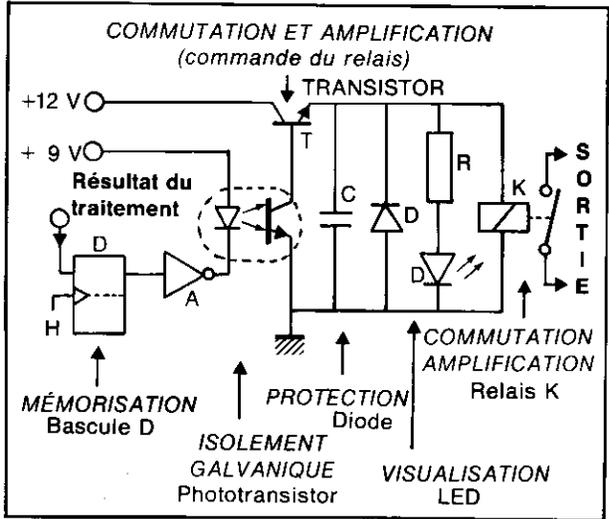
La fig. 3c donne un exemple de conception d'une sortie TOUT OU RIEN :

- un **phototransistor** permet l'**isolement galvanique** entre les circuits de l'unité de traitement et le circuit de commande de la bobine du relais,
- la **diode D**, dite **de roue libre**, protège les

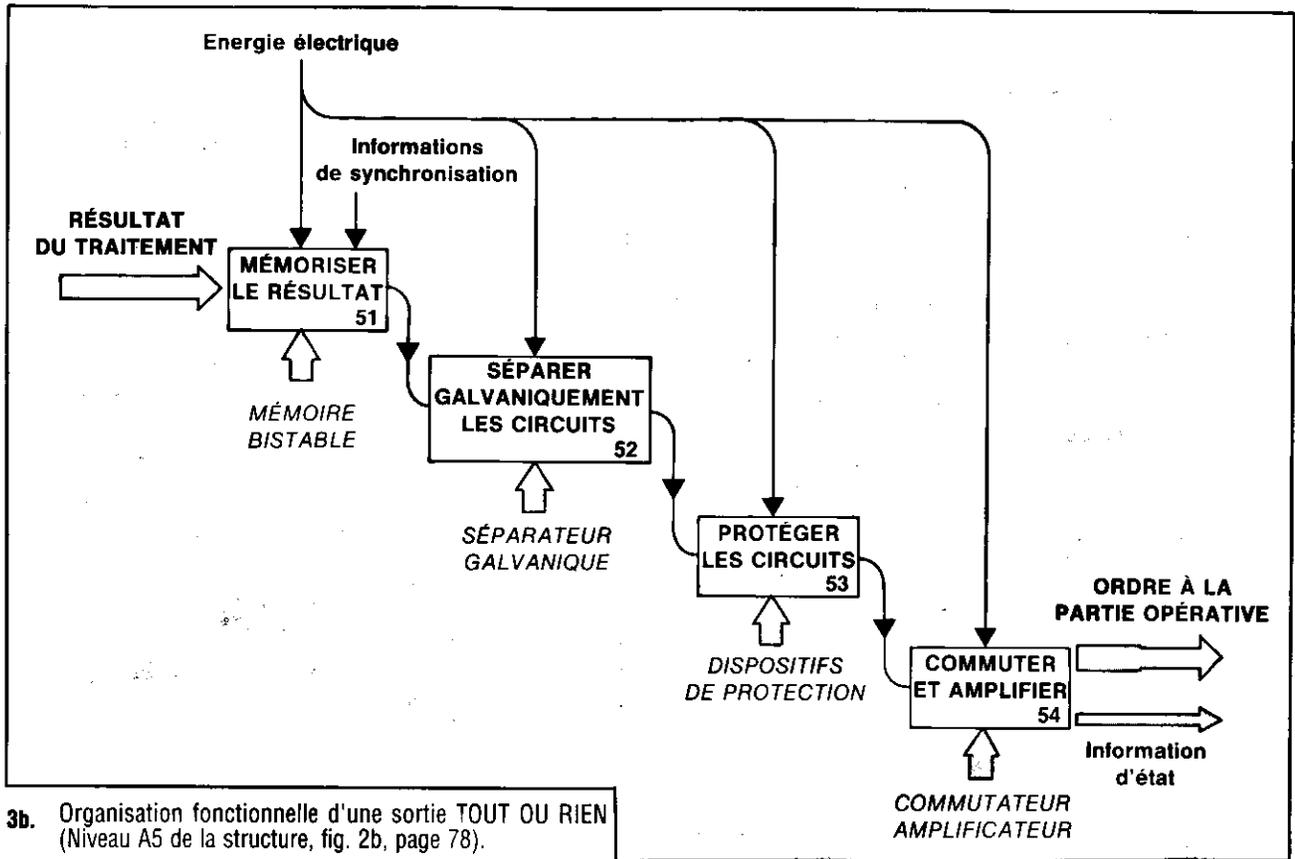
circuits contre les surtensions au moment de la coupure de la bobine du relais K.



3a. Fonction d'une sortie TOUT OU RIEN.



3c. Schéma structurel d'une sortie TOUT OU RIEN avec relais.



3b. Organisation fonctionnelle d'une sortie TOUT OU RIEN (Niveau A5 de la structure, fig. 2b, page 78).

#### 1. BES ENTI ET L

La comp nécessaire carte con De diag machine

● Visu visualisa numérou d'une opé entilateu

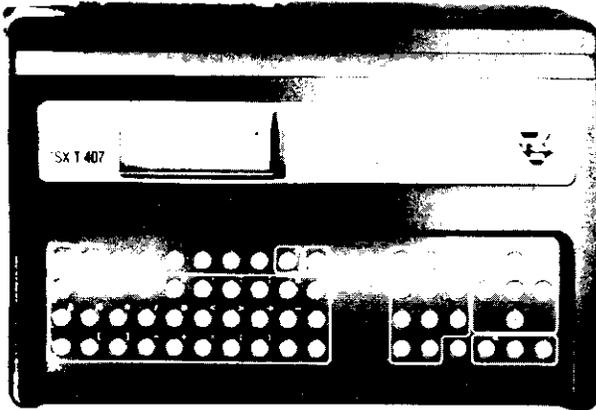
● AM rée des m compe 1. De rem Avec une image pe messages

#### DIALOG

Le dial nécess en serv et éga modifio

2a. Dialog

De la nécessité pour l'opérateur de disposer de bons outils de dialogue avec la partie commande.



# 19

## DIALOGUE ET COMMUNICATION

### 1. BESOIN DE DIALOGUE ENTRE LES OPÉRATEURS ET LA PARTIE COMMANDE

La complexité des systèmes automatisés rend nécessaire le dialogue entre les opérateurs et la partie commande.

Ce dialogue, encore désigné **dialogue homme-machine** satisfait les besoins suivants :

- **Visualisation de valeurs numériques :** visualisation en temps réel d'états, de valeurs numériques (*nombre de pièces fabriquées, durée d'une opération, état de bon fonctionnement d'un ventilateur, ...*).

- **Affichage de messages :** affichage en temps réel des messages (*textes en clair tels que : défaut pompe 1, température + 450 °C, arrêt ventilation, fin de remplissage, ...*)

Avec une solution technologique évoluée cet affichage peut utiliser des images avec incrustation de messages et valeurs numériques.

- **Saisie :** saisie d'ordres ou de consignes (*types de pièces, temps de cuisson, départ cycle, ...*).

- **Réglage :** accès en lecture ou écriture aux paramètres autorisés du programme utilisateur (*réglage d'un temporisateur, initialisation d'un compteur, programmation d'un horodateur, ...*)

Les informations échangées correspondent à des données :

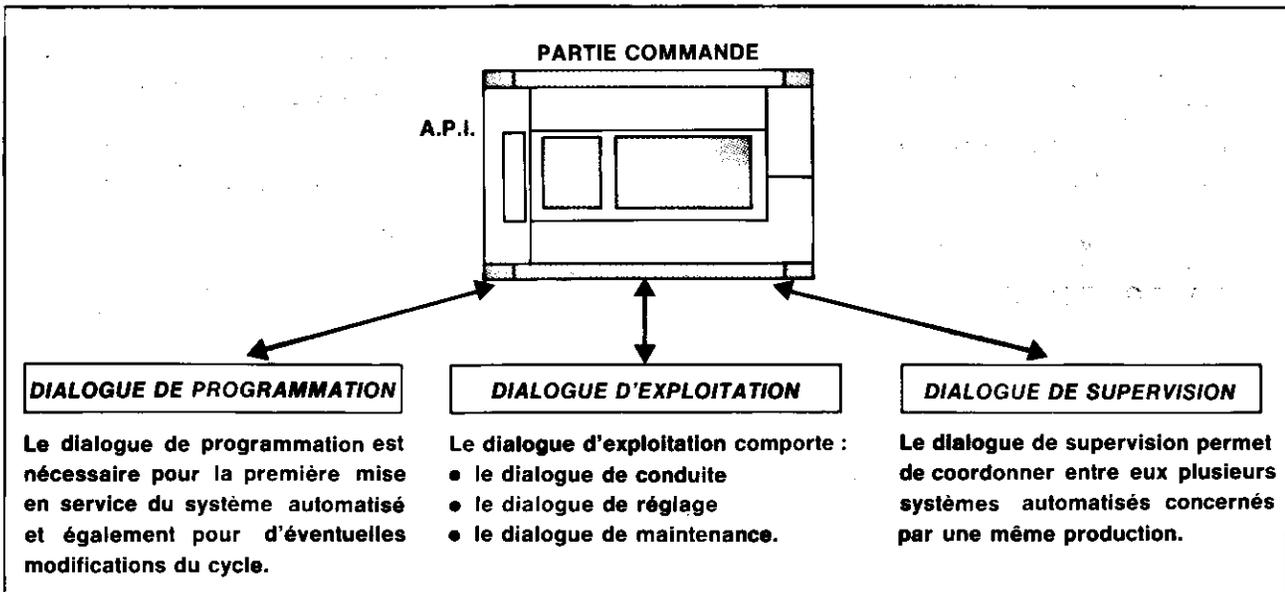
- de **type objet automate**, valeur d'une temporisation, d'un compteur, défaut d'entrée ou de sortie, ...

- de **type application**, valeurs ou messages élaborés par le programme.

### 2. ORGANISATION GÉNÉRALE DU DIALOGUE

Suivant la fig. 2a ce dialogue s'organise en :

- **dialogue de programmation,**
- **dialogue d'exploitation,**
- **dialogue de supervision.**



2a. Dialogue entre la partie commande et les opérateurs.

### 3. OUTILS DU DIALOGUE

#### ● DIALOGUE DE PROGRAMMATION

À partir d'un **terminal de programmation**, ou d'une **console de programmation** ce dialogue avec l'A.P.I. consiste :

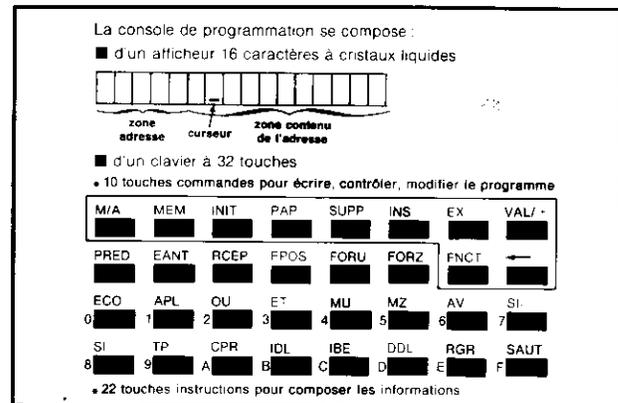
- à écrire et à interpréter, sous une forme interactive, l'ensemble des instructions du programme,

- à mettre au point par simulation, ou par contrôle logiciel, l'exécution du programme,

- à sauvegarder ce dernier dans la mémoire morte de l'unité centrale de l'A.P.I., ou dans une mémoire auxiliaire de masse telle que disques, par exemple.

**Exemple de console de programmation :**

Organisation fonctionnelle de la console de programmation d'APRIL 15 N (fig. 3a).



3a. Organisation fonctionnelle d'une console de programmation type APRIL 15 N.

#### ● DIALOGUE D'EXPLOITATION

À partir d'un **terminal d'exploitation** l'opérateur peut, dans son langage d'utilisateur du système :

- lire sur un écran un message relatif :

- à l'état du système,
- à la nature du produit traité,
- à des mesures,
- à des défauts de fonctionnement,
- à des ordres émis,

- commander par un clavier l'évolution du système :

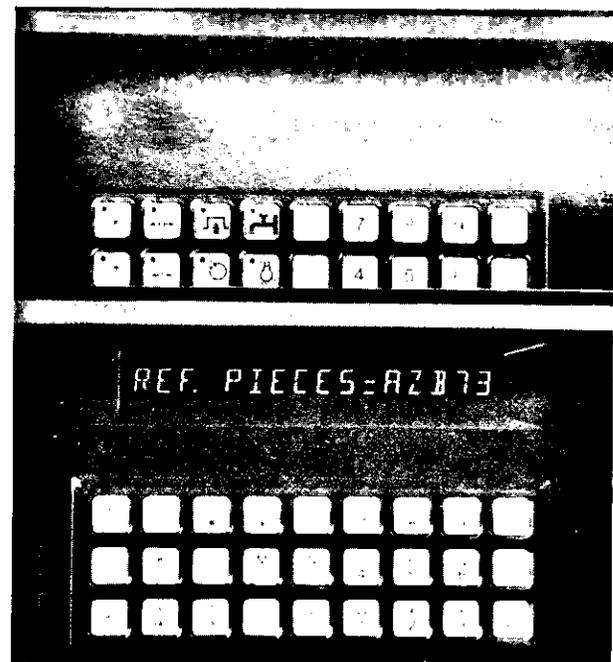
- sélection des modes de fonctionnement,
- saisie de consignes,
- émission d'ordres,
- modification du cycle dans les limites autorisées par le programme,

- accéder et mettre en œuvre des procédures d'exploitation stockées dans une mémoire :

- autotest du terminal,
- mise à jour de l'horodateur,
- impression de l'historique de recettes et des messages enregistrés.

**Exemple de terminal d'exploitation :**

Terminal type XBT-A de la Télémécanique Électrique (fig. 3b).



3b. Terminal d'exploitation XBT-A de la Télémécanique.

- le message « MONTEE TABLE » est affiché
- l'opérateur a composé « AZB73 » qui est la référence des pièces.

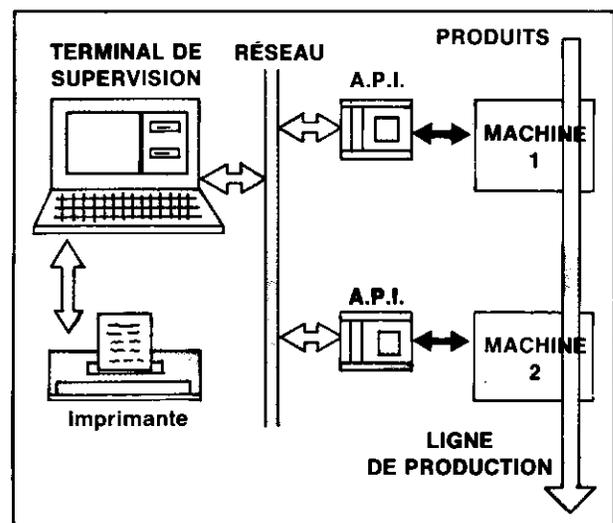
#### ● DIALOGUE DE SUPERVISION

La supervision d'une ou plusieurs lignes de production nécessite un **réseau** par lequel transite l'ensemble des informations et des ordres du système automatisé (fig. 3c).

Le **terminal de supervision** et ses périphériques permettent :

- d'assurer les évolutions de l'ensemble du système en production normale,

- de prévenir les causes de défaillances éventuelles.



3c. Exemple d'outils de supervision (écran-clavier, imprimante et mémoire) pour une ligne de production.

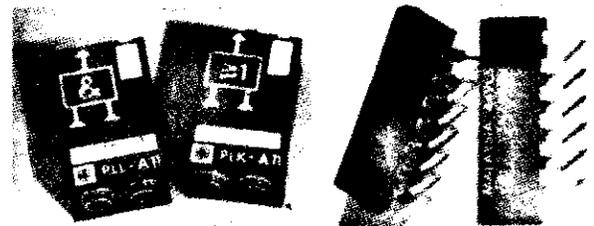
# 20

## FONCTIONS DE LOGIQUE COMBINATOIRE

### 1. IDENTIFICATION D'UN OPÉRATEUR LOGIQUE

Les deux états possibles d'une fonction logique sont toujours le résultat d'une opération logique. Cette opération est effectuée sur des variables logiques selon les règles particulières de l'algèbre de BOOLE.

Tout opérateur technique susceptible d'effectuer une telle opération est un **opérateur logique**.



1a. Opérateurs logiques pneumatiques et électroniques.

#### ● NATURE DES OPÉRATEURS LOGIQUES

Il existe dans les différentes technologies de nombreux opérateurs logiques (fig. 1a).

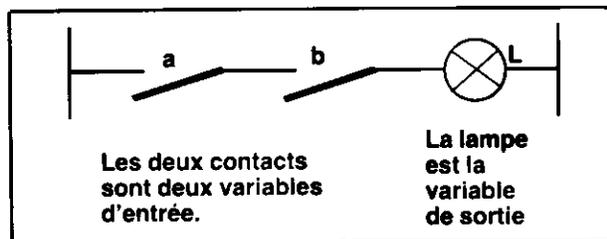
Pour les **opérations logiques combinatoires** il est mis en œuvre les opérateurs :

**OUI** ou **ÉGALITÉ**, **ET** ou **PRODUIT LOGIQUE**, **OU** ou **SOMME LOGIQUE**,

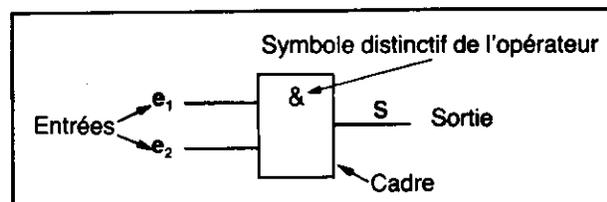
ainsi que les opérateurs de **NÉGATION** ou de **COMPLÉMENTATION** :

**NON** ou **NÉGATION**, **ET NON** ou **NÉGATION du ET**, **OU NON** ou **NÉGATION du OU**.

La notion de **NÉGATION** ou de **COMPLÉMENTATION** s'exprime en terme d'état.



1b. Schéma à contacts.



1c. Symbole logique.

#### ● COMMENT DÉFINIR UN OPÉRATEUR LOGIQUE

Un opérateur logique peut se définir :

- par la **description logique** de la fonction qu'il réalise,
- par un **schéma à contacts** dans lequel chaque contact concrétise, par ses deux positions, les deux états d'une variable d'entrée (fig. 1b),
- par un **symbole logique** qui est une représentation normalisée de l'opérateur (fig. 1c),
- par une **table de vérité** qui indique toutes les relations nécessaires ou possibles entre les états logiques des entrées et de la sortie (fig. 1d),
- par une **équation logique** ou **booléenne** dans laquelle le signe = ne traduit pas une égalité numérique mais une **identité d'états**.

VARIABLES D'ENTRÉE		VARIABLE DE SORTIE
Identification des variables		S
$e_2$	$e_1$	
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	0
Combinaisons des états écrits suivant la numération binaire		État correspondant de la sortie

1d. Table de vérité.

**Une FONCTION LOGIQUE est le RÉSULTAT d'une opération logique effectuée par un OPÉRATEUR LOGIQUE.**

DÉSIGNATION LOGIQUE	SCHÉMA À CONTACTS	SYMBOLE LOGIQUE	TABLE DE VÉRITÉ	ÉQUATION LOGIQUE															
Opérateur <b>OUI</b> ou opérateur <b>ÉGALITÉ</b>			<table border="1"> <tr><td>e</td><td>S</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td></tr> </table>	e	S	0	0	1	1	$S = e$  Se lit : l'état de <b>S</b> est égal à l'état de <b>e</b> .									
e	S																		
0	0																		
1	1																		
Opérateur <b>NON</b> ou opérateur <b>NÉGATION</b> ou opérateur <b>COMPLÉMENTATION</b>			<table border="1"> <tr><td>e</td><td>S</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td></tr> </table>	e	S	0	1	1	0	$S = \bar{e}$  Se lit : l'état de <b>S</b> est égal à l'état de $\bar{e}$ ( <b>e</b> barre ou non <b>e</b> ).									
e	S																		
0	1																		
1	0																		
Opérateur <b>ET</b> ou opérateur <b>PRODUIT LOGIQUE</b>			<table border="1"> <tr><td>e<sub>1</sub></td><td>e<sub>2</sub></td><td>S</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr> </table>	e <sub>1</sub>	e <sub>2</sub>	S	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	1	1	$S = e_1 \cdot e_2$  Se lit : l'état de <b>S</b> est égal à l'état de <b>e<sub>1</sub></b> ET à l'état <b>e<sub>2</sub></b> . Le $\cdot$ désigne le produit logique.
e <sub>1</sub>	e <sub>2</sub>	S																	
0	0	0																	
1	0	0																	
0	1	0																	
1	1	1																	
Opérateur <b>ET NON</b> ou opérateur <b>NÉGATION du ET</b>			<table border="1"> <tr><td>e<sub>1</sub></td><td>e<sub>2</sub></td><td>S</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr> </table>	e <sub>1</sub>	e <sub>2</sub>	S	0	0	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0	$S = \overline{e_1 \cdot e_2}$  Se lit : l'état de <b>S</b> est égal à l'état de <b>e<sub>1</sub></b> ET <b>e<sub>2</sub></b> barre.
e <sub>1</sub>	e <sub>2</sub>	S																	
0	0	1																	
0	1	1																	
1	0	1																	
1	1	0																	
Opérateur <b>OU</b> ou opérateur <b>SOMME LOGIQUE</b>			<table border="1"> <tr><td>e<sub>2</sub></td><td>e<sub>1</sub></td><td>S</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr> </table>	e <sub>2</sub>	e <sub>1</sub>	S	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	$S = e_1 + e_2$  Se lit : état de <b>S</b> égal à l'état de <b>e<sub>1</sub></b> OU l'état de <b>e<sub>2</sub></b> . Le $+$ désigne la somme logique.
e <sub>2</sub>	e <sub>1</sub>	S																	
0	0	0																	
0	1	1																	
1	0	1																	
1	1	1																	
Opérateur <b>OU NON</b> ou opérateur <b>NÉGATION du OU</b>			<table border="1"> <tr><td>e<sub>2</sub></td><td>e<sub>1</sub></td><td>S</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr> </table>	e <sub>2</sub>	e <sub>1</sub>	S	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1	1	0	$S = \overline{e_1 + e_2}$  Se lit : état de <b>S</b> égal à l'état de <b>e<sub>1</sub></b> OU <b>e<sub>2</sub></b> barre.
e <sub>2</sub>	e <sub>1</sub>	S																	
0	0	1																	
0	1	0																	
1	0	0																	
1	1	0																	

1a. Outils descriptifs des opérateurs logiques combinatoires fondamentaux.

### 8. OPÉRATIONS BOOLÉENNES

#### ● PROPRIÉTÉS DE L'ALGÈBRE LOGIQUE

Les propriétés de l'algèbre logique ou algèbre de Boole sont les suivantes :

- propriété d'**idempotence**
- propriété de **commutativité**
- propriété d'**associativité**
- propriété de **distributivité**.

#### ● PROPRIÉTÉ D'IDEMPOTENCE

Les équations logiques :

$$a + a = a \text{ et } a \times a = a$$

des opérateurs **OU** et **ET** mettent en évidence l'absence de coefficient et d'exposant.

En effet en algèbre classique :

$$a + a = 2a \text{ et } a \times a = a^2$$

**Cette absence de coefficient et d'exposant est la propriété d'idempotence.**

#### ● PROPRIÉTÉ DE COMMUTATIVITÉ

Les fonctions **ET** et **OU** sont commutatives, leurs équations pouvant s'écrire indifféremment :

- pour le **ET** :  $S = ab$  ou  $S = ba$
- pour le **OU** :  $S = a + b$  ou  $S = b + a$

#### ● PROPRIÉTÉ D'ASSOCIATIVITÉ

Les fonctions **ET** et **OU** sont associatives :

$$S = a(b \times c) = (a \times b) c = abc$$

$$S = a + (b + c) = (a + b) + c = a + b + c$$

#### ● PROPRIÉTÉ DE DISTRIBUTIVITÉ

● **Distributivité de la multiplication par rapport à l'addition.**

Comme dans l'algèbre classique cette distributivité est **possible** :

$$a(b + c) = ab + ac$$

● **Distributivité de l'addition par rapport à la multiplication.**

En algèbre classique l'addition n'est pas distributive par rapport à la multiplication et  $a + bc$  est différent de  $(a + b)(a + c)$ .

En algèbre de Boole :

$$a + bc \text{ est identique à : } (a + b)(a + c)$$

C'est une **identité remarquable** ou une **relation fondamentale** qui s'écrit :

$$a + bc \equiv (a + b)(a + c)$$

$\equiv$  se lit *identique*.

#### ● OPÉRATIONS ÉLÉMENTAIRES

Équation et situation initiales	Table de vérité	Équation et situation finales
	$\begin{matrix} e_2 e_1 \\ a a s \\ \hline 0 0 0 \\ 1 1 1 \end{matrix}$	$S = a$ L'opérateur n'est pas nécessaire
	$\begin{matrix} e_2 e_1 \\ a a s \\ \hline 0 0 0 \\ 1 1 1 \end{matrix}$	$S = a$ L'opérateur n'est pas nécessaire
	$\begin{matrix} e_2 e_1 \\ a a s \\ \hline 1 0 0 \\ 0 1 0 \end{matrix}$	$S = 0$ La sortie n'est jamais validée, l'opérateur est inutile
	$\begin{matrix} e_2 e_1 \\ a a s \\ \hline 1 0 1 \\ 0 1 1 \end{matrix}$	$S = 1$ La sortie est toujours validée, l'opérateur est inutile
	$\begin{matrix} e_2 e_1 \\ a s \\ \hline 0 0 0 \\ 0 1 0 \end{matrix}$	$S = 0$ La sortie n'est jamais validée, l'opérateur est inutile
	$\begin{matrix} e_2 e_1 \\ a s \\ \hline 0 0 0 \\ 0 1 1 \end{matrix}$	$S = a$ L'opérateur n'est pas nécessaire
	$\begin{matrix} e_2 e_1 \\ a s \\ \hline 1 0 0 \\ 1 1 1 \end{matrix}$	$S = a$ L'opérateur n'est pas nécessaire
	$\begin{matrix} e_2 e_1 \\ a s \\ \hline 1 0 1 \\ 1 1 1 \end{matrix}$	$S = 1$ La sortie est toujours validée, l'opérateur est inutile
<b>Résumé</b>		
$\begin{array}{l} S = a.a \\ S = a + a \\ S = a.1 \\ S = a + 0 \end{array} \quad \left  \quad \begin{array}{l} S = a \\ S = 0 \end{array} \right. \quad \left  \quad \begin{array}{l} S = a + ā \\ S = a.1 \end{array} \right. \quad \left  \quad \begin{array}{l} S = a \\ S = 1 \end{array} \right.$		

#### ● RELATIONS FONDAMENTALES

Comme les opérations élémentaires elles permettent des **simplifications** d'équations logiques :

$$a + \bar{a}b \equiv a + b$$

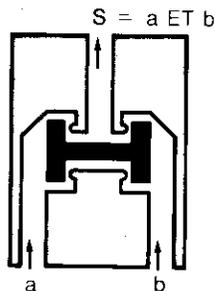
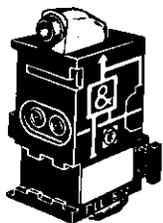
$$a + a\bar{b} \equiv a$$

$$ab + \bar{a}c \equiv ab + \bar{a}c + bc$$

$$a + bc \equiv (a + b)(a + c)$$

● CONCEPTION PNEUMATIQUE (suivant la *Télémechanique Electrique*) (fig. 4d).

CELLULE ET



La cellule ET délivre un signal de sortie **S** si les signaux d'entrée **a** ET **b** sont simultanément présents.

— Le signal **a** seul ferme le clapet libre vers la droite.

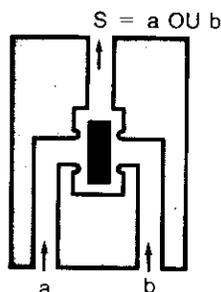
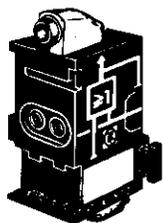
— Le signal **b** seul ferme le clapet libre vers la gauche.

Seule la présence des deux signaux **a** ET **b** génère un signal de sortie **S** : en effet, le clapet ne peut, dans ce cas, se fermer des deux côtés.

**Remarque**

Il n'est aucunement nécessaire que le clapet mobile trouve une position médiane d'équilibre pour que la fonction ET soit satisfaite. La position prise par le clapet importe peu : sa seule fonction est de laisser passer un fluide vers la sortie **S**, si **a** ET **b** sont présents.

CELLULE OU



La cellule OU délivre un signal de sortie **S** si le signal **a** d'entrée OU le signal **b** d'entrée (ou les deux) sont présents.

— Le signal **a** seul pousse le clapet libre sur le siège de droite et atteint la sortie **S** sans s'échapper par l'orifice **b**.

— Le signal **b** seul pousse le clapet libre sur le siège de gauche et atteint la sortie **S** sans s'échapper par l'orifice **a**. On a donc une sortie **S** si **a** OU **b** sont présents (ou les deux).

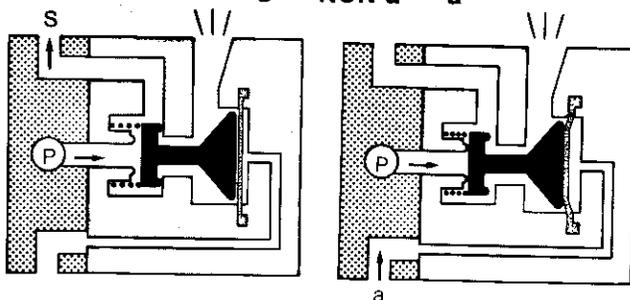
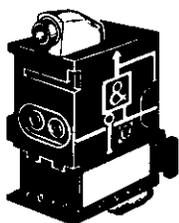
**Remarque**

Cette cellule OU est également appelée :

— « clapet d'intercommunication »,

— « sélecteur de circuit ».

CELLULE NON



La cellule NON délivre le signal de sortie **S**, à l'état de repos de la cellule. Ce signal disparaît lorsque le signal de pilotage **a** apparaît (état piloté)

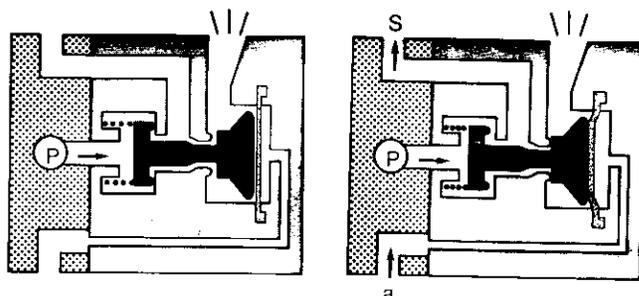
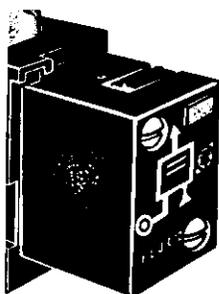
$$S = \text{NON } a = \bar{a}$$

**Remarque**

Si l'alimentation **P** est remplacée par un signal **b**, cette cellule remplit alors la fonction « inhibition »

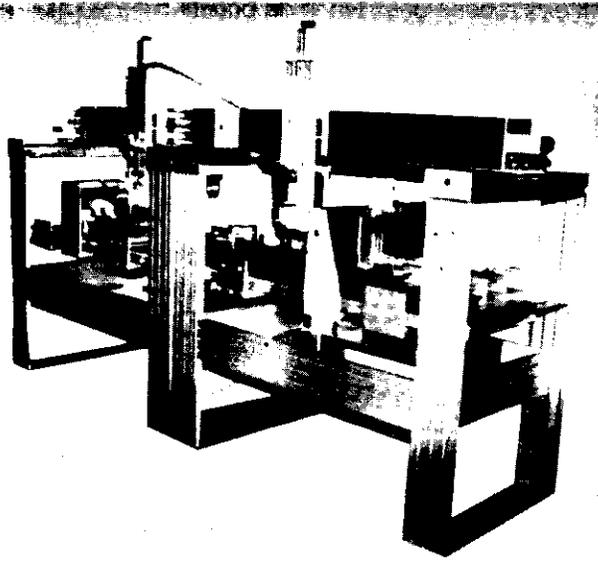
$$S = b \text{ ET NON } a = b\bar{a}$$

CELLULE OUI



La cellule OUI de régénération délivre le signal de sortie **S** lorsque le signal de pilotage **a** est présent :

$$S = a$$



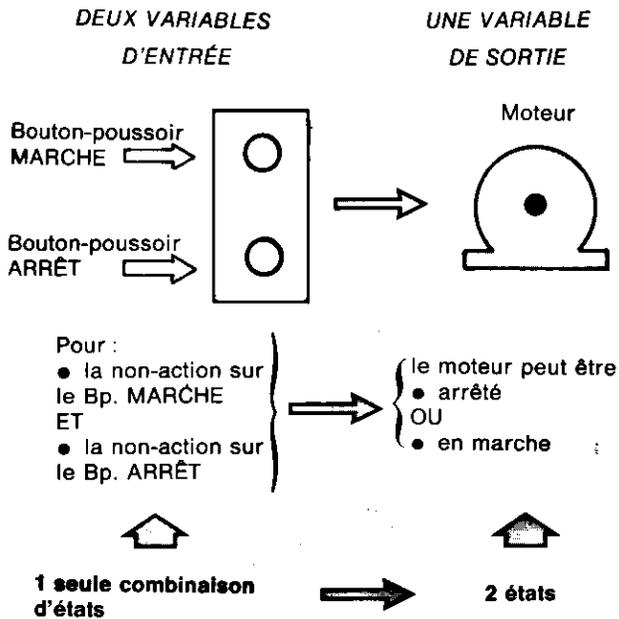
# 21

## FONCTIONS DE LOGIQUE SÉQUENTIELLE

### 1. PROPRIÉTÉ DE LA LOGIQUE SÉQUENTIELLE

Dans la logique séquentielle à une combinaison d'états des variables d'entrée ne correspond pas toujours le même état d'une variable de sortie. Il est nécessaire de **prendre en compte la succession, dans le temps, des combinaisons d'états des variables d'entrée.**

Exemple :  
Commande du moteur d'une machine à percer.



Le moteur est arrêté si la dernière action, dans le temps, a été effectuée sur le Bp. ARRÉT.

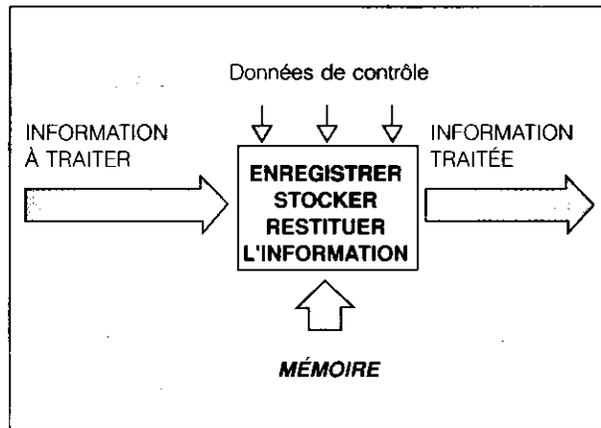
Le moteur est en marche si la dernière action, dans le temps, a été effectuée sur le Bp. MARCHÉ.

La nécessité de prendre en compte la **chronologie**, c'est-à-dire la **succession dans le temps**, des combinaisons d'états des variables d'entrée fait que ce système de commande du moteur relève de la **logique séquentielle.**

### 2. FONCTION MÉMOIRE

La fonction mémoire permet de prendre en compte la chronologie, l'antériorité des combinaisons d'états des variables à traiter.

La fonction mémoire est réalisée avec des opérateurs techniques qui enregistrent, stockent, et restituent des informations. (fig. 2a)



2a. Représentation fonctionnelle d'une mémoire.

La **partie commande** des nombreux systèmes automatisés est en **logique séquentielle.** La fonction mémoire est une fonction très importante dans ces systèmes.

Les opérateurs techniques de mémorisation utilisés dans une partie commande en **logique câblée** peuvent être réalisés dans différentes technologies :

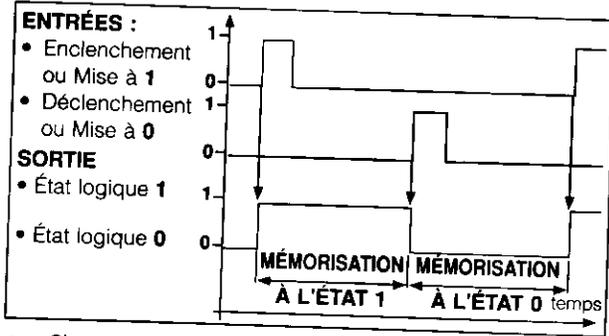
- électromagnétique,
- électronique,
- pneumatique.

Lorsque la partie commande est en **logique programmée**, les constituants programmables de commande disposent d'instructions permettant de programmer des **mémoires logicielles.**

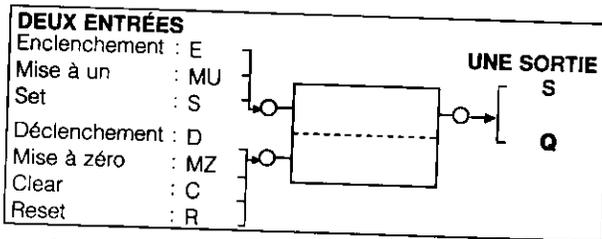
### ● MODÈLE THÉORIQUE DE LA FONCTION MÉMOIRE

La figure 2b représente le **chronogramme** de la fonction mémoire en dehors de toute considération technologique.

La figure 2c donne le schéma général d'un opérateur technique de mémorisation.



2b. Chronogramme de la fonction mémoire.



2c. Symbole général d'un opérateur technique de mémorisation avec les différentes notations des entrées et de la sortie.

Le chronogramme (fig. 2b) met en évidence qu'un opérateur technique de mémorisation doit :

- prendre en compte une information parmi deux qui ont des objectifs opposés ou complémentaires,

Exemples :

- l'enclenchement ou le déclenchement;
- l'écriture ou l'effacement;
- la marche ou l'arrêt,
- associer à chaque information d'entrée prise en compte un des deux états de la sortie,
- conserver la sortie dans cet état après la disparition de l'information d'entrée et ce, jusqu'à l'apparition de l'information complémentaire d'entrée.

### ● TEMPS DE RÉPONSE

Un opérateur technique de mémorisation est également caractérisé par son **temps de réponse**, c'est-à-dire le temps qui s'écoule entre l'instant où l'information de commande est appliquée à l'une des entrées et l'instant où la sortie change d'état.

La valeur du temps de réponse impose la durée minimale de présence de l'information de commande.

### ● INFORMATION D'ENTRÉE PRIORITAIRE

Dans le cas de la présence simultanée des deux informations d'entrée, l'état de la sortie s'aligne sur l'**information dite prioritaire**.

Il existe donc deux types de priorité :

- la **priorité à l'enclenchement**,
- la **priorité au déclenchement**.

### 3. PRINCIPES D'OBTENTION D'UN EFFET MÉMOIRE

L'effet mémoire met en œuvre de nombreux principes qui peuvent se classer en deux grandes familles :

- utilisation d'une **boucle** qui prolonge l'alimentation d'un constituant de la mémoire,

Exemples :

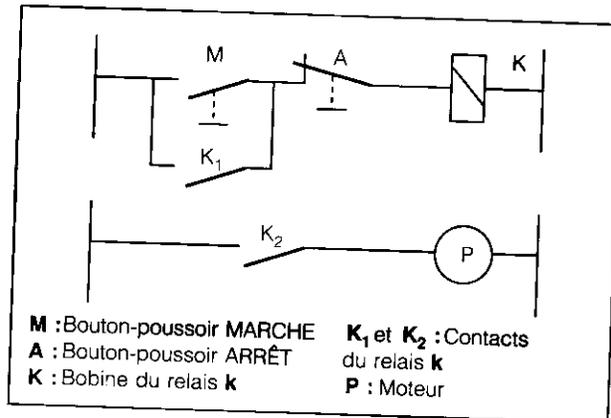
- circuit d'automatisme d'un relais électromagnétique;
- boucle de rétroaction sortie-entrée dans un circuit de commutation électronique.
- mise en œuvre de dispositifs qui **maintiennent physiquement** l'état à mémoriser.

Exemples :

- **bloccage mécanique** du tiroir dans des distributeurs mécaniques,
- **bloccage magnétique** du clapet métallique dans des mémoires pneumatiques,
- **relais à accrochage mécanique ou magnétique**,
- **relais à deux enroulements** dont un de maintien,...

### 4. OPÉRATEURS TECHNIQUES DE MÉMORISATION

- RELAIS AUTO-ALIMENTÉ (fig. 4a).



4a. Mémoire à arrêt prioritaire.

Une impulsion sur **M** alimente le relais **K**, qui reste alimenté, même après relâchement de **M** par le contact **K1** dit contact d'auto-alimentation ou d'auto-maintien.

L'**information MARCHÉ** est mémorisée et le moteur **P** reste alimenté.

Une impulsion sur **A** coupe l'alimentation de **K**, le contact **K2** s'ouvre, le moteur **P** s'arrête et reste arrêté.

L'**information ARRÉT** est mémorisée.

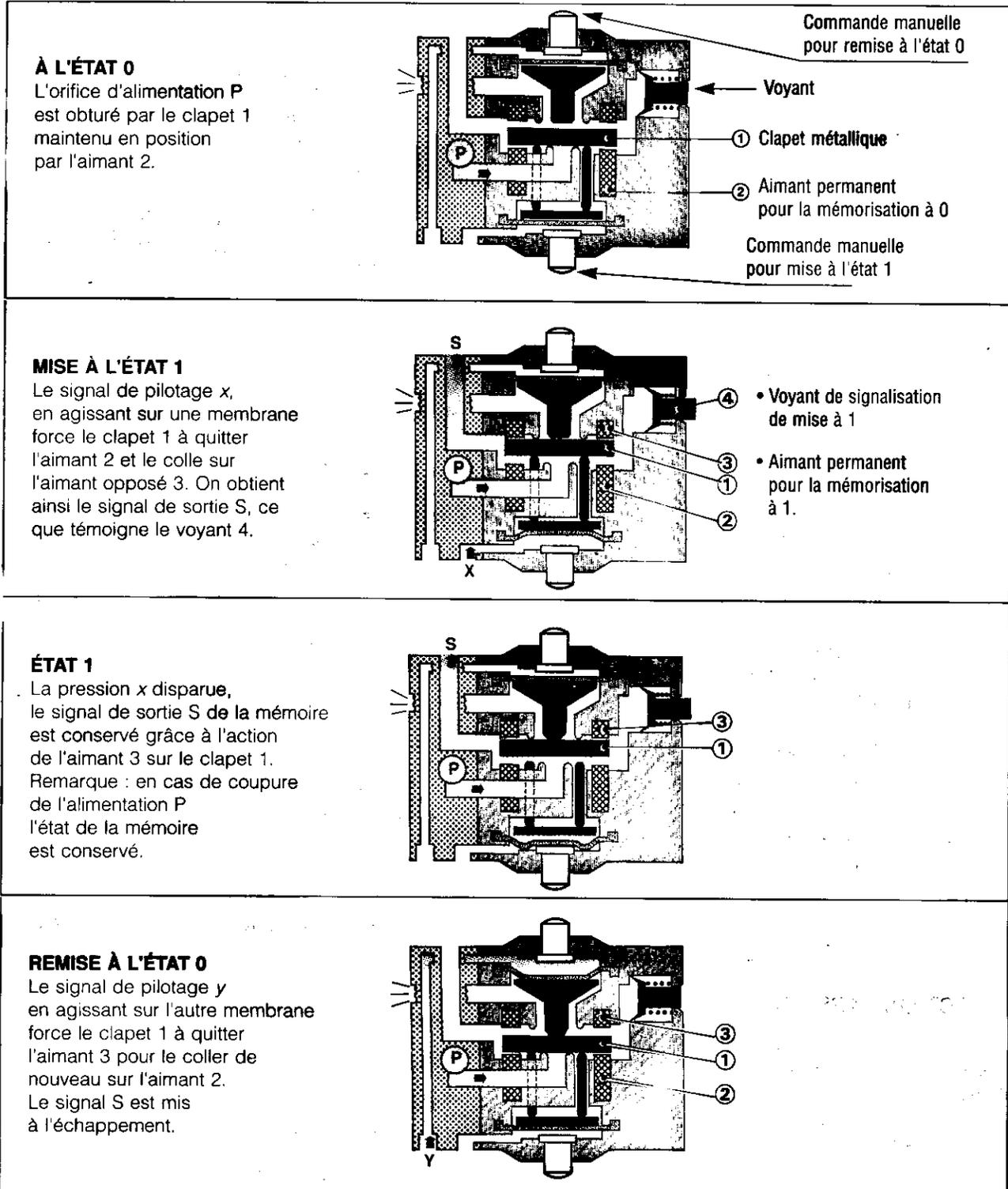
La mémoire est dite à **Arrêt prioritaire** car une **impulsion simultanée** sur les deux boutons-poussoirs **entraîne** ou **maintient l'arrêt**.

● MÉMOIRE BISTABLE PNEUMATIQUE

Un constituant bistable est capable de prendre l'un des deux états, 0 ou 1, selon son état antérieur et l'état binaire d'un signal de commande.

La mémoire bistable pneumatique conserve le dernier état binaire qui lui a été imposé, et revient à l'autre sur un signal de commande. Ce constituant qui est aussi une **bascule pneumatique** constitue une mémoire de son dernier état.

● Exemple : Mémoire bistable pneumatique suivant Télémécanique (fig. 4b).



Remarque : par construction le signal y de remise à zéro est toujours prioritaire sur le signal x de mise à l'état 1.

Cette mémoire est à déclenchement prioritaire.

4b. Fonctionnement d'une mémoire bistable pneumatique à clapet.

# 22

## GRAPHE FONCTIONNEL DE COMMANDE ÉTAPE TRANSITION : GRAFCET

### 1. ÉLÉMENTS DE BASE

Le GRAFCET se compose d'un ensemble :

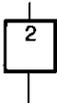
- d'**ÉTAPES** auxquelles sont associés des **ACTIONS**.
- de **TRANSITIONS** auxquelles sont associées des **RÉCEPTIVITÉS**.
- de **LIAISONS ORIENTÉES** reliant les **ÉTAPES** aux **TRANSITIONS** et les **TRANSITIONS** aux **ÉTAPES**.

#### ● ÉTAPE

Une **ÉTAPE** caractérise un comportement invariant d'une partie ou de la totalité de la partie commande.

C'est une situation dans laquelle les variables d'entrée et de sortie de la partie commande conservent leur état.

Une étape est symbolisée par un carré repéré numériquement.



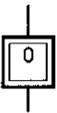
A un instant donné et suivant l'évolution du système :

— une étape est soit **ACTIVE** soit **INACTIVE**,



— l'ensemble des étapes actives définit la situation de la partie commande.

Si à un instant donné il est nécessaire de préciser les étapes actives, un point est placé à la partie inférieure du symbole.



L'étape initiale ou toute étape initialement activée est représentée en doublant les côtés du carré du symbole d'étape correspondant.

#### ● ACTIONS ASSOCIÉES À L'ÉTAPE

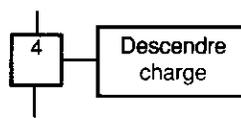
Une ou plusieurs **ACTIONS** élémentaires ou complexes peuvent être associées à une étape.

Elles traduisent ce qui doit être fait chaque fois que l'étape à laquelle elles sont associées est active.

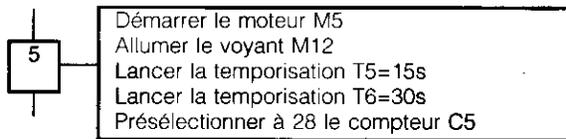
Les actions qui sont les résultats du traitement logique des informations par la partie commande peuvent être :

- externes et elles correspondent aux ordres émis vers la partie opérative ou vers les éléments extérieurs,
- internes et concernent des fonctions spécifiques de l'automatisme telles que : temporisation, comptage.

Les actions associées sont décrites de façon littérale ou symbolique à l'intérieur d'un ou de plusieurs rectangles reliés au symbole de l'étape à laquelle elles sont associées.



Plusieurs rectangles peuvent être reliés à une étape. Plusieurs actions peuvent figurer dans un même rectangle.



#### ● TRANSITION

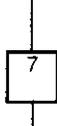
Une **TRANSITION** indique la possibilité d'évolution entre étapes.

Cette évolution s'accomplit par le **FRANCHISSEMENT** de la transition.



Une transition est soit **VALIDÉE** soit **NON VALIDÉE**

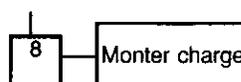
Elle est dite validée lorsque toutes les étapes immédiatement précédentes reliées à cette transition sont achevées.



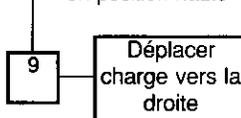
Une transition entre deux étapes se représente par une barre perpendiculaire aux liaisons orientées.

#### ● RÉCEPTIVITÉ ASSOCIÉE À LA TRANSITION

À chaque transition est associée une proposition logique appelée **RÉCEPTIVITÉ** qui peut être soit **VRAIE** soit **FAUSSE**.

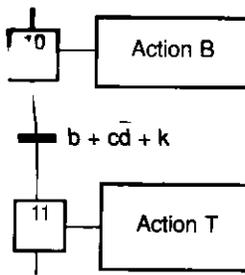


Information charge en position haute



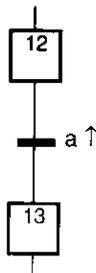
Parmi toutes les informations disponibles à un instant donné, la réceptivité regroupe uniquement celles qui sont nécessaires au franchissement de la transition.

*Exemple :*  
L'information relative à la position haute de la charge exprime la réceptivité de la transition entre l'étape 8 et l'étape 9.



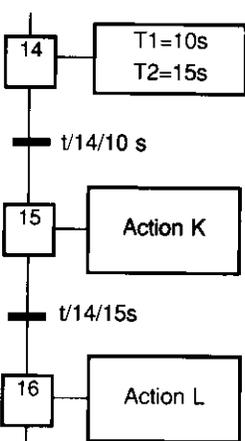
**La réceptivité écrite sous forme de proposition logique est une fonction combinatoire :**

- d'informations externes provenant de la partie opérative ou du poste opérateur,
- d'informations internes en rapport avec les fonctions spécifiques de l'automatisme (temporisation, comptage), ou les états actifs ou inactifs des autres étapes.



**Les notations a ↑ ou b ↓ sont employées lorsque la condition de réceptivité est liée au changement d'état variable.**

- a ↑** : front montant de la variable a,
  - b ↓** : front descendant de la variable b.
- Cette notation est nécessaire dans le cas où l'étape qui suit cette transition comprend des actions assurées par des dispositifs électroniques, du type circuits intégrés, qui fonctionnent sur les fronts montants ou descendants des informations d'entrée.

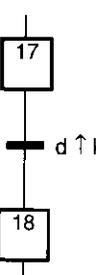


**Temporisation**

Pour faire intervenir le temps dans une réceptivité, il suffit d'indiquer après le repère t son origine et sa durée. L'origine est l'instant du début de la dernière activation de l'étape antérieure spécifiée.

Exemples :

- t/14/10s : signifie 10s écoulées depuis la dernière activation de 14.
- t/14/15s : signifie 15s écoulées depuis la dernière activation de 14.



**Réceptivité composée d'une condition logique et d'un événement.**

Pour que la réceptivité soit vraie il est nécessaire que la condition logique soit présente lors d'une des occurrences de l'événement.

- d** : condition logique,
- ↑k** : événement.

**Réceptivité toujours vraie. Elle s'écrit = 1**

● **LIAISONS ORIENTÉES**

**Les LIAISONS ORIENTÉES ne doivent jamais relier directement deux étapes ou deux transitions mais toujours une étape avec une transition ou inversement.**

Le sens général du parcours est du haut vers le bas. Des flèches sont nécessaires dans le cas d'un sens de parcours différent.

**2. RÈGLES D'ÉVOLUTION**

Aux règles de syntaxe qui précisent les conditions d'utilisation correcte des trois éléments de base :

- l'étape et ses actions,
- la transition et sa réceptivité,
- les liaisons orientées,

s'ajoutent des règles d'évolution qui définissent les conditions dans lesquelles les étapes peuvent être actives ou inactives.

● **INITIALISATION**

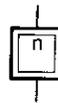
Règle 1

**La situation initiale du GRAFCET caractérise le comportement initial de la partie commande vis-à-vis de la partie opérative et correspond aux étapes actives au début du fonctionnement.**

Dans le cas des automatismes cycliques cette situation est caractérisée par les étapes initiales.

Dans les autres cas cette situation peut intéresser d'autres étapes.

La symbolisation est le double carré.



● **FRANCHISSEMENT D'UNE TRANSITION**

Règle 2

**Le franchissement d'une transition ne peut se produire :**

- que lorsque cette transition est validée,
- et que la réceptivité associée à cette transition est vraie.

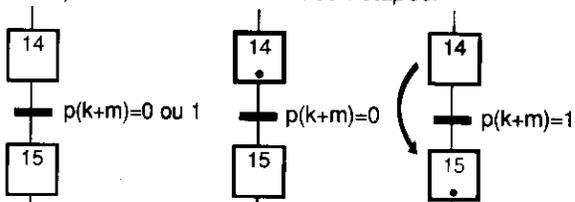
**Lorsque ces deux conditions sont réunies, la transition devient franchissable et est obligatoirement franchie.**

● **ÉVOLUTION DES ÉTAPES ACTIVES**

Règle 3

**Le franchissement d'une transition entraîne simultanément l'activation de toutes les étapes immédiatement suivantes et la désactivation de toutes les étapes immédiatement précédentes.**

Exemples : Évolution entre deux étapes.



**Transition non validée**

La transition 14-15 est non validée, l'étape 14 est inactive.

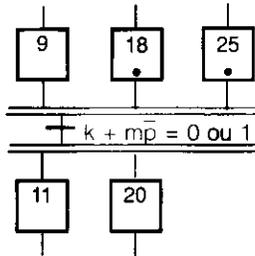
**Transition validée**

L'étape 14 étant active, la transition 14-15 est validée mais ne peut être franchie car la réceptivité n'est pas vraie : p(k+m)=0.

**Transition franchie**

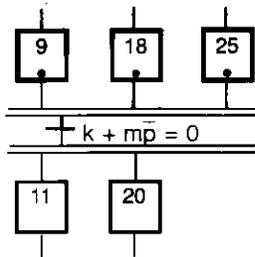
La transition 14-15 est franchie car la réceptivité est vraie : p(k+m)=1. D'où 15 est activée et 14 désactivée.

*Évolution entre plusieurs étapes.*

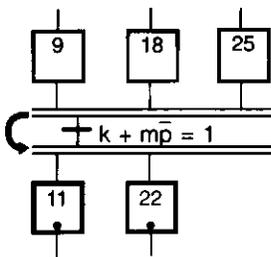


Lorsque plusieurs étapes sont reliées à la même transition on convient, pour des raisons pratiques, de représenter le regroupement des liaisons par deux traits parallèles.

**Transition non validée**  
L'étape 9 étant inactive la transition n'est pas validée.



**Transition validée**  
Les étapes 9, 18 et 25 étant actives la transition est validée mais ne peut être franchie car la réceptivité n'est pas vraie :  $k+m\bar{p}=0$ .



**Transition franchie**  
La transition est franchie car la réceptivité est vraie :  $k+m\bar{p}=1$

- D'où :
- activation des étapes 11 et 22,
  - désactivation des étapes 9, 18 et 25.

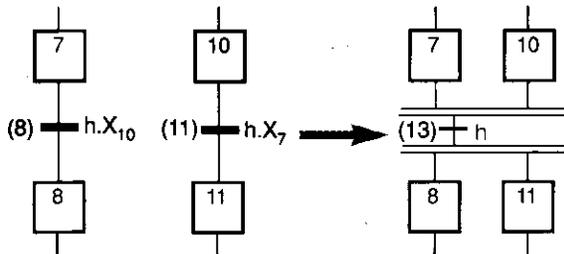
● ÉVOLUTIONS SIMULTANÉES

Règle 4

**Plusieurs transitions simultanément franchissables sont simultanément franchies.**

Cette règle permet la décomposition du GRAFCET en plusieurs diagrammes tout en assurant de façon rigoureuse leur interconnexion. Dans ce cas l'expression des réceptivités prend en compte les états actifs des étapes.

Exemple.



$X_7 = 1$  si l'étape 7 est active.  
 $X_{10} = 1$  si l'étape 10 est active.

Les deux diagrammes de gauche mettent en évidence l'impossibilité de franchir la transition (8) avant la transition (11) et réciproquement.

La forme structurale équivalente est représentée à droite, sur un même GRAFCET, avec une transition commune (13) qui assure les mêmes conditions d'activation des étapes 8 et 11.

● ACTIVATION ET DÉSACTIVATION SIMULTANÉES D'UNE MÊME ÉTAPE

Règle 5

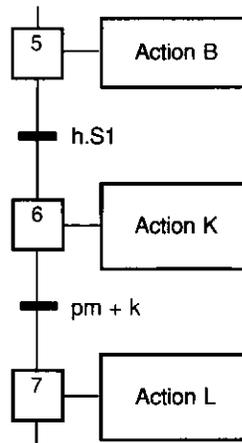
**Si, au cours du fonctionnement de l'automatisme, une même étape doit être désactivée et activée simultanément, elle reste active.**

**Nota : Durées de franchissement d'une transition ou d'activation d'une étape.**

Aucune de ces deux durées ne peut être considérée comme nulle.  
La durée de franchissement d'une transition est en général imposée par la technologie utilisée pour la réalisation de l'automatisme.

3. STRUCTURES DE BASE

● SÉQUENCE UNIQUE



Une **SÉQUENCE UNIQUE** est composée d'une suite d'étapes pouvant être activées les unes après les autres. Chaque étape n'est suivie que par une seule transition et chaque transition n'est validée que par une seule étape.

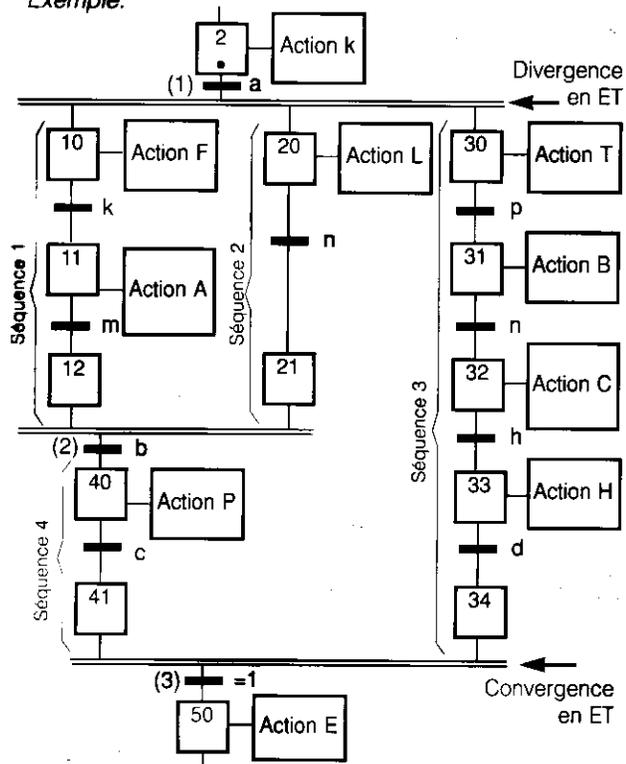
La séquence est dite « active » si au moins une étape est active. Elle est dite « inactive » si toutes les étapes sont inactives.

Exemple : Séquence 5-6-7.

● SÉQUENCES SIMULTANÉES : PARALLÉLISME STRUCTURAL

Lorsque le franchissement d'une transition conduit à activer plusieurs séquences en même temps, ces séquences sont dites **SÉQUENCES SIMULTANÉES**. **Après l'activation simultanée de ces séquences, les évolutions des étapes actives dans chacune des séquences deviennent alors indépendantes.** Pour assurer la **synchronisation** de la désactivation de plusieurs séquences en même temps, des **étapes d'attente réciproque** sont généralement prévues.

Exemple.



À partir de l'étape 2 active, le franchissement de la transition (1) par la réceptivité  $a=1$  provoque l'activation des trois séquences S1, S2 et S3, et la désactivation de l'étape 2. Ces trois séquences évoluent de façon indépendante.

Les étapes 12 et 21 sont des étapes d'attente et de resynchronisation des séquences S1 et S2 et leur activation simultanée valide la transition (2) qui sera franchie lorsque  $b=1$ .

De même les étapes 41 et 34 sont des étapes d'attente et la transition (3) sera immédiatement franchie lorsqu'elles seront simultanément actives (réceptivité =1).

### ● SÉLECTION DE SÉQUENCE

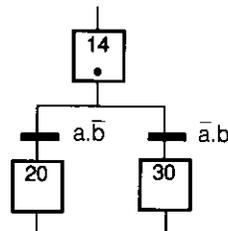
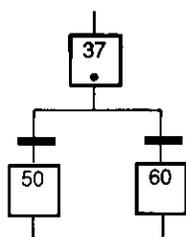
Une sélection ou un choix d'évolution entre plusieurs étapes ou séquences se représente, à partir d'une ou plusieurs étapes, par **autant de transitions validées qu'il y a d'évolutions possibles.**

Exemple :

A partir de l'étape 37 deux évolutions sont possibles.

#### Séquences exclusives

Pour obtenir une SÉLECTION EXCLUSIVE entre plusieurs évolutions possibles à partir d'une même étape, il est nécessaire de s'assurer que toutes les réceptivités associées aux transitions sont exclusives, c'est-à-dire qu'elles ne peuvent pas être vraies simultanément.



Cette exclusion pouvant être :  
 — soit **d'ordre physique** (incompatibilité mécanique ou temporelle),  
 — soit **d'ordre logique** dans l'écriture des réceptivités.

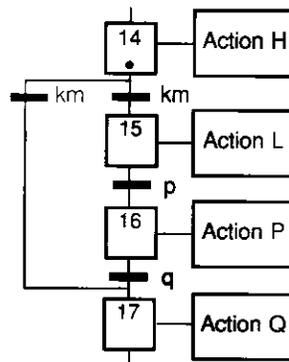
Exemple : Les expressions  $a\bar{b}$  et  $\bar{a}b$  sont logiquement exclusives.

### Saut d'étapes et reprise de séquence

Le SAUT d'ÉTAPES permet de **sauter une ou plusieurs étapes** lorsque, par exemple, les actions à effectuer dans ces étapes deviennent inutiles ou sans objet.

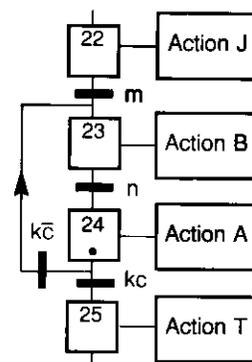
La REPRISSE DE SÉQUENCE permet au contraire de **recommencer plusieurs fois la même séquence** tant que la condition fixée n'est pas obtenue.

Exemples



#### SAUT D'ÉTAPES

Après l'activation de l'étape 14, saut à l'étape 17 si la réceptivité  $km$  est vraie.



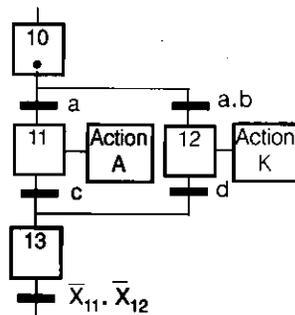
#### REPRISSE DE SÉQUENCE

Après l'activation de l'étape 24 reprise de la séquence 23-24 par la réceptivité  $kc$  tant que la réceptivité  $kc$  n'est pas vraie.

### Parallélisme interprété

Dans ce type de structure les réceptivités ne sont pas exclusives et **des évolutions simultanées sont possibles.**

Ce parallélisme est dit interprété pour le différencier du parallélisme structural des séquences simultanées.



Exemple :

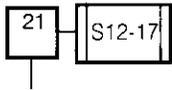
à partir de l'étape 10 active :  
 — Si la condition  $a$  devient vraie sans que la condition  $b$  le soit, l'étape 11 est seule activée.  
 — Si la condition  $b$  est préalablement vraie avant que la condition  $a$  le devienne, les deux étapes 11 et 12 sont activées simultanément.

L'étape 13 permet la resynchronisation avec la réceptivité  $\bar{X}_{11} \cdot \bar{X}_{12}$  (étape 11 et étape 12 désactivées).

● RÉUTILISATION D'UNE MÊME SÉQUENCE : sous-programme.

Une même séquence répétée plusieurs fois peut être traitée comme un sous-programme.

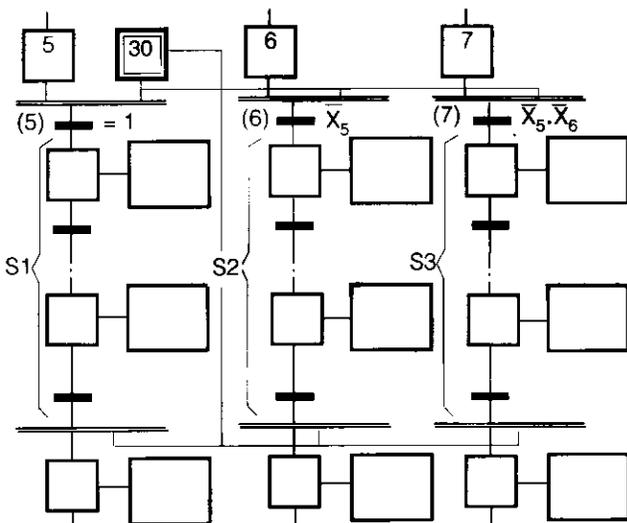
Exemple : à l'étape 21 est associé le sous-programme S 12-17 qui comprend les étapes 12 à 17. Ce sous-programme doit faire l'objet d'un diagramme séparé.



● PARTAGE DE RESSOURCE OU DE « SÉQUENCE »

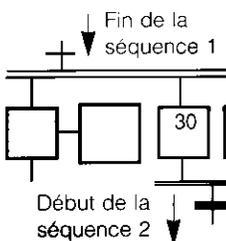
Une ressource commune, physique ou logique, peut être partagée entre plusieurs séquences utilisatrices exclusives.

L'écriture des réceptivités de la première transition de chaque séquence doit traduire une priorité logique.



Exemple. La ressource commune représentée par l'étape 30 permet la validation des transitions (5), (6) ou (7) et l'une des séquences S1, S2 ou S3 sera parcourue en fonction de la première transition franchissable.

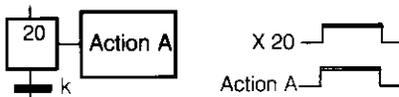
● COUPLAGE ENTRE SÉQUENCES



Exemple : à la fin de la séquence 1 l'étape 30 mémorise l'autorisation donnée à la séquence 2 qui pourra commencer à s'exécuter lorsque les conditions propres à cette séquence seront réalisées. (41 activée et k=1).

4 CLASSIFICATION DES ACTIONS

● ACTION CONTINUE

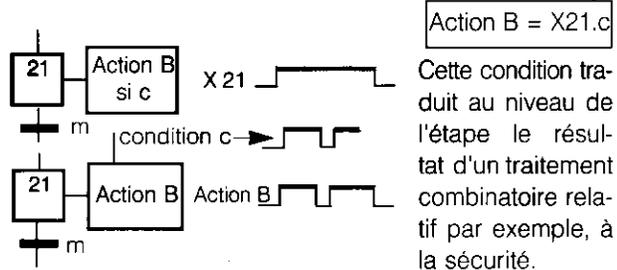


L'exécution de l'action continue se poursuit tant que l'étape à laquelle elle est associée reste active.

Action A = X20

● ACTION CONDITIONNELLE

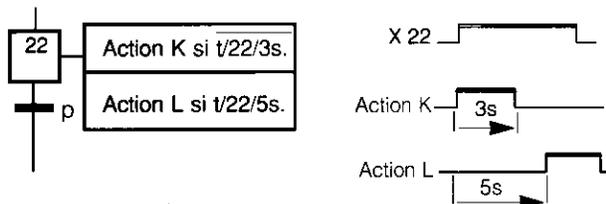
L'action conditionnelle est une action continue dont l'exécution est soumise à une condition logique.



Action B = X21.c  
Cette condition traduit au niveau de l'étape le résultat d'un traitement combinatoire relatif par exemple, à la sécurité.

● ACTION TEMPORISÉE

C'est une action conditionnelle dans laquelle le temps intervient comme condition logique.

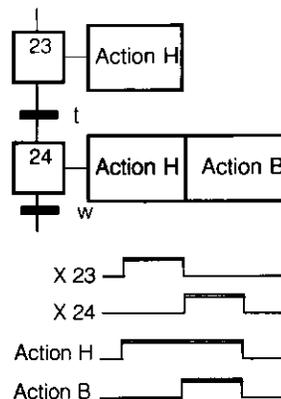


● EFFET MAINTENU

Cette situation concerne la représentation d'actions ou plus précisément d'ordres, dont l'effet doit se poursuivre pendant la durée d'un certain nombre d'étapes consécutives.

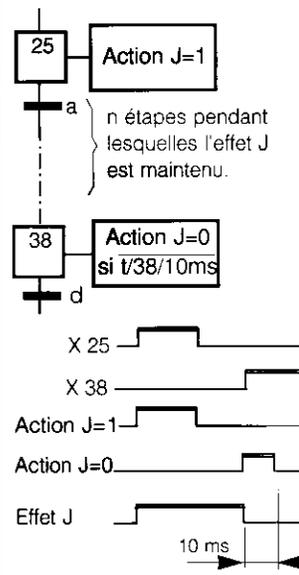
Deux types de description peuvent être envisagés, Exemples :

ACTIONS CONTINUES NON MÉMORISÉES



L'action ou l'ordre doivent être précisés à chaque étape où l'effet correspondant doit être maintenu.

ACTIONS MÉMORISÉES



5. MA

La mac...  
● k...  
présent...  
présent...  
dère.  
● k...  
nique,  
dans d...  
tales.  
● k...  
de rec...  
traités,  
● k...  
mise à...  
Cette...  
concep...  
● d...  
● e...

● MA

Une m...  
d'un es...  
expans...



GRAFCET PRINCIPES

Règles

● U...  
étape d...  
● L...  
de la m...  
● L...  
transito...  
● U...  
étape. d...  
● U...  
même d...  
Le sym...  
ral de l...  
zontaux

### 5. MACRO-REPRÉSENTATION

La macro-représentation du GRAFCET permet :

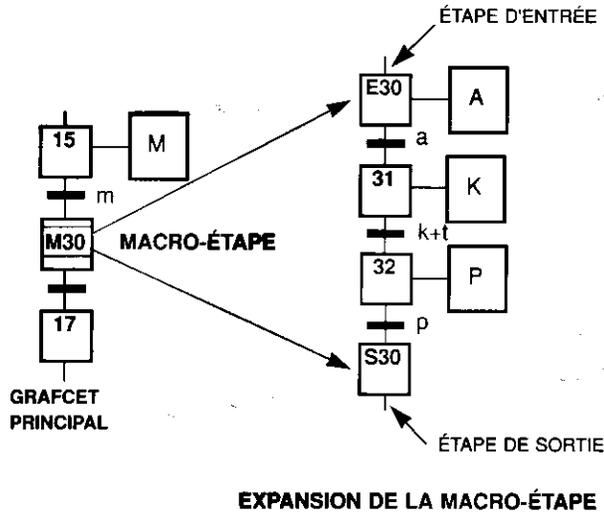
- lors de l'analyse, de ne pas surcharger la représentation par des détails non encore définis ou ne présentant aucun intérêt pour le niveau d'analyse considéré,
- lors de la constitution du dossier technique, de décomposer la description pour rester dans des formats de documents facilement exploitables,
- lors de l'exploitation du dossier technique, de rechercher plus facilement les documents souhaités,
- lors de modification, de mieux effectuer la mise à jour du dossier.

Cette macro-représentation s'applique aux concepts :

- de macro-étape,
- et de tâche ou fonction.

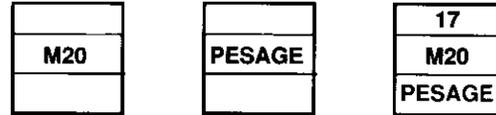
#### ● MACRO-ÉTAPE

Une macro-étape est la représentation unique d'un ensemble d'étapes et de transitions nommé expansion de la macro-étape.



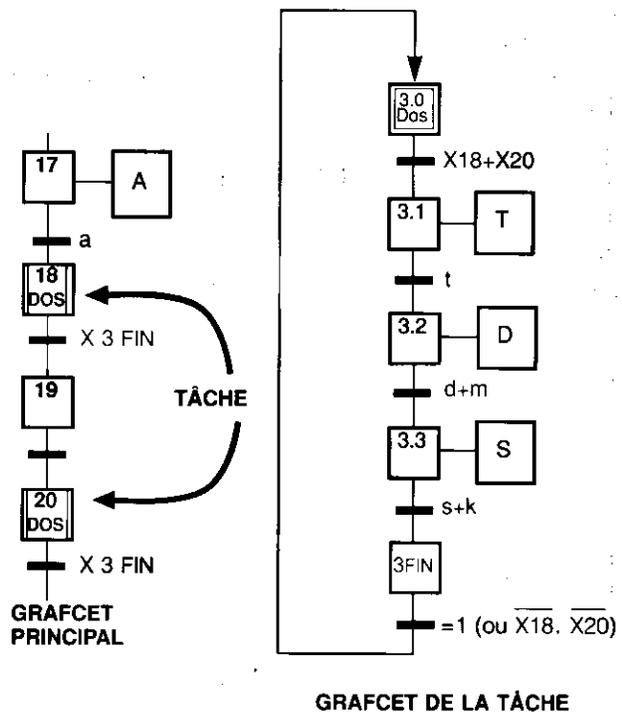
Elle peut être repérée :

- par un numéro,
- par un numéro précédé du symbole M,
- par un identificateur ou par une combinaison des différents repères.



#### ● TÂCHE OU REPRISE DE SÉQUENCE

Ce concept de tâche s'applique lorsque certaines séquences apparaissent de façon répétitives.



#### Règles d'écriture d'une macro-étape

- Une expansion de macro-étape comporte une étape d'entrée et une étape de sortie.
  - Le franchissement d'une transition en amont de la macro-étape active l'entrée de son expansion.
  - L'étape de sortie participe à la validation des transitions de sortie de la macro-étape.
  - Une expansion est liée à une seule macro-étape, ce qui évite les conflits d'accès.
  - Une expansion de macro-étape peut elle-même comporter d'autres macro-étapes.
- Le symbole de la macro-étape est le symbole général de l'étape partagé en 3 parties par 2 traits horizontaux.

#### Références :

- Norme Française **NF C03-190** : Diagramme fonctionnel GRAFCET pour la description des systèmes logiques de commande (édition 1982).
- Norme internationale **CEI IEC 848** : établissement des diagrammes fonctionnels pour systèmes de commande (édition 1988).

# 23

## APPLICATION DU GRAFCET : SYSTÈME D'ENCAISSAGE SEMI-AUTOMATIQUE

### 1. DESCRIPTION DU SYSTÈME

Ce système technique assure le groupage de produits, et leur introduction dans une boîte de carton (fig. 1a). Les produits se présentent sous forme de paquets, de barquettes, de boîtes, de sachets ou de fardeaux. Ils peuvent être groupés de façon très variable, chaque carton comportant :

- **f fardeaux,**
- **constituées chacune de m rangées de n produits.**

#### ● RÔLE DES VÉRINS (fig. 1b)

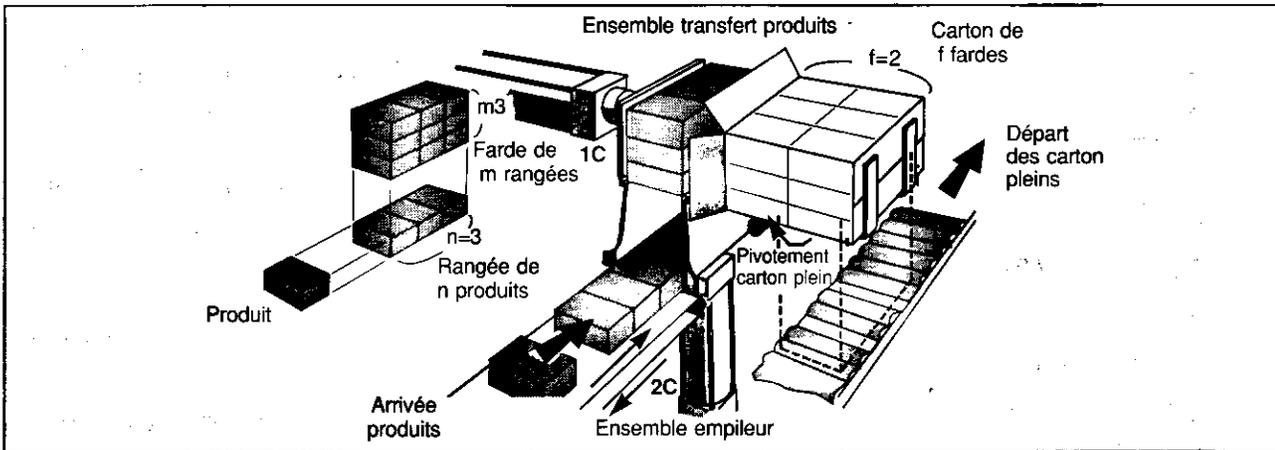
L'opérateur prépare le carton et le place sur la machine ; toutes les autres fonctions sont assurées par

les trois vérins **1C**, **2C** et **3C**.

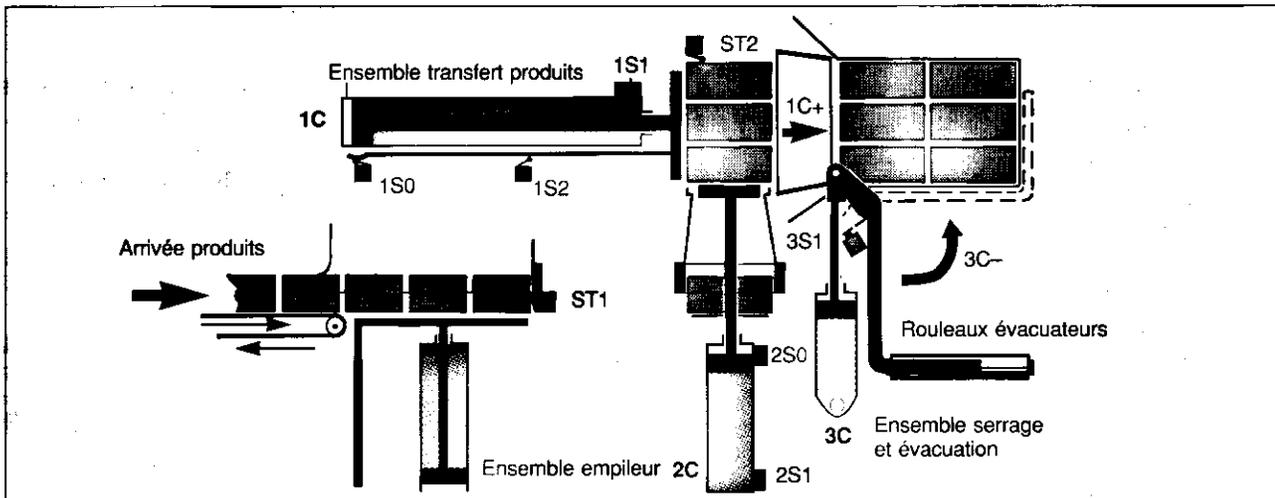
Les produits arrivant constituent une **rangée** (ici 3 produits) sur le plateau du vérin **2C**.

Chaque rangée est soulevée par le vérin **2C** et empilée devant le vérin **1C**, sur le support élastique. Lorsque la **farde** est complète (ici 3 rangées) le vérin **1C** la transfère dans le carton, le plateau du vérin **2C** servant de guide.

En parallèle, le vérin **3C** maintient le carton en position. Lorsque le carton est plein (ici 2 fardeaux), le vérin **3C** le descend en le faisant pivoter jusqu'au chemin de rouleaux transporteurs par lequel il est évacué.



1a. Système d'encaissage semi-automatique (suivant Télémécanique).



1b. Ensemble des vérins et des capteurs du système automatisé.

2. OB  
DE

Pour ce  
lyse fo  
caracté

3. AN  
TE

Cette a  
méthod

- le
- e

L'applic  
ment ex

- s
- p
- p

● GR  
SY

Ce GR  
techniq

e fonc

(fig. 3b)

Dans c  
tâches

quemer  
fonctio

Cette d  
du syst

- f
- d
- d

Ce typ  
représe

activité



3a. Sys

## 2. OBJECTIFS PÉDAGOGIQUES DE CETTE APPLICATION

Pour ce système technique il est proposé une analyse fonctionnelle temporelle des événements qui caractérisent son cycle de fonctionnement.

## 3. ANALYSE FONCTIONNELLE TEMPORELLE DES ÉVÉNEMENTS

Cette analyse fonctionnelle va privilégier deux outils méthodes :

- le **GRAF CET**
- et le **GEMMA**.

L'application du GRAFCET est conduite progressivement en considérant les trois points de vue :

- **système ou procédé,**
- **partie opérative,**
- **partie commande.**

### ● GRAFCET DU POINT DE VUE SYSTÈME OU PROCÉDÉ

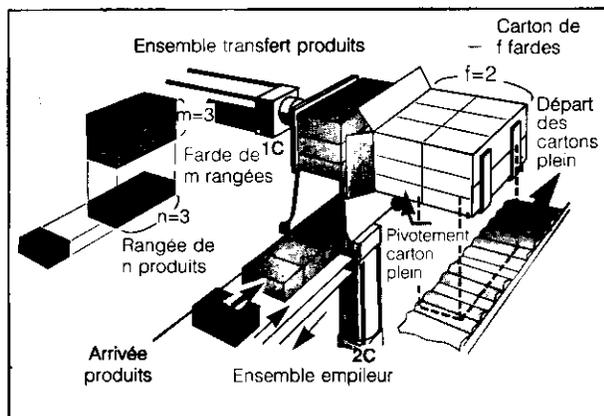
Ce GRAFCET traduit, sans préjuger des moyens techniques qui seront mis en œuvre pour le réaliser, le **fonctionnement du système tel qu'il est décrit** (fig. 3b).

Dans ce type de GRAFCET la description des tâches reste générale, peu détaillée. Elle doit uniquement permettre une **compréhension globale du fonctionnement du système.**

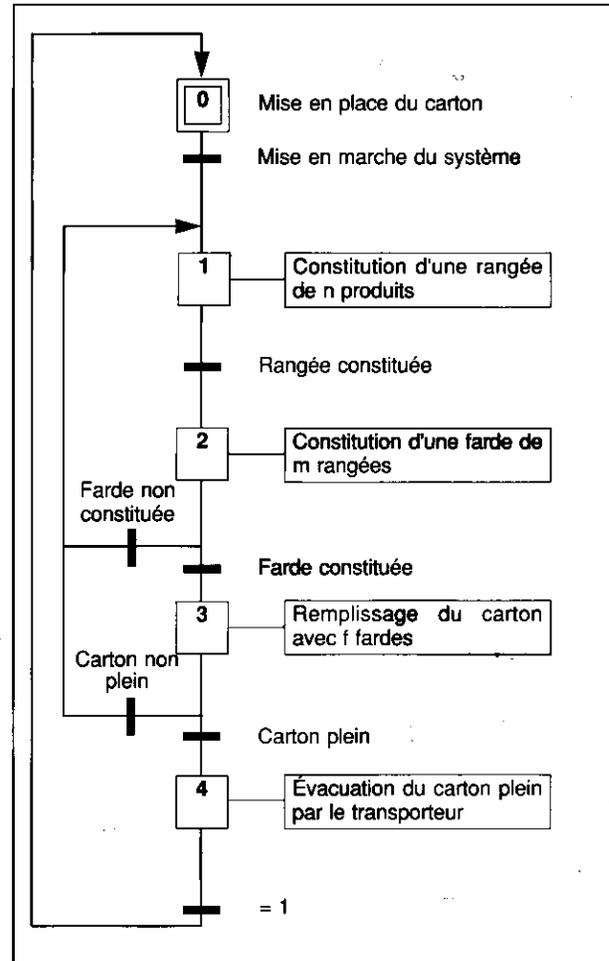
Cette description doit confirmer la fonction globale du système soit :

- Mettre dans un carton :**
- **f fardes constituées chacune,**
  - **de m rangées,**
  - **de n produits.**

Ce type de GRAFCET peut être considéré comme représentatif de la **coordination des tâches ou des activités** du système technique.



3a. Système d'encaissage semi-automatique



3b. GRAFCET selon un point de vue système

### ● GRAFCET DU POINT DE VUE PARTIE OPÉRATIVE

Ce GRAFCET traduit un bon fonctionnement de la partie opérative mais ne fait référence à aucune solution technique particulière pour la partie commande.

Certaines spécifications technologiques concernant les constituants opératifs peuvent être données. Mais pour tout ce qui concerne la relation partie commande, partie opérative le GRAFCET exprime des spécifications fonctionnelles.

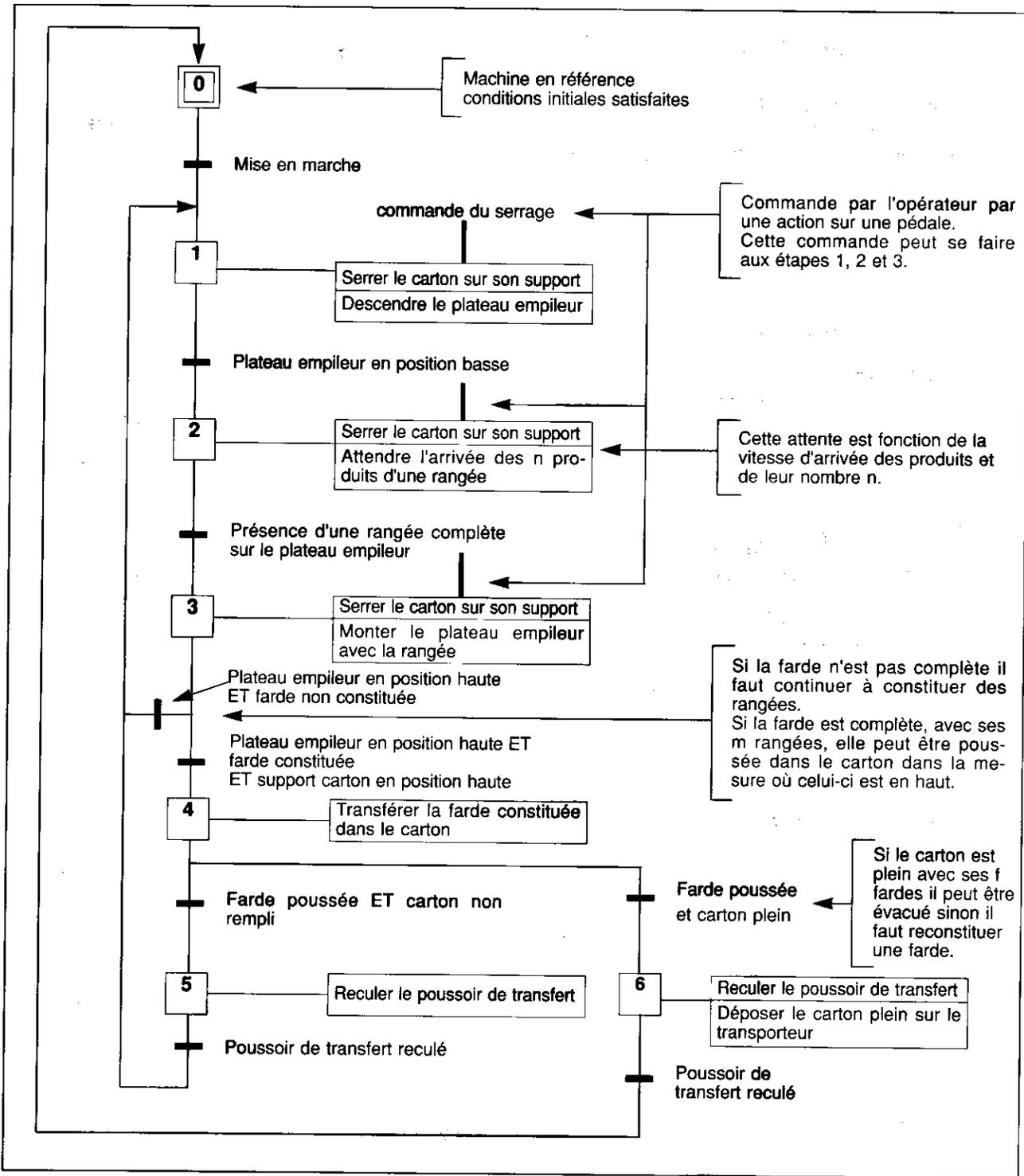
Ce GRAFCET précise (fig. 3c) :

- **les actions ou les effets à obtenir,**
- **avec les informations nécessaires à leur bonne évolution temporelle.**

*Exemples*

• **Plateau empileur en position basse :** est une information sans spécification technologique concernant sa saisie.

• **Descendre le plateau empileur :** est une action ou un effet à obtenir avec ce plateau empileur ; il y a là une certaine spécification technologique de l'effecteur sans pour autant désigner le type d'actionneur.



3c. GRAFCET du point de vue partie opérative.

● CHOIX TECHNOLOGIQUES

Les choix technologiques doivent apporter les **solutions techniques jugées optimales** :

- à la réalisation des actions et des effets,
- et à la saisie des informations, décrits dans le GRAFCET établi selon le point de vue partie opérative.

Ces choix doivent porter sur :

- les actionneurs,
- les capteurs,
- les moyens de traitement des informations,
- les solutions relatives à la gestion du cycle.

Les problèmes de sécurité doivent être étudiés dans le détail, à la fois dans le fonctionnement normal du système, mais également lors de la mise en œuvre des modes de marches et d'arrêts.

Les  
chos  
mon  
natu  
d'un  
ma  
sion  
Diam  
(mm)  
Fonc  
sort  
(da  
Fonc  
en s  
(da  
Com  
pou  
de c  
(NI)  
3d.  
Taux  
C'est  
Ce t  
une v  
leur p  
Norm  
lent à  
Exer  
Si la  
mass  
diam  
dans  
0,6 (

● CHOIX DES ACTIONNEURS

Les trois vérins pneumatiques double effet sont choisis en fonction :

- de leurs **caractéristiques de fonctionnement**, pression maximale, fluide, température,...
- de leurs **caractéristiques de construction**, nature du tube, joints du piston, présence ou non d'un amortissement en fin de course,...
- de leur **conformité aux normes**,
- de leur **force de poussée** et de leur **consommation** (suivant tableau fig. 3d établi pour une pression de 6 bars et un taux de charge de 1).

Diamètre du vérin (mm)	32	40	50	63	80	100
Force théorique en sortie de tige (daN)	47	74	115	183	296	462
Force théorique en rentrée de tige (daN)	41	62	97	165	267	415
Consommation pour 10 mm de course (NI) (sortie de tige)	0,056	0,088	0,137	0,218	0,352	0,459

3d. Force de poussée des vérins

Taux de charge

C'est le rapport :

$$\frac{\text{Effort maximal demandé au vérin}}{\text{Effort maximal que le vérin peut produire}}$$

Ce taux, au maximum égal à 1, a dans la pratique une valeur comprise entre 0,5 et 0,8. Une faible valeur prolonge la durée de vie du vérin.

**Normaux litres : NI** : c'est le volume d'air équivalent à la pression de 1 bar ( $P \times V = \text{constante}$ ).

- de leur capacité d'amortissement.

Exemple

Si la charge à soulever par le vérin empileur 2C a une masse maximale de 150 kg il faut choisir un vérin de diamètre 80 mm alimenté sous une pression de 6 bars, dans la mesure où le taux de charge retenu serait de 0,6. ( $150 : 0,6 = 250$ ).

● CHOIX DES CAPTEURS

Deux types de capteurs sont utilisés :

- les capteurs à seuil de pression,
- les capteurs de position mécaniques.

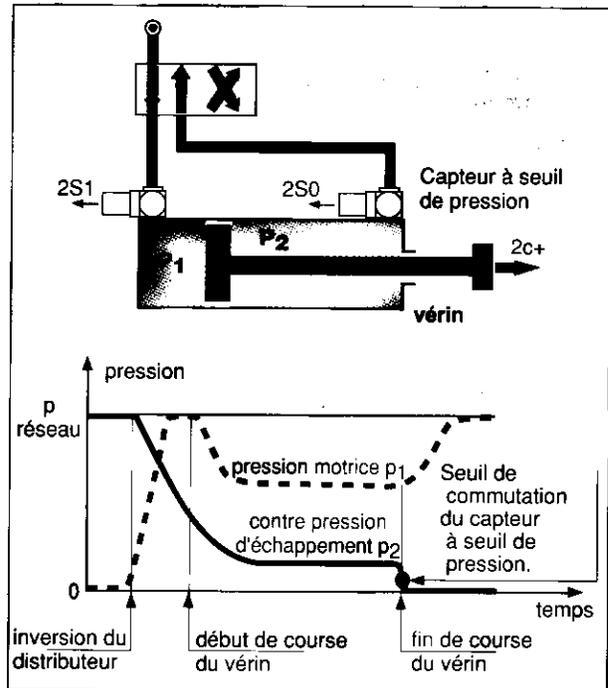
CAPTEURS A SEUIL DE PRESSION

**2S0** : position tige sortie du vérin **2C**,  
**2S1** : position tige rentrée du vérin **2C**,  
**1S1** : position tige complètement sortie du vérin **1C** ou tige arrêtée à l'entrée du carton lors du transfert de la dernière frame.

Ce type de capteur détecte la chute de la contre-pression d'échappement qui est présente dans la

chambre d'un vérin lorsque le piston s'arrête en butée (fig. 3e) :

- soit en fin de course (ex. : 2S0 et 2S1)
- soit sur une butée variable (ex. : 1S1)



3e. Exemple d'un vérin dont la course est contrôlée par deux capteurs à seuil de pression et courbes de la pression motrice et de la contre pression d'échappement.

CAPTEURS DE POSITION MÉCANIQUE

Les autres capteurs sont de ce type

● CONVENTIONS DE REPÉRAGE

La machine est **représentée à l'état initial**.

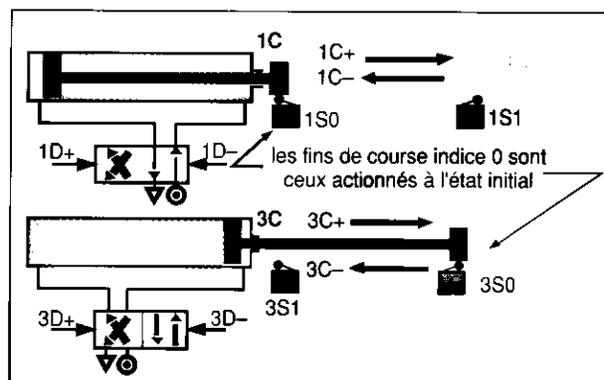
Le même repère numérique s'applique :

- au vérin,
- aux capteurs de position,
- aux pilotes du distributeur,

en y associant respectivement les lettres **C**, **S** et **D**.

Les capteurs normalement actionnés à l'état initial sont affectés de l'indice **0**.

Les mouvements de sortie de tige sont affectés du signe **+**, la rentrée de tige du signe **-** (fig. 3f).



3f. Exemple de repérage d'un vérin et des capteurs et distributeur qui lui sont associés.

● GRAFCET DU POINT DE VUE PARTIE COMMANDE

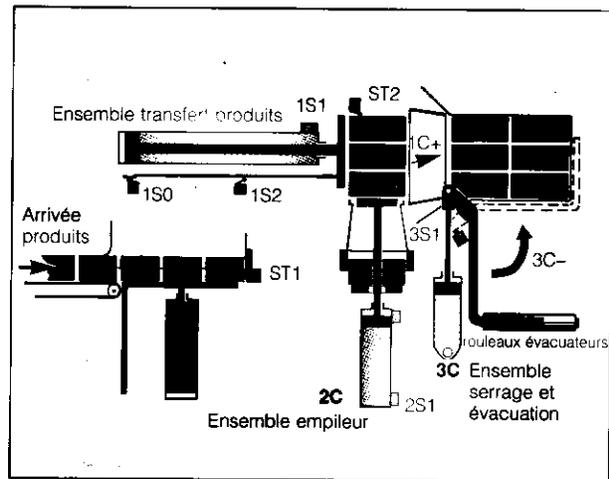
Ce GRAFCET prend en compte les **choix technologiques et l'ensemble des échanges** de la partie commande avec la partie opérative et le dialogue avec l'opérateur (fig. 3h).

Ce point de vue est celui du **réalisateur de la partie commande**.

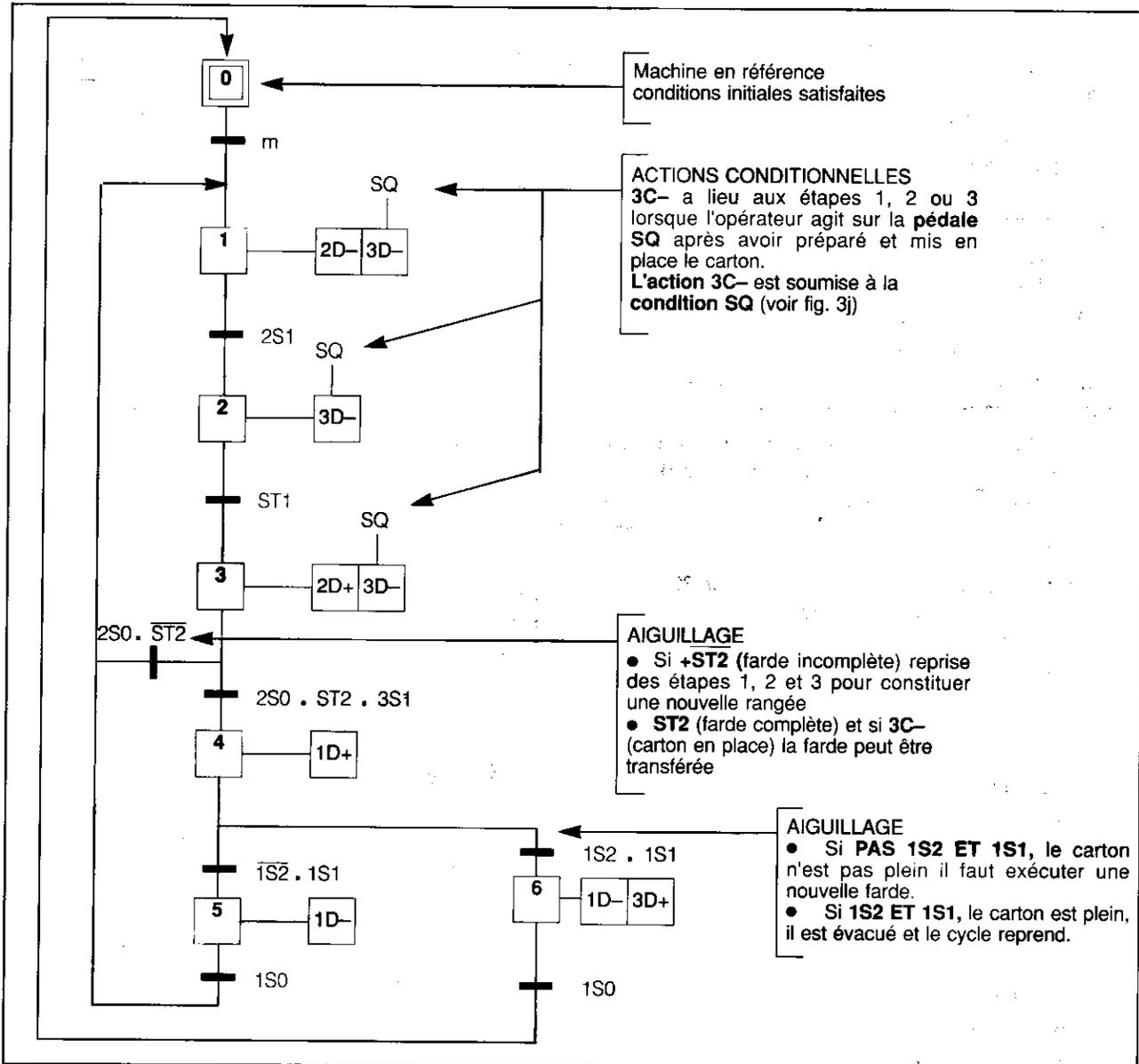
Dans un premier temps ce GRAFCET est proposé pour une situation de marche normale. Son écriture doit évoluer en fonction des **modes de marches et d'arrêts** qui sont imposés par le cahier des charges de ce système technique automatisé.

Les tâches associées aux étapes sont désignées par les repères des pilotes des distributeurs qui commandent les vérins.

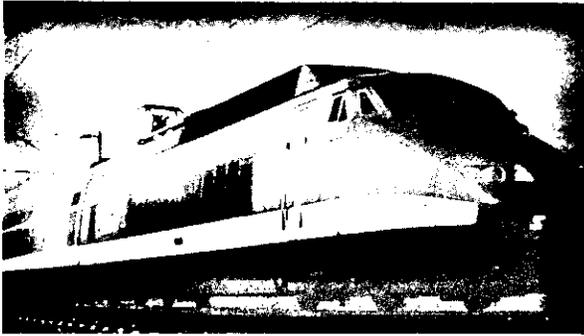
Ce repérage est conforme aux règles énoncées précédemment.



3g. Système d'encaissage semi-automatique



3h. GRAFCET du point de vue partie commande



Les capteurs sont nécessaires au TGV pour tester l'état des voies.

# 24

## LES OBJETS TECHNIQUES D'INFORMATION : LES CAPTEURS

### 1. NOTION D'IMAGE INFORMATIONNELLE

Pour exploiter correctement un système automatisé il est nécessaire, suivant la nature de ce dernier :

- de mesurer les variations de certaines grandeurs physiques,

Exemples :

- la vitesse du vent pour un store commandé automatiquement,
- la pression d'air dans le réseau d'alimentation d'un automatisme pneumatique,
- la température du bain lessiviel d'un lave-linge.

- de contrôler l'état physique de certains de ses constituants,

Exemples :

- la position levée d'une barrière de parking,
- la présence d'une pièce sur un convoyeur,
- la position fermée de la porte de chargement d'un lave-linge.

Dans les deux cas, la variation d'une grandeur et le changement d'un état, sont des **phénomènes physiques** que l'automatisme ne peut traiter dans leur nature et forme initiales.

Il est nécessaire que des constituants du système automatisé puissent traduire la variation de la grandeur ou le changement de l'état physique en un **signal**, dont la nature et les caractéristiques de forme et de dimensions soient **compatibles avec l'unité de traitement de la partie commande du système automatisé**.

Ce **signal exploitable** devient ainsi l'**image informationnelle** de la variation de la grandeur ou du changement d'état du **phénomène physique** (fig. 1a).

### ● CARACTÉRISTIQUES DU SIGNAL

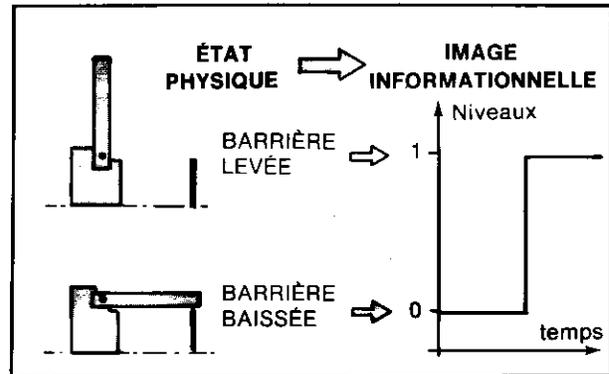
Suivant :

- le **type de technologie** de la partie commande du système automatisé,
- et des **conditions d'influence externes** dans lesquelles le système est installé,

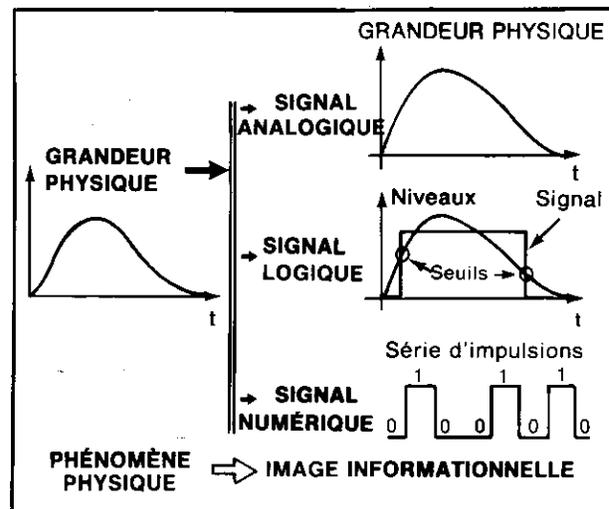
le signal peut être :

- électrique,
- ou pneumatique.

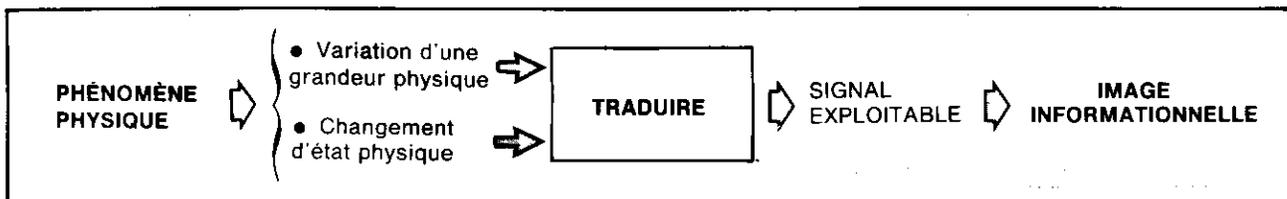
Les caractéristiques de forme peuvent être **analogique, logique** ou **numérique** (fig. 1b et 1c).



1b. Signal logique, image informationnelle d'un changement d'état physique.



1c. Signaux analogique, logique et numérique, images informationnelles d'une même variation de grandeur physique.



1a. Phénomène physique et image informationnelle.

## 2. ÉTUDE FONCTIONNELLE D'UN OBJET TECHNIQUE D'INFORMATION

Pour obtenir l'image informationnelle de la variation d'une grandeur ou le changement d'un état physique il est nécessaire :

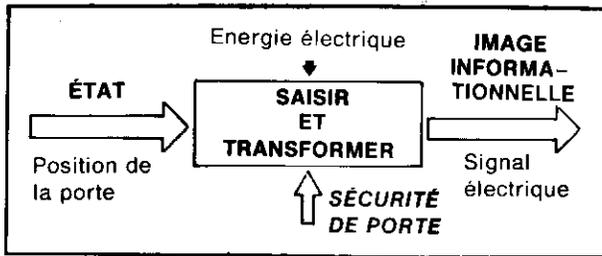
- d'en saisir la variation ou le changement,
- et de les transformer en un signal exploitable.

### ● EXEMPLE : ÉTUDE FONCTIONNELLE D'UN SYSTÈME DE SÉCURITÉ DE PORTE

Dans un lave-linge toute mauvaise fermeture ou ouverture accidentelle de la porte de chargement empêche ou arrête le fonctionnement.

Le système désigné « SÉCURITÉ DE PORTE » doit :

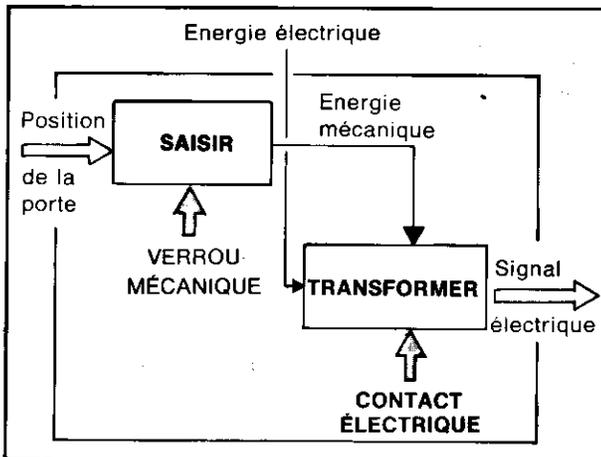
- saisir tout changement dans l'état physique de position de la porte,
- et le transformer en un signal électrique, image informationnelle de cette position (fig. 2a).



2a. Représentation fonctionnelle de la sécurité de porte.

L'analyse de la structure fonctionnelle de ce dispositif de sécurité se traduit par deux blocs (fig. 2b) :

- un bloc pour la **saisie de l'état**, position de la porte, dont le support d'activité est le **verrou mécanique**,
- un bloc pour la **transformation en signal électrique** dont le support d'activité est le **contact électrique**.



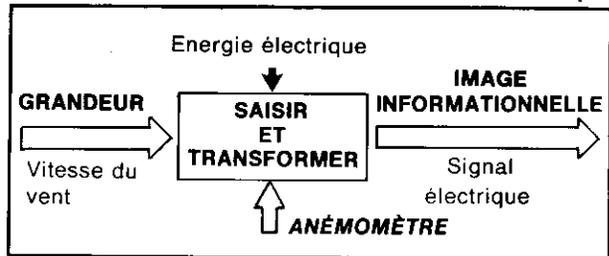
2b. Analyse fonctionnelle du système sécurité de porte.

### ● EXEMPLE : ÉTUDE FONCTIONNELLE D'UN ANÉMOMÈTRE

Dans la commande automatique d'un store, l'anémomètre assure le repli immédiat de ce dernier pour une vitesse de vent prédéterminée (Système SOMFY).

Cet anémomètre doit :

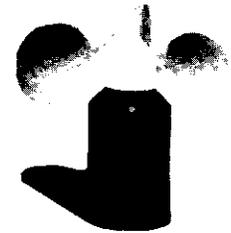
- saisir la vitesse du vent
- et la transformer en un signal électrique, image informationnelle de cette vitesse (fig. 2c).



2c. Représentation fonctionnelle d'un anémomètre.

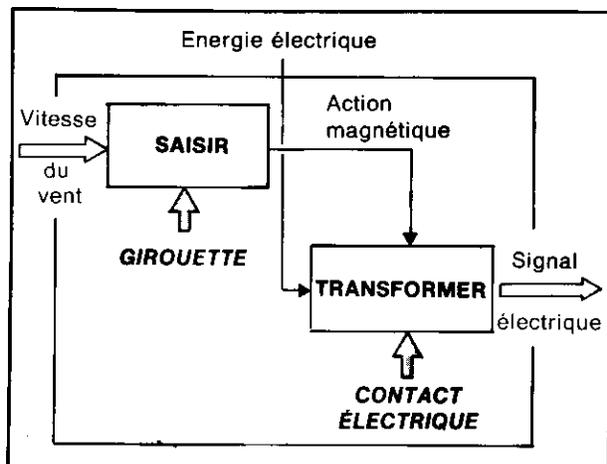
L'analyse de la structure fonctionnelle de cet anémomètre se traduit par deux blocs (fig. 2d et 2e) :

- un bloc dont le support d'activité est la **girouette**,
- un bloc dont le support d'activité est le **contact électrique** d'un relais à lames souples.



2d. Anémomètre (SOMFY).

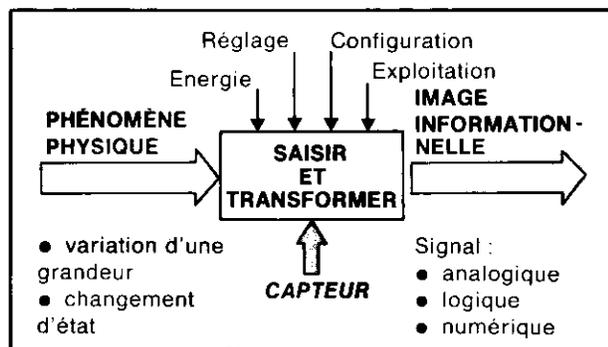
Trois aimants permanents solidaires de la girouette provoquent, par tour, trois fermetures successives du contact électrique. Le **signal électrique** est un **train d'impulsions** dont la **fréquence** est l'image informationnelle de la vitesse du vent.



2e. Analyse fonctionnelle d'un anémomètre.

### 3. CAPTEURS ET DÉTECTEURS

Ces objets techniques d'information sont des capteurs, ou détecteurs (fig. 3a).



3a. Représentation fonctionnelle d'un capteur.

#### ● EXEMPLE DE CLASSIFICATION

Plusieurs critères de classification des capteurs sont possibles.

Le tableau 3b ci-dessous propose des exemples à partir de la **nature des grandeurs physiques d'entrée**.

INFORMATION	Ex. de CAPTEURS	SYMBOLES	CARACTÉRISTIQUES	APPLICATIONS
INFORMATION DE POSITION (par contact avec l'objet)	CAPTEUR PNEUMATIQUE DE POSITION	 rappel par ressort	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Commande par galet</li> <li>● Rappel par ressort</li> <li>● Vitesse et attaque maximale : 0,1 m/s</li> <li>● Force minimale nécessaire pour l'enclenchement à 6 bars : 2 daN</li> </ul>	Très nombreuses compte tenu : <ul style="list-style-type: none"> <li>● de la robustesse,</li> <li>● de la bonne résistance aux agents extérieurs, huiles, acides, poussières, ...</li> </ul>
INFORMATION DE DÉPLACEMENT (par contact avec l'objet)	CODEUR OPTIQUE INCRÉMENTAL	 <i>D</i> : déplacement	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Tension d'alimentation 5 à 24 V continu.</li> <li>● Vitesse de rotation de l'arbre : 6 000 tr/min max.</li> <li>● Résolutions comprises entre 2 500 et 7 200.</li> </ul>	Le positionnement du mobile est entièrement maîtrisé par les systèmes de traitement associés au codeur ce qui convient à des bras de robots, des tables de machines-outils, ...
INFORMATION DE TEMPÉRATURE D'UN FLUIDE	SONDE À THERMISTANCE	 <i>θ</i> : température	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Variation de la résistivité d'un semi-conducteur avec la température</li> <li>● Grande sensibilité</li> <li>● Temps de réponse très court</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Grand champ d'application de - 100 à + 450 °C</li> <li>● Utilisé pour la détection de la variation de température</li> </ul>
INFORMATION DE PRESSION DANS UN CIRCUIT	PRESSOSTAT	 <i>p</i> : pression	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Nature du fluide</li> <li>● Fréquence de fonctionnement</li> <li>● Mode de fonctionnement des contacts</li> <li>● Endurance électrique</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Appareils très robustes ayant un champ d'application dans les circuits de fluide : huile, air, ...</li> </ul>
INFORMATION DE VITESSE ANGULAIRE	DYNAMO TACHYMÉTRIQUE À COURANT CONTINU	 <i>ω</i> : vitesse angulaire	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Gamme étendue de mesure</li> <li>● Donne le sens de rotation</li> <li>● Bonne linéarité</li> <li>● Bonne précision</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Champ d'application étendu sur une gamme de vitesses pouvant être très élevées (7 500 tr/min).</li> </ul>
INFORMATION DE PRESSION, DE FORCE ET DE POIDS	JAUGE MÉTALLIQUE EXTENSOMÉTRIQUE	 <i>F</i> : force	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Bonne précision</li> <li>● Plage d'utilisation en température étendue (de - 30 à 120 °C)</li> <li>● Haute limite de fatigue</li> <li>● Electronique de traitement simple.</li> </ul>	Le prix de revient de ces capteurs à transduction résistive fait que leurs applications sont nombreuses dans la recherche et dans l'industrie.

3b. Exemples de capteurs. (Symboles des grandeurs concernées suivant norme NFX 02-200.)

#### ● NATURE DES CAPTEURS

Suivant la nature du signal exploitable les capteurs se classent en trois catégories (fig. 1b, 1c) :

● **capteurs analogiques**, le signal délivré est la traduction exacte de la **loi de variation de la grandeur physique mesurée**,

● **capteurs logiques**, le signal ne présente que **deux niveaux**, ou deux états, qui s'affichent par rapport au franchissement de deux valeurs ; ces capteurs du type tout-ou-rien sont également désignés par **détecteurs**,

● **capteurs numériques**, le signal est **codé** au sein même du capteur par une électronique associée ; ces capteurs sont également désignés par **codeurs** et **compteurs**.

#### 4. DÉTECTEURS DE POSITION « TOUT-OU-RIEN »

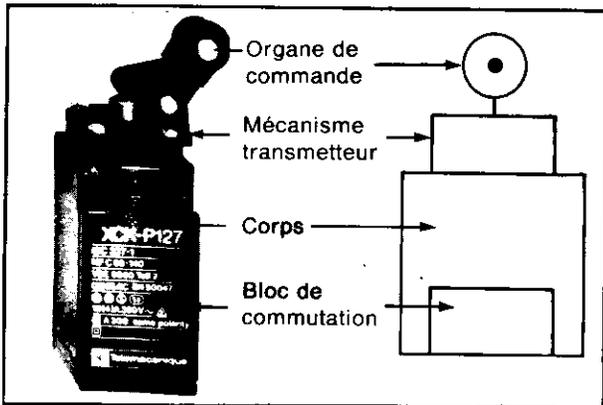
Les capteurs logiques de position, encore désignés par **détecteurs de position « tout ou rien »** sont indispensables au fonctionnement de nombreuses machines :

- robots,
- machines-outils,
- presses, ...

##### ● DÉTECTEURS MÉCANIQUES À CONTACT

###### ● ÉTUDE FONCTIONNELLE

Dans cette catégorie sont classés tous les systèmes qui permettent, à partir d'une action mécanique directe, de fermer ou d'ouvrir un ou plusieurs contacts électriques (fig. 4a).



4a. Détecteur mécanique à contacts.

##### ● CARACTÉRISTIQUES ÉLECTRIQUES

Elles définissent :

- la **nature du circuit**, alternatif, continu,
- les valeurs maximales de la **tension** et de l'**intensité** de courant qui peuvent être coupées,
- la **configuration** des contacts (fig. 4b).

CONFIGURATION	SIMPLE ACTION	INVERSEUR
UNIPOLAIRE		
BIPOLAIRE		

4b. Configuration des contacts.

##### ● CARACTÉRISTIQUES MÉCANIQUES

Elles définissent :

- l'**amplitude de la course** du mécanisme transmetteur,

— les **forces nécessaires** pour déplacer l'organe de commande,

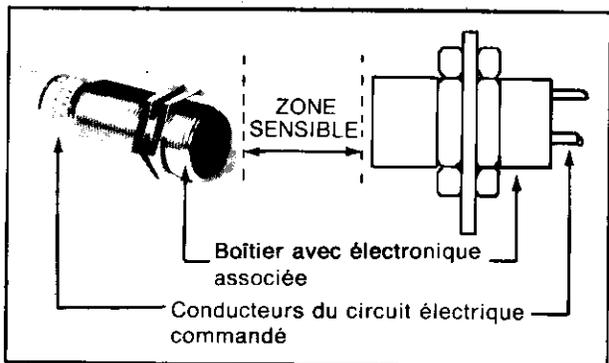
— l'**endurance mécanique** ou **durée de vie** estimée par le nombre probable de manœuvres.

##### ● DÉTECTEURS DE PROXIMITÉ

Les détecteurs **opèrent à distance, sans contact avec le produit** dont ils contrôlent la position (de 1 mm à quelques mètres).

###### ● ÉTUDE FONCTIONNELLE

Un détecteur de proximité interrompt ou établit un circuit électrique en fonction de la **présence ou de la non-présence d'un objet dans sa zone sensible** (fig. 4c).



4c. Détecteur de proximité inductif.

Dans tous ces détecteurs la présence de l'objet à contrôler dans la zone sensible modifie une grandeur physique :

- un **champ électromagnétique** à haute fréquence dans les **détecteurs inductifs** ;
- la **capacité d'un circuit oscillant** dans les **détecteurs capacitifs**,
- le **niveau d'éclairement d'un récepteur photosensible** dans les **détecteurs photoélectriques**.

Le choix d'un détecteur de proximité dépend :

- de la **nature du matériau** constituant l'objet à détecter,
- de la **distance de l'objet à détecter**,
- des dimensions de l'**emplacement disponible** pour implanter le détecteur.

##### ● DÉTECTEURS DE PROXIMITÉ PHOTOÉLECTRIQUES

Les systèmes détecteurs de proximité photoélectriques comprennent :

- un **émetteur** de lumière visible ou **infrarouge**,
- associé à un **récepteur photosensible**.

L'objet est détecté lorsqu'il interrompt, ou fait varier, l'intensité du faisceau lumineux sur le récepteur.

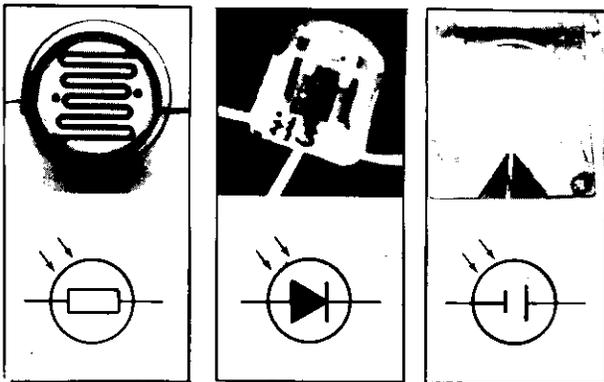
● N  
P  
  
● SY  
UN SY  
ÉTATS  
DEUS  
  
Diode  
Diode  
(couran  
  
Le co  
L'ère  
  
4g. Em

● NATURE DES CONSTITUANTS PHOTOSENSIBLES

La variation de la quantité de **lumière** reçue par certains composants, dits **photosensibles**, modifie leurs caractéristiques.

Il existe deux grandes familles de composants photosensibles :

- les **photorésistances** dans lesquelles toute variation de l'éclairement provoque une variation de résistance interne (fig. 4d)
- les **photosensibles à jonction** telles que :
  - les **photodiodes** qui, éclairées, sont parcourues par un courant inverse important (fig. 4e)
  - les **photopiles** qui convertissent l'énergie lumineuse en énergie électrique (fig. 4f).



4d. Photorésistance. 4e. Photodiode. 4f. Photopile.

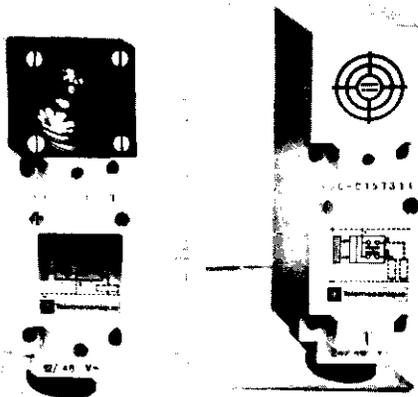
● SYSTÈMES DE DÉTECTION

Un système est caractérisé par la nature de son émetteur et de son récepteur (fig. 4g).

Deux systèmes sont principalement utilisés.

ÉMETTEUR	RÉCEPTEUR	FAISCEAU
Diode électroluminescente	Photorésistif	Infrarouge
Diode électroluminescente (courant pulsé)	Photopiles	Infrarouge modulé

Le courant pulsé rend le système insensible aux lumières ambiantes.



4g. Emetteur et récepteur photoélectriques.

5. CAPTEURS DE MESURE DE POSITION

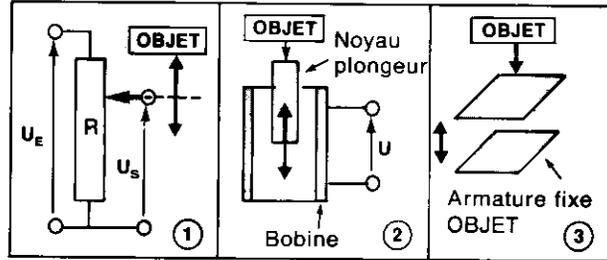
La mesure de la position d'un objet mobile ou de son déplacement linéaire ou angulaire peut se traduire :

- par un **signal analogique** dont les variations sont **l'image du déplacement de l'objet**, c'est le cas des **capteurs de déplacement**,
- ou par une **valeur numérique**, c'est le cas des **codeurs de déplacement**.

● CAPTEURS DE DÉPLACEMENT

Dans ce type de capteurs, l'objet est lié mécaniquement à une partie du capteur et son déplacement entraîne la variation (fig. 5a) :

- d'une **résistance dans les capteurs résistifs**,
- d'un **flux magnétique dans les capteurs inductifs**,
- d'une **capacité dans les capteurs capacitifs**.



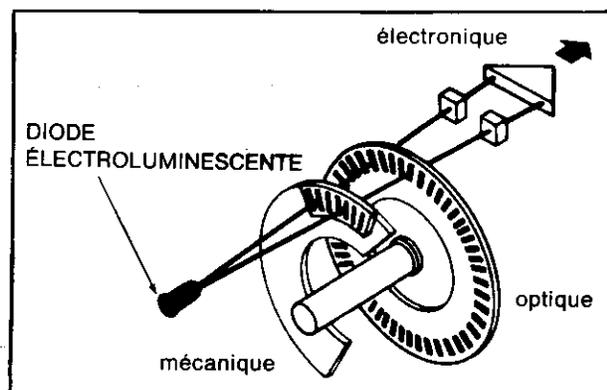
5a. Principes de quelques capteurs de mesure de position.

- ① . Résistif (potentiomètre)
- ② . Inductif (bobine avec noyau plongeur)
- ③ . Capacitif (une armature est fixe, l'autre mobile).

● CODEURS DE DÉPLACEMENT

Ces **codeurs de déplacement**, ou **codeurs digitaux** peuvent être optiques. Dans ce cas la lumière émise par un émetteur type **diode électroluminescente** éclaire un élément **codé, règle** ou **disque**, présentant **des zones transparentes et des zones opaques**. Un récepteur de lumière **photodiode** ou **phototransistor**, transforme chaque éclaircissement en une impulsion.

**Mesurer le déplacement revient à compter les impulsions.**

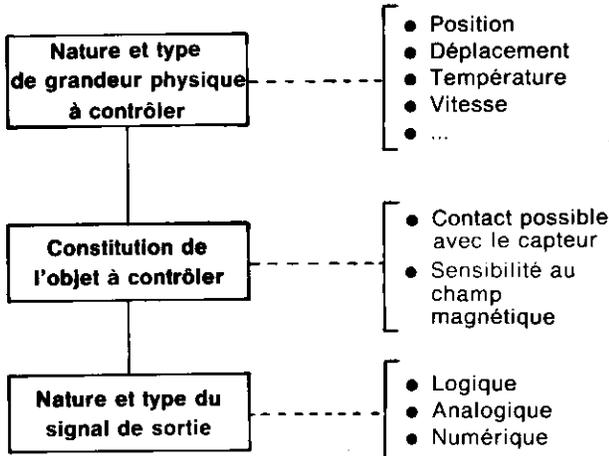


5b. Principe d'un codeur rotatif de déplacement (suivant Télé-mécanique).

## 6. CHOIX D'UN CAPTEUR

### ● TYPE DE CAPTEUR

Les données concernant le choix du type de capteur à utiliser doivent se trouver dans le **Cahier des Charges Fonctionnel**.



**Exemple :**

*Pour le contrôle d'un déplacement*

TYPE DE SIGNAL	LIAISON DU CAPTEUR AVEC L'OBJET	
	AVEC LIAISON	SANS LIAISON
LOGIQUE	Détecteur de position	Détecteur de proximité
ANALOGIQUE	Capteur de déplacement	Capteur de proximité
NUMÉRIQUE	Codeur de déplacement	

Si le boîtier de l'objet est métallique le détecteur ou le capteur choisi peut être du type inductif.

### ● DÉFINITION DES CARACTÉRISTIQUES

À partir du type de capteur retenu, il est nécessaire d'en définir ses caractéristiques qui prennent en compte :

- ses **conditions d'emploi** sur le système automatisé
- ainsi que les **influences externes** qui sont liées à son environnement.

D'où la prise en compte, par exemple, pour un détecteur de position :

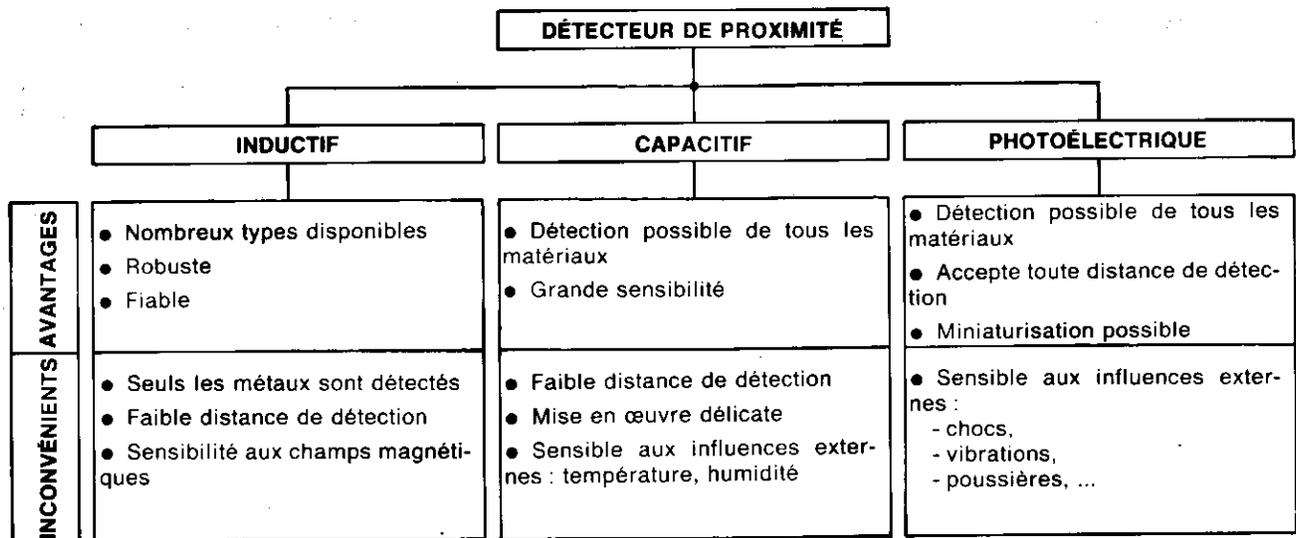
- **des caractéristiques générales :**
  - dimensions, poids,
  - nature du dispositif de commande,
  - mode de fixation,
  - interchangeabilité, ...
- **des caractéristiques mécaniques :**
  - force de commande,
  - course,
  - endurance mécanique, ...
- **des caractéristiques électriques :**
  - type de circuit électrique,
  - pouvoir de coupure,
  - configuration des contacts électriques, ...
- **des influences externes :**
  - vibrations, chocs,
  - tenue à la température,
  - étanchéité aux projections, aux ruissellements, à l'immersion, aux poussières,
  - atmosphère explosive, ...

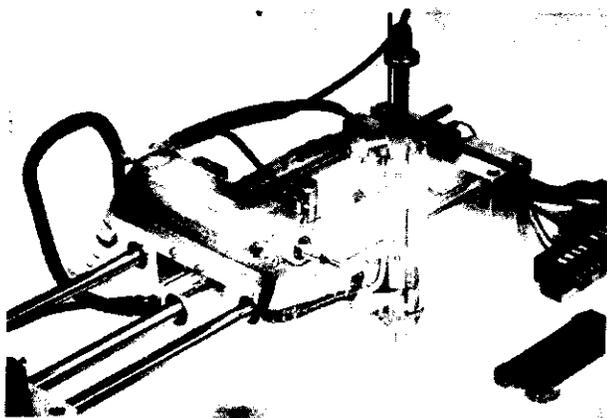
*Exemple :*

*Un détecteur de position installé sur un pont roulant doit présenter :*

- une bonne interchangeabilité
- une grande endurance mécanique
- une parfaite étanchéité
- une bonne tenue aux vibrations et aux chocs.

### ● CRITÈRES DE CHOIX D'UN DÉTECTEUR DE PROXIMITÉ





## 1. JUSTIFICATION DES OBJETS TECHNIQUES DE PUISSANCE

### ● FONCTIONNEMENT D'UN SYSTÈME AUTOMATISÉ DE DOSAGE ET CHAUFFAGE DE FLUIDE

Dans une usine de produits agro-alimentaires une partie du processus de traitement d'un fluide alimentaire consiste à porter une quantité prédéterminée de ce **fluide visqueux** à une **température  $\theta^{\circ}\text{C}$** . Cette quantité varie suivant le type de produit fini fabriqué sur la ligne. De plus l'homogénéisation de la température dans le fluide impose son **brassage** **durant le chauffage** (fig. 1a).

La partie commande de toute la ligne de fabrication est constituée par un **automate programmable industriel équipé avec ses interfaces de sortie**. Pour ce qui concerne le réchauffage du fluide le fonctionnement est le suivant :

- un **compteur-débitmètre C** génère des impulsions proportionnellement à la quantité de fluide admise dans le **ballon B** par l'**électrovanne EV1** ;
- lorsque cette quantité de fluide est égale à la **valeur consigne V** entrée dans l'**A.P.I.**, **EV1 interrompt l'alimentation de B**, le **moteur de brassage M** et l'**élément chauffant RC** sont alimentés ;
- à la température  $\theta^{\circ}\text{C}$ , contrôlée par le **thermostat B1**, le chauffage et le brassage sont arrêtés et l'**électrovanne EV2** est alimentée durant **100 secondes** pour permettre le vidage du ballon et le transfert du fluide vers l'étape suivante du processus.

### ● ANALYSE FONCTIONNELLE

L'analyse fonctionnelle de la partie opérative de ce système met en évidence **trois fonctions** :

- l'**alimentation du ballon en fluide** ;
- le **conditionnement du fluide**,
- le **vidage du ballon**.

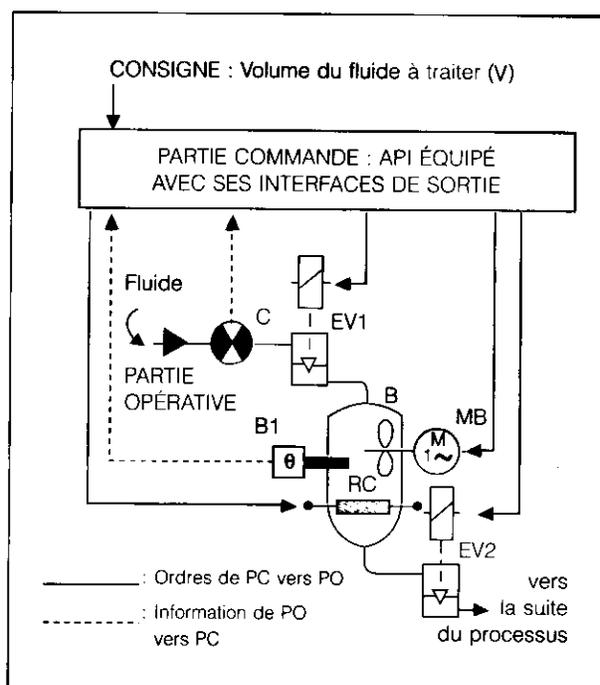
Elles sont réalisées par la mise en œuvre :

- de **deux capteurs** :
  - le **débitmètre C**,
  - le **thermostat B1** ;

*Des actionneurs et des effecteurs pour produire des effets utiles.*

# 25

## LES OBJETS TECHNIQUES DE PUISSANCE : LES ACTIONNEURS



1a. Système automatisé de chauffage d'un fluide alimentaire.

- de **quatre objets techniques de puissance** :
  - les **deux électrovannes EV1 et EV2** pour l'établissement ou l'interruption de la circulation du fluide,
  - le **moteur MB** associé à l'hélice pour le brassage du fluide,
  - l'**élément chauffant RC** pour le réchauffage du fluide.

## 2. ACTIONNEURS ET EFFECTEURS

Pour chacune des trois catégories d'**objets techniques de puissance** :

- électrovanne,
- élément chauffant,
- moteur-brasseur,

l'analyse fonctionnelle met en évidence deux blocs (fig. 2a).

**Les premiers blocs** de chaque fonction respectivement repérés **11, 21 et 31**, sont **identiques** et traduisent la même activité : **CONVERTIR L'ÉNERGIE**.

Les **supports d'activité** des premiers blocs qui sont :

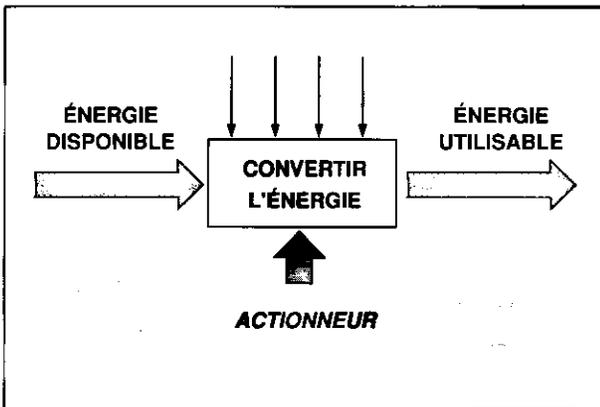
- un électroaimant,
- une résistance électrique,
- un moteur,

sont des **actionneurs**.

Un actionneur convertit une énergie d'entrée disponible sous une certaine forme en une énergie utilisable sous une forme différente (fig. 2b).

Exemples :

- le **moteur électrique** convertit l'énergie électrique disponible sur le réseau de distribution en une énergie mécanique de rotation,
- le **vérin pneumatique** convertit l'énergie pneumatique de l'air comprimé du réseau de distribution en une énergie mécanique de translation,
- la **résistance électrique** convertit l'énergie électrique en une énergie thermique ou calorifique de chauffage,
- l'**électroaimant** convertit l'énergie électrique en une énergie mécanique de translation.



2b. Représentation fonctionnelle d'un actionneur.

Les seconds sont différents pour chaque fonction et correspondent à l'activité spécifique qui apporte à la matière d'œuvre entrante sa valeur ajoutée.

Les **supports d'activité** des seconds blocs qui sont :

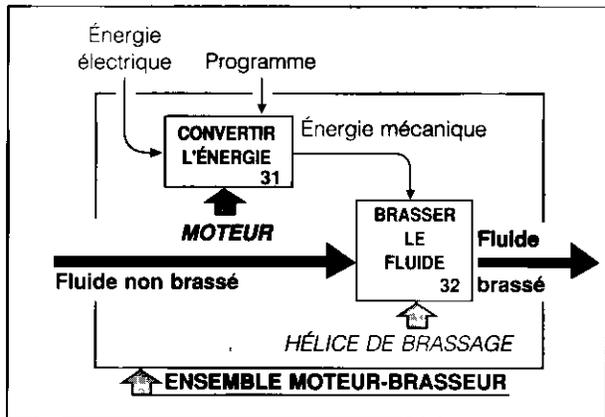
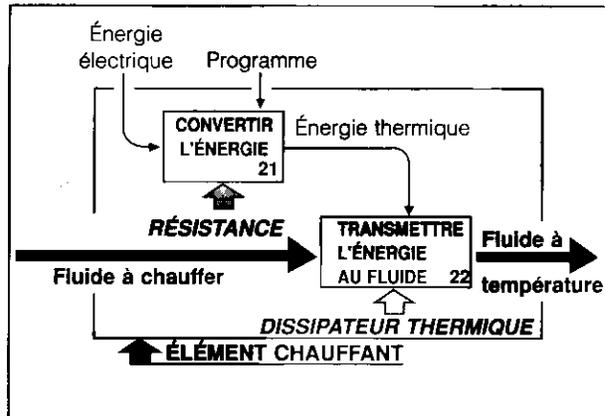
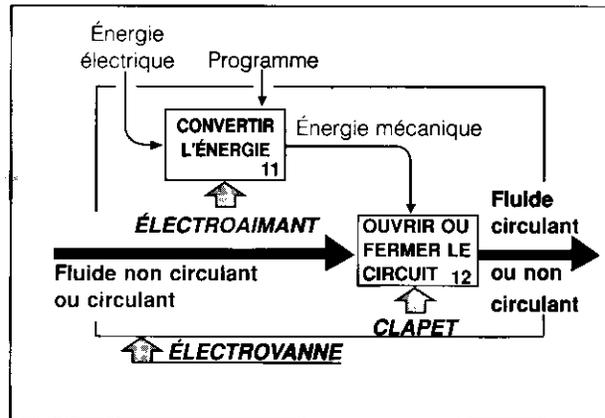
- un clapet
- un dissipateur thermique,
- une hélice de brassage,

sont des **effecteurs**.

Un effecteur est un ensemble qui utilise de l'énergie, sous la forme qui lui est adaptée, pour produire un effet utile sur la matière d'œuvre en lui conférant une certaine valeur ajoutée.

Exemples :

- la **gaine**, dissipateur thermique de l'élément chauffant, permet un bon **échange thermique** entre la résistance chauffante et le fluide,
- l'**hélice entraînée en rotation** provoque le **brassage du fluide**,



2a. À chacun des actionneurs :

- électroaimant, résistance, moteur, est associé un effecteur :
- clapet, dissipateur thermique, hélice de brassage.

● la **position du clapet** autorise ou interdit le remplissage du ballon, pour EV1, ou son vidage, pour EV2,

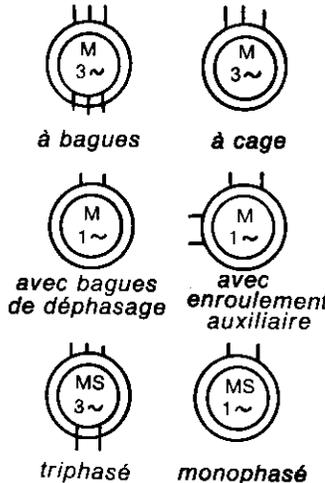
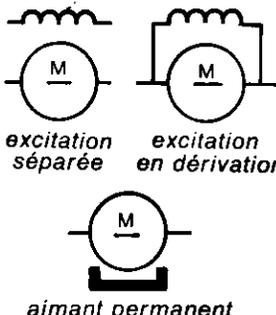
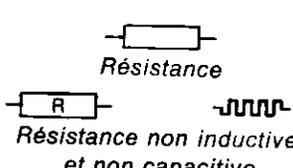
● la **pince d'un bras manipulateur** permet la saisie et le contrôle des objets à manipuler.

Les **actionneurs, objets techniques de puissance**, ont une conception en rapport avec les phénomènes physiques qui régissent la conversion de l'énergie.

Les **effecteurs, objets techniques de structure**, ont une conception en rapport avec les lois de la cinématique et les considérations constructives de la mécanique.

### 3. EXEMPLES D'ACTIONNEURS

Le tableau 3a donne la désignation fonctionnelle, le symbole, les caractéristiques des actionneurs les plus utilisés.

DÉSIGNATION	SYMBOLES	CARACTÉRISTIQUES ET APPLICATIONS
TRANSFORMATION DE L'ÉNERGIE ÉLECTRIQUE EN ÉNERGIE MÉCANIQUE DE ROTATION		
<b>MOTEURS À COURANT ALTERNATIF :</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>● ASYNCHRONES                             <ul style="list-style-type: none"> <li>● triphasés                                     <ul style="list-style-type: none"> <li>● à bagues</li> <li>● à cage</li> </ul> </li> <li>● monophasés                                     <ul style="list-style-type: none"> <li>● avec bague de déphasage</li> <li>● avec enroulement auxiliaire</li> </ul> </li> </ul> </li> <li>● SYNCHRONES                             <ul style="list-style-type: none"> <li>● triphasés</li> <li>● monophasés</li> </ul> </li> </ul>	 <p>à bagues      à cage</p> <p>avec bague de déphasage      avec enroulement auxiliaire</p> <p>triphasé      monophasé</p>	<p>Les <b>moteurs asynchrones</b> sont très utilisés :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● facilité de branchement,</li> <li>● simplicité de changement du sens de rotation,</li> <li>● vitesse dépendant peu de la charge,</li> <li>● rendement élevé.</li> </ul> <p>Ceux à <b>bagues</b>, ou à <b>rotor bobiné</b>, permettent d'adapter le couple de démarrage avec le couple résistant de la machine entraînée.</p> <p>Ceux à <b>cage</b>, ou à <b>rotor en court-circuit</b> sont plus robustes et demandent une forte intensité au démarrage.</p> <p>Les <b>moteurs synchrones</b> sont utilisés toutes fois qu'une <b>vitesse constante</b> est nécessaire. Cette vitesse dépend de la <b>fréquence</b> du réseau d'alimentation.</p>
<b>MOTEURS À COURANT CONTINU</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>● à excitation séparée</li> <li>● à excitation en dérivation</li> <li>● à aimant permanent</li> </ul>	 <p>excitation séparée      excitation en dérivation</p> <p>aimant permanent</p>	<p>Les <b>moteurs à courant continu</b> sont employés dans beaucoup d'applications où ils doivent assurer :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● des variations de vitesse,</li> <li>● des démarrages fréquents,</li> <li>● le freinage de la charge.</li> </ul> <p>Ceux à <b>excitation séparée</b>, ou <b>indépendante</b>, peuvent être associés à des <b>variateurs électroniques de vitesse</b> pour des systèmes asservis.</p> <p>Les <b>moteurs à aimant permanent</b> sont utilisés dans les <b>asservissements</b> du fait de leur fort couple et de leur faible inertie.</p>
<b>MOTEURS PAS À PAS</b>		<p>Les <b>moteurs pas à pas</b> permettent la réalisation de déplacements et de positionnements précis.</p>
TRANSFORMATION DE L'ÉNERGIE ÉLECTRIQUE EN ÉNERGIE MÉCANIQUE DE TRANSLATION		
<b>ÉLECTROAIMANTS</b>		<p>Les <b>électroaimants</b> les plus utilisés sont à <b>armature mobile</b>. Ce sont des <b>électroaimants de manœuvre</b> qui font partie d'ensembles mécaniques complets tels que freins, embrayages, ...</p>
TRANSFORMATION DE L'ÉNERGIE PNEUMATIQUE OU HYDRAULIQUE EN ÉNERGIE MÉCANIQUE DE TRANSLATION		
 <p>simple effet (rappel par ressort)      double effet</p>	<p>Les <b>vérins</b> sont des constituants très utilisés dans les automatismes :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● grande robustesse,</li> <li>● montage facile,</li> <li>● gamme dimensionnelle très grande, ...</li> </ul>	
TRANSFORMATION DE L'ÉNERGIE ÉLECTRIQUE EN ÉNERGIE THERMIQUE		
<b>RÉSISTANCES</b>	 <p>Résistance</p> <p>Résistance non inductive, et non capacitive</p>	<p>Les <b>résistances électriques</b> sont constituées avec des matériaux conducteurs, alliages de cuivre (maillechort, constantan) qui présentent une <b>assez grande résistivité</b>.</p>

### 4. CARACTÉRISTIQUES ET CONDITIONS D'EMPLOI DES VÉRINS DOUBLE EFFET

#### ● CARACTÉRISTIQUES

##### ● de fonctionnement

- pression maximale d'utilisation : 10 bars
- pression minimale d'utilisation : 1 bar
- fluide utilisable : air ou gaz neutre filtré, lubrifié ou non
- température de fonctionnement : - 20 °C, + 70 °C

##### ● de construction

- tube : alliage d'aluminium
- piston : joints en élastomère équipé d'aimant permanent
- amortisseur : joints en élastomère servant de clapet de démarrage rapide
- tige : acier XC 38 chromé dur
- fond et nez : alliage d'aluminium

##### ● de conformité : aux normes ISO 6431 et CETOP RP 43P

● **force de poussée et consommation** suivant le tableau ci-dessous établi pour une pression de 6 bars et un taux de charge = 1.

Diamètre du vérin (mm)	32	40	50	63	80	100
Force théorique en sortie de tige (daN)	47	74	115	183	296	462
Force théorique en rentrée de tige (daN)	41	62	97	165	267	415
Consommation pour 10 mm de course (NI) (sortie de tige)	0,056	0,088	0,137	0,218	0,352	0,459

#### Taux de charge

C'est le rapport :

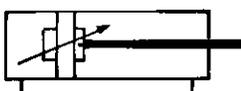
$$\frac{\text{Effort maximal demandé au vérin}}{\text{Effort maximal que le vérin peut produire}}$$

Ce taux, au maximum égal à 1, a dans la pratique une valeur comprise entre 0,5 et 0,8. Une faible valeur prolonge la durée de vie du vérin.

**Normaux litres : NI** : c'est le volume d'air équivalent à la pression de 1 bar ( $P \times V = \text{constante}$ ).

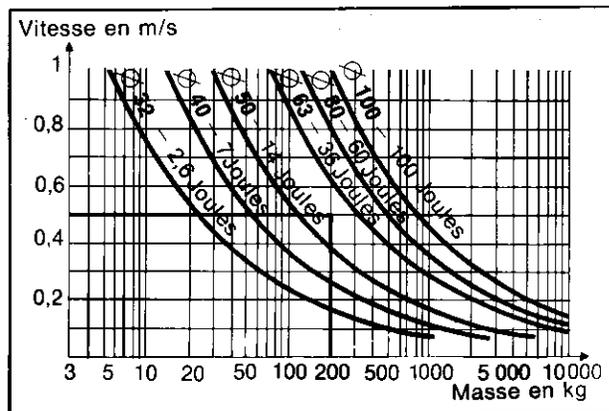
#### ● Capacité d'amortissement

C'est la capacité du vérin de **réduire en fin de course, de façon progressive, la vitesse de l'objet avec lequel il est accouplé**. Cette fonction technique qui est réalisée pneumatiquement, en freinant l'échappement de l'air en fin de course, est souvent nécessaire pour limiter les à-coups dans les mouvements de la chaîne cinématique et ainsi les chocs qui en résultent.



Un vérin avec amortisseur se représente avec le symbole ci-contre.

Le tableau ci-dessous permet de déterminer un vérin par rapport aux nécessités d'amortissement.



#### Exemple :

Dans un mouvement de translation un solide, de masse 200 kg et se déplaçant à 0,5 m/s, est le siège d'une énergie cinétique ( $\frac{1}{2}mv^2$ ). Un vérin de 63 mm de diamètre, avec amortisseur, permet en fin de course de réduire progressivement cette vitesse.

#### ● ENCOMBREMENT

(Exemple suivant tableau 4a)

Ø d'alésage	AM	E	EE	LB	LN	P	TG	VD	WH*
32	22	50	1/8"	94	29	10	37,5	19	26
40	24	60	1/4"	105	30	13	38	20,5	30
50	32	66	1/4"	106	30,5	17	46,5	24,5	37
63	32	80	3/8"	121	37	17	56,5	25	37
80	40	100	3/8"	128	38	22	72	32,5	46
100	40	118	1/2"	138	42	22	89	37,5	51

Ø d'alésage	Ø B	Ø KK	Ø MM	Ø RT
32	30	M10 × 1,25	12	M6
40	35	M12 × 1,25	16	M6
50	40	M16 × 1,50	20	M8
63	45	M16 × 1,50	20	M8
80	45	M20 × 1,50	25	M10
100	55	M20 × 1,50	25	M10

\* Additionner la longueur de la course à cette cote.  
 (1) 4 avant-trous sont prévus sous l'appareil pour la fixation directe sur le support.  
 Ces vérins ont des courses de 50, 80, 100, 125, 160, 200, 250, 320, 400 mm.

4a. Encombrement des vérins double effet avec piston magnétique et amortissement pneumatique (Télemécanique).

## 5. CARACTÉRISTIQUES ET CONDITIONS D'EMPLOI DES MOTEURS PAS À PAS

### ● CARACTÉRISTIQUES

Un moteur pas à pas est un moteur de type synchrone qui effectue une fraction de tour, ou pas, pour chaque impulsion électrique reçue.

Exemples :

- rotation de  $1,8^\circ$  par pas soit 200 pas par tour
- rotation de  $0,72^\circ$  par pas soit 500 pas par tour

Le nombre de pas par tour est fonction :

- du **nombre de phases** ou nombre de groupes de bobines,
- du **nombre de pôles** du rotor et du stator,
- de la **séquence des commutations** des différentes phases.

### ● DIFFÉRENTS TYPES DE MOTEURS

- **Moteur à réluctance variable** (fig. 5a)

Après l'alimentation d'une phase du stator, le rotor se positionne pour permettre le **trajet minimal aux lignes de force du circuit magnétique**. La **réluctance du circuit magnétique est alors minimale**.

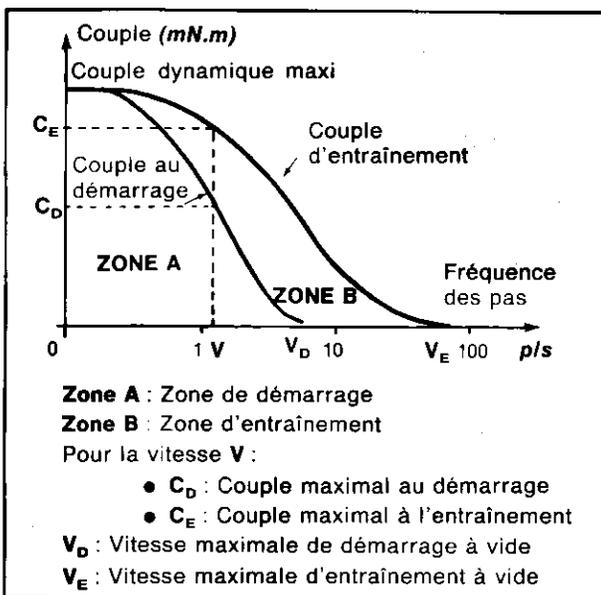
- **Moteur à aimant permanent** (fig. 5b)

Le rotor qui est un simple aimant permanent se positionne par rapport à la phase alimentée suivant les **lois d'attraction et de répulsion des pôles d'aimants**.

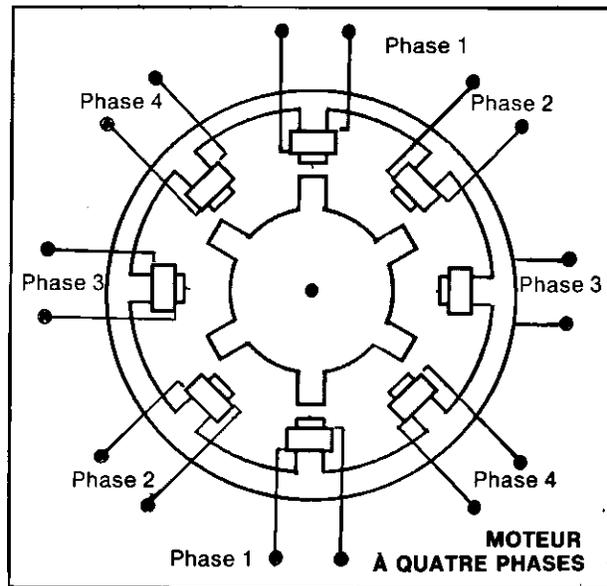
- **Moteur hybride** (fig. 5c)

Sa conception est une combinaison des deux types précédents, le rotor est un **aimant cylindre à magnétisation axiale**. Il offre un nombre élevé de pas par tour, jusqu'à 500 pas.

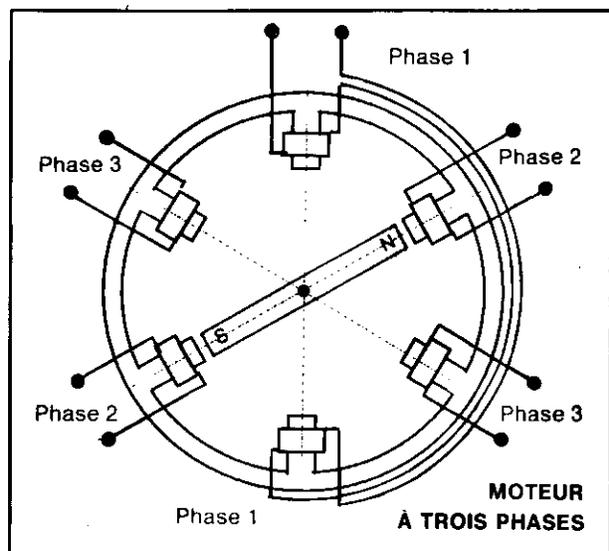
La figure 5 représente l'allure générale des courbes du **couple dynamique, de démarrage et d'entraînement**, d'un moteur pas à pas en fonction de la **vitesse** exprimée en **pas par seconde**.



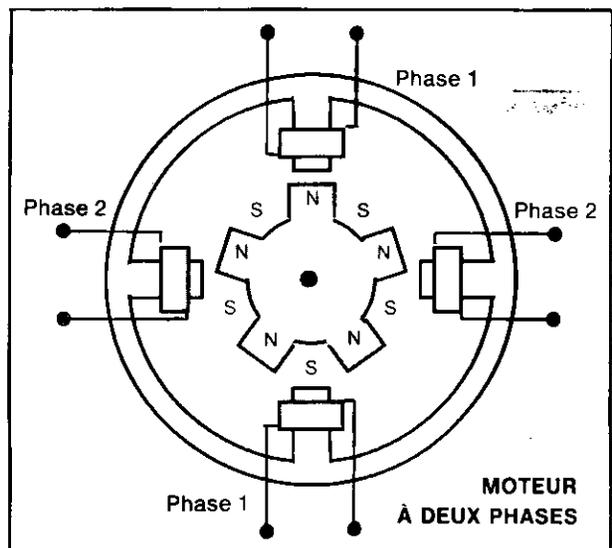
5d. Courbes du couple en fonction de la vitesse.



5a. Principe d'un moteur pas à pas à réluctance variable.



5b. Principe d'un moteur pas à pas à aimant permanent.



5c. Principe d'un moteur pas à pas hybride.

## 6. CARACTÉRISTIQUES ET CONDITIONS D'EMPLOI DES ÉQUIPEMENTS DE COMMANDE DE PUISSANCE DES MOTEURS ÉLECTRIQUES

### ● FAMILLES D'ÉQUIPEMENTS

Les machines et installations de production sont, dans leur quasi-totalité, équipées de moteurs électriques. Ces actionneurs sont reliés au réseau de distribution de l'énergie électrique par des **équipements de commande de puissance** de technologie électromécanique ou électronique.

Deux grandes familles de solutions sont envisageables pour commander les moteurs :

● **équipements à base de contacteurs avec ou sans démarreur**, fonctionnant en « tout ou rien », pour une **vitesse sensiblement constante** qui n'a pas besoin d'être asservie; pour des procédures d'arrêt ou de ralentissement, des équipements électroniques complémentaires peuvent leur être associés.

● **équipements à base de variateurs électroniques**, utilisés lorsque la **vitesse** du moteur doit être **asservie à une consigne**, lorsqu'un positionnement précis et rapide est nécessaire, lorsqu'une trajectoire donnée doit être suivie.

### ● ÉQUIPEMENTS À VITESSE FIXE suivant tableau 6a

TYPE DE DÉMARRAGE	TYPE DE MOTEUR	TECHNOLOGIE DE L'ÉQUIPEMENT
DIRECT 1 OU 2 SENS DE MARCHÉ	MOTEURS ASYNCHRONES TRIPHASÉS À CAGE	Électromécanique Démarrage « tout ou rien » sous pleine tension
EN DEUX OU PLUSIEURS PALIERS SUCCESSIFS	MOTEURS À CAGE SPÉCIAUX (prises ou enroulements multiples)	Électromécanique à échelons de tension : ● à enroulements partiels, ● en étoile-triangle, ● par auto-transformateur, ● par démarreur statorique.
	MOTEURS À BAGUES	Rotorique
DÉMARRAGE ET RALENTISSEMENT PROGRESSIFS	MOTEURS ASYNCHRONES TRIPHASÉS À CAGE	Électromécanique et électronique à rampe de tension réglable (Démarreur et ralentisseur électronique).

6a. Équipements de démarrage à vitesse fixe.

### ● ÉQUIPEMENT À VITESSE VARIABLE

Suivant les moteurs qu'ils commandent ces équipements permettent :

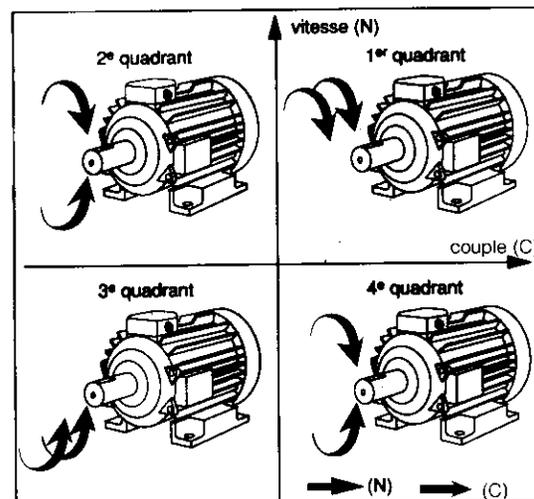
- l'inversion du sens de marche avec ou sans freinage,
- la marche à couple constant ou à puissance constante,

### ● la récupération de l'énergie cinétique dans des machines dites réversibles.

Ces variateurs se distinguent suivant leurs possibilités d'emploi dans les **quadrants** définis par les relations de sens vitesse-couple (fig. 6b).

Exemple :

Le variateur de vitesse type **ALTIVAR 5** de Télémécanique est un convertisseur de fréquence qui permet d'alimenter un moteur asynchrone triphasé à cage avec deux sens de marche, accouplé à une machine à couple résistant constant, d'où un fonctionnement dans les quadrants 1 et 3.



6b. Quadrants d'exploitation d'un moteur.

## 7. CRITÈRES DE CHOIX D'UN ACTIONNEUR

Les principaux critères à prendre en compte pour le choix d'un actionneur sont :

- **Cahier des charges :**
  - nature des mouvements des effecteurs,
  - précision dans les mouvements,
  - puissance, couple, vitesse,
  - inertie au changement d'état (constante de temps),...
- **Conditions d'influences externes :**
  - température,
  - présence de corps solides,
  - chocs, vibrations,...
- **Conditions d'implantation matérielle dans le système automatisé :**
  - place disponible,
  - poids,
  - moyens de fixation,...
- **Évaluation des coûts :**
  - d'acquisition,
  - d'installation,
  - d'exploitation,
  - de maintenance,...

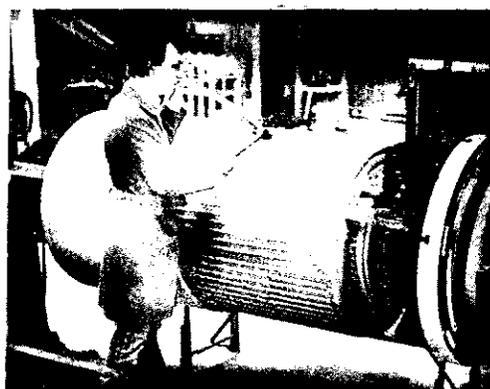
# CINQUIÈME PARTIE

## CHOIX D'UNE FORME DE MAINTENANCE

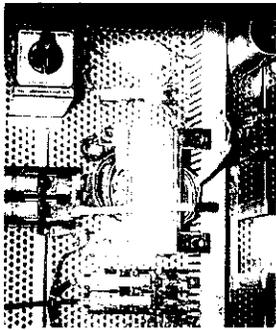
- MAINTENANCE PRÉVENTIVE
- MAINTENANCE CORRECTIVE
- ANALYSE DES INFORMATIONS : LOI DE PARETO
- ANALYSE DES COÛTS DE MAINTENANCE
- GESTION DE LA MAINTENANCE ASSISTÉE PAR ORDINATEUR

Les contenus proposés dans cette cinquième partie représentent les **ressources nécessaires** à l'acquisition des **savoirs et des savoir-faire technologiques** de la maintenance par un développement progressif des **capacités** :

- de **réaliser la saisie et le traitement** des **paramètres** relatifs au choix d'une forme de maintenance, avec l'application éventuelle de la **loi de Pareto** ;
- **d'organiser une intervention de maintenance préventive ou corrective** ;
- de **réaliser les opérations** relatives aux visites, aux dépannages, aux réparations, aux démontages et montages ;
- **d'établir** sous une forme claire et concise le **compte-rendu d'intervention** ;
- **d'exploiter un compte-rendu** :
  - d'analyse vibratoire,
  - d'analyse d'huiles,
  - d'analyse thermographique infrarouge ;
- **d'analyser les coûts de maintenance** et d'en justifier l'étude ;
- **d'exploiter** les ratios économiques ;
- de **proposer des solutions** pour la réduction des coûts de maintenance ;
- de **réaliser la saisie** des éléments d'un **système de GMAO** ;
- **d'exploiter les éditions d'un système de GMAO**.



Maintenance préventive ou maintenance corrective ? Il faut choisir.

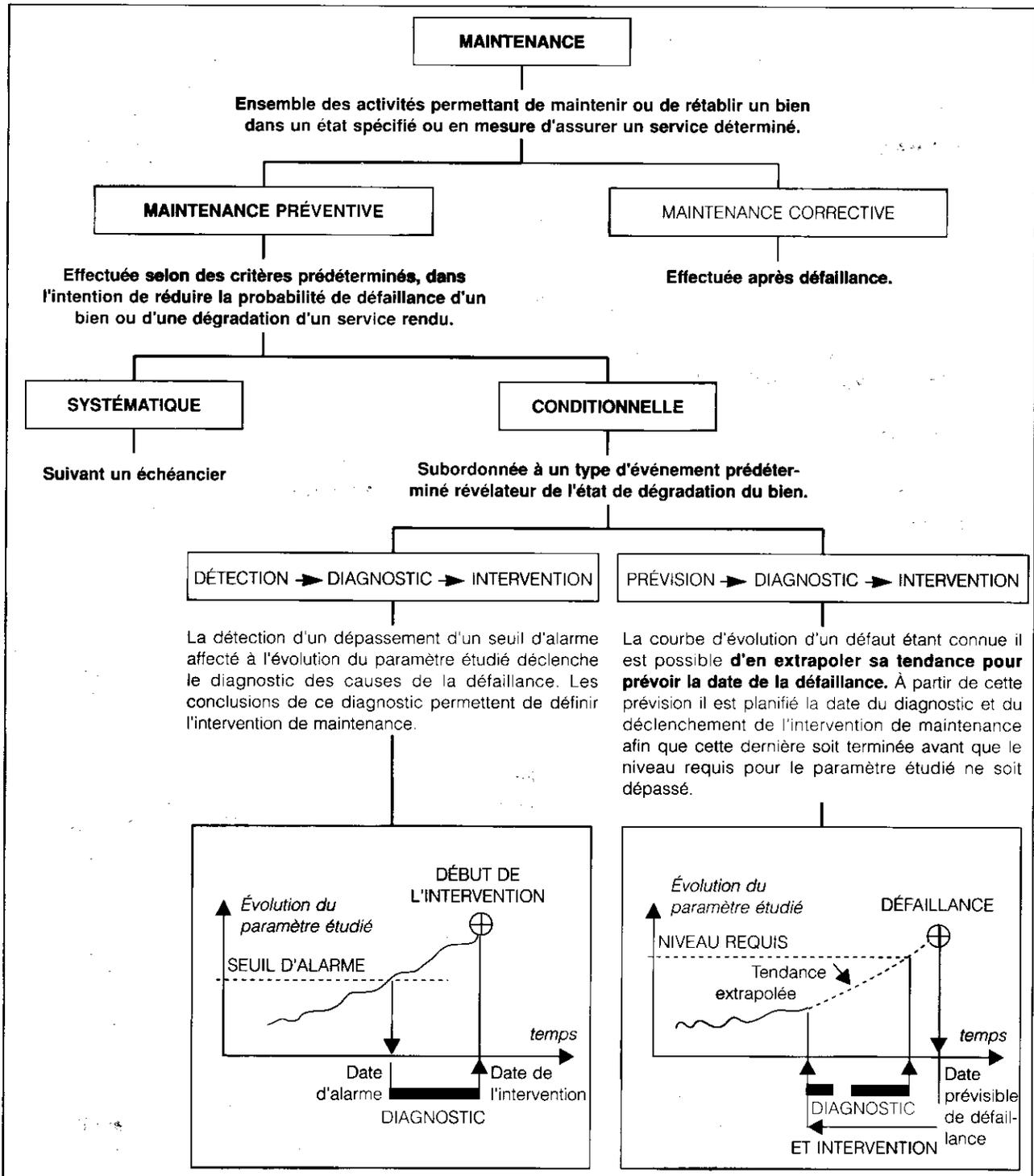


De la nécessité de prévoir les points chauds sur les matériels.

# 26

## MAINTENANCE PRÉVENTIVE

### 1. ORGANISATION DE LA MAINTENANCE PRÉVENTIVE (fig. 1a – voir pages 8 à 10)



1a. Organisation de la maintenance préventive.

## 2. OPÉRATIONS DE LA MAINTENANCE PRÉVENTIVE

Les opérations relatives à la maintenance préventive peuvent être regroupées en trois grandes familles :

- les inspections,
- les contrôles,
- les visites.

Ces trois grandes familles d'opérations sont bien représentatives de l'ensemble des activités nécessaires pour bien maîtriser l'évolution de l'état réel du bien. Elles peuvent être effectuées de manière continue ou à des intervalles, prédéterminés ou non, calculés sur le temps ou le nombre d'unités d'usage.

*Exemple :*

*Une inspection de matériel de transport peut se faire tous les ans alors qu'une visite sur un moto-compresseur est programmée toutes les trois cents heures de fonctionnement. Dans le premier cas la périodicité est exprimée par rapport au temps, dans le second par rapport à une unité d'usage, l'heure de fonctionnement.*

### ● INSPECTION

**C'est une activité de surveillance s'exerçant dans le cadre d'une mission définie.** Elle n'est pas obligatoirement limitée à la comparaison avec des données préétablies. Pour la maintenance, cette activité peut s'exercer notamment au moyen de rondes.

*Exemples :*

- *Inspection des matériels de lutte contre l'incendie dans une entreprise.*
- *Inspection des moyens de protection contre les risques d'accidents dans une menuiserie industrielle.*
- *Inspection de l'état des élingues et des cordages utilisés sur un chantier de manutention portuaire.*

Ces activités d'inspection sont en général exécutées **sans outillage spécifique** et ne nécessitent **pas d'arrêt de l'outil de production ou des équipements.**

### ● VISITE

**C'est une opération de maintenance préventive qui se traduit par un examen détaillé et prédéterminé de tout ou partie du bien.**

*Exemples :*

- *Visite périodique des ascenseurs dans les immeubles d'habitation.*

- *Visite périodique des organes moteurs d'un véhicule de transport.*

- *Visite périodique des équipements électriques et mécaniques des engins de levage dans un hall de montage.*

Ces activités de visite peuvent :

- entraîner des **démontages partiels** des éléments à visiter et de ce fait conduire à une **immobilisation du matériel** ;

- déboucher sur des opérations de maintenance corrective.

### ● CONTRÔLE

**Ces activités de contrôle correspondent à des vérifications de conformité par rapport à des données préétablies, suivies d'un jugement.**

*Exemples :*

- *Contrôle du niveau d'isolement électrique d'une installation à basse tension par rapport à la norme NF C15-100.*

- *Contrôle du jeu fonctionnel dans une liaison mécanique par rapport aux spécifications du dessin technique.*

- *Contrôle de la longueur des balais d'une machine tournante à courant continu par rapport à la valeur spécifiée par le service méthodes de l'entretien.*

Le contrôle peut :

- comporter une **activité d'information**,
- inclure une **décision** : acceptation, rejet, ajournement,
- déboucher sur des **actions correctives.**

La périodicité du contrôle peut être :

- **constante** durant la phase de fonctionnement normal du matériel,

- **variable**, et de plus en plus courte, dès que le matériel entre dans sa **phase d'usure.**

Dans des systèmes automatisés importants les moyens matériels mis en œuvre pour ces contrôles sont intégrés au processus d'exploitation du matériel par une saisie directe des informations sur le site, suivie de leur mise en forme et de leur traitement dans des centrales de mesures.

*Exemples :*

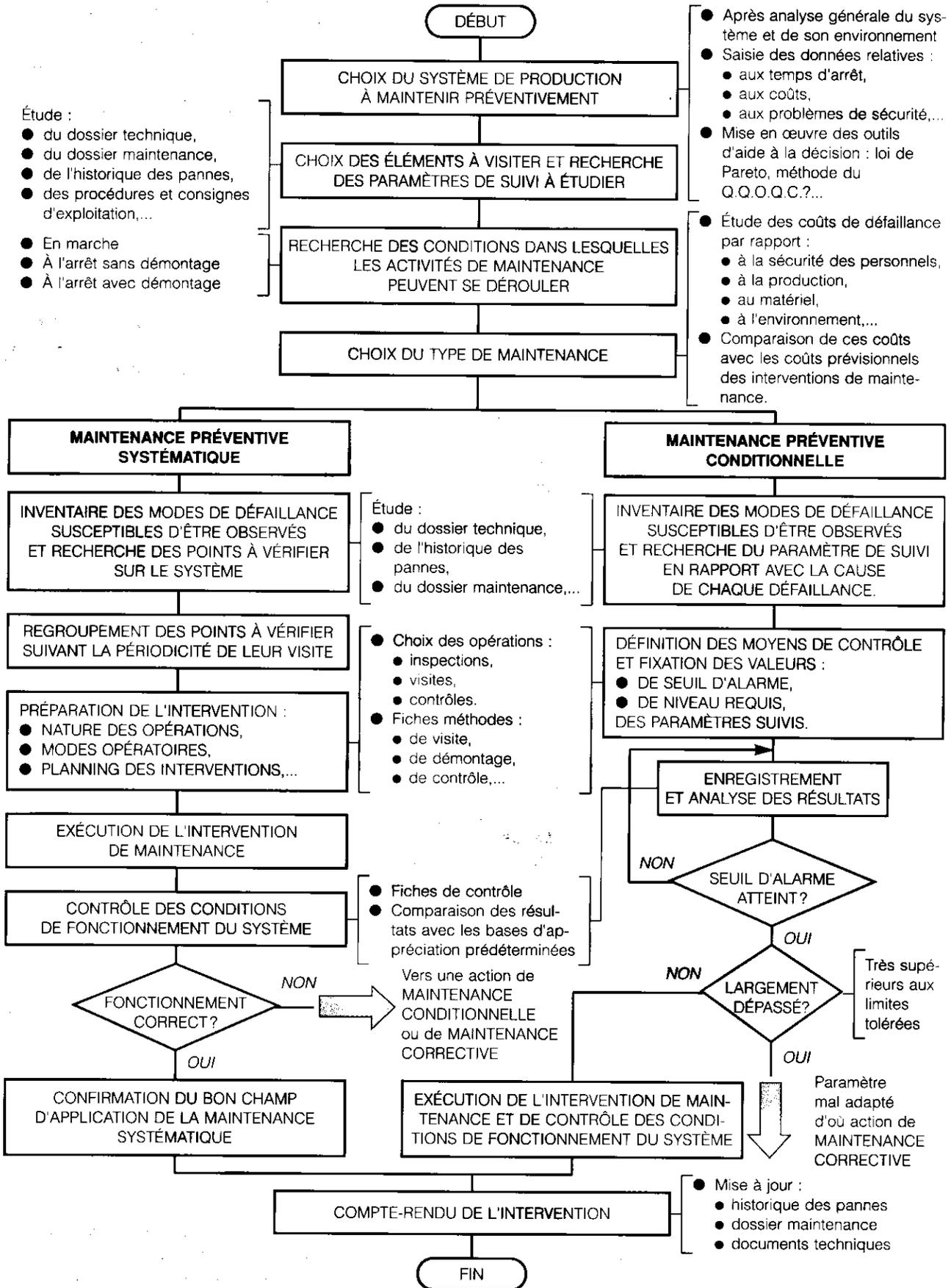
- *Contrôle permanent et automatique du fonctionnement d'une unité de raffinage.*

- *Contrôle centralisé des vibrations sur les machines tournantes d'un train de laminoirs.*

- *Contrôle centralisé des températures dans une installation de traitements thermiques.*

### 3. MISE EN ŒUVRE D'UNE ACTION DE MAINTENANCE PRÉVENTIVE

Suivant fig. 3a.



3a. Mise en œuvre d'une action de maintenance préventive.

### 4. O...

Les ou...  
matique...  
nature...  
a défin...  
Ils son...  
ments...

- 
- 
- 

### • FIG

C'est...  
nance...  
ours...  
familles...

- 
- 

verifier

- 
- 

- 
- 

mesure

- 

mainten

tant un

VISITE
MATER
N°
1
2
3

20
21
PRÉV

4a. Exe

#### 4. OUTILS DE LA MAINTENANCE PRÉVENTIVE SYSTÉMATIQUE

Les outils de la maintenance préventive systématique sont nombreux pour tenir compte de la **nature de l'intervention** et du **degré d'analyse** qui la définit.

Ils sont établis à partir des informations des documents de suivi des matériels :

- dossier matériel,
- dossier historique des pannes,
- guide d'entretien,...

#### ● FICHE DE VISITE

C'est le document le plus important dans la maintenance préventive systématique (fig. 4a). Il doit toujours comporter, avec plus ou moins de détails, les familles d'informations relatives à :

● **l'identification du matériel sur lequel l'intervention est à exécuter :**

- désignation,
- repère topographique,
- constructeur,
- référence de son dossier matériel,...

● **l'identification de l'intervention :**

- nature,
- fréquence,
- durée,...

● **la description du mode opératoire :**

- liste ordonnée des opérations,
- outillage nécessaire,
- schémas explicatifs,
- valeurs de référence des grandeurs mesurées,...

● **les résultats de la visite :**

- date,
- nom de l'agent de maintenance,
- remarques, constatations de l'agent de maintenance,
- prévisions d'interventions futures présentant un caractère exceptionnel et urgent,...

#### ● PLANNING DES INTERVENTIONS

Jusqu'à un **horizon** donné ce planning récapitule l'ensemble des visites relatives à un même matériel, ou à une famille de matériels, ou à l'ensemble des matériels d'un même secteur de production (fig. 4b).

MATÉRIELS À ENTREtenir	CALENDRIER (en mois)													
	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M
MATÉRIEL A	▽							▽					○	
MATÉRIEL B	■			■			■			■			■	
MATÉRIEL C	▽	■			▽			■			▽			
Légende :												■	: visite trimestrielle	
												▽	: visite semestrielle	
												○	: visite annuelle.	

4b. Exemple de planning des interventions.

La connaissance préalable de la nature des visites, de leur périodicité, de leur durée est indispensable pour une recherche optimale de leur programmation afin :

● de **réduire la durée de l'indisponibilité** des matériels,

● d'**équilibrer dans une même période**, semaine, décade ou mois, ... la **charge** des activités de maintenance ce qui permet une meilleure gestion du personnel concerné.

#### ● ORDRE DE TRAVAIL

L'ordre de travail est le **document qui déclenche une intervention de maintenance**. Il précise à un intervenant, ou à une équipe d'intervenants, la nature des travaux. Il accompagne d'autres documents du service méthodes qui apportent l'ensemble des informations techniques.

VISITE TRIMESTRIELLE			Date :	Durée :	N° de
MATÉRIEL :		IMPLANTATION :		DOSSIER :	
N°	OPÉRATIONS	OUTILLAGE	DÉTAIL DES OPÉRATIONS		REMARQUES
1					
2					
3					
20					
21					
PRÉVISION D'INTERVENTION :			Nom du visiteur :		
			Signature :		

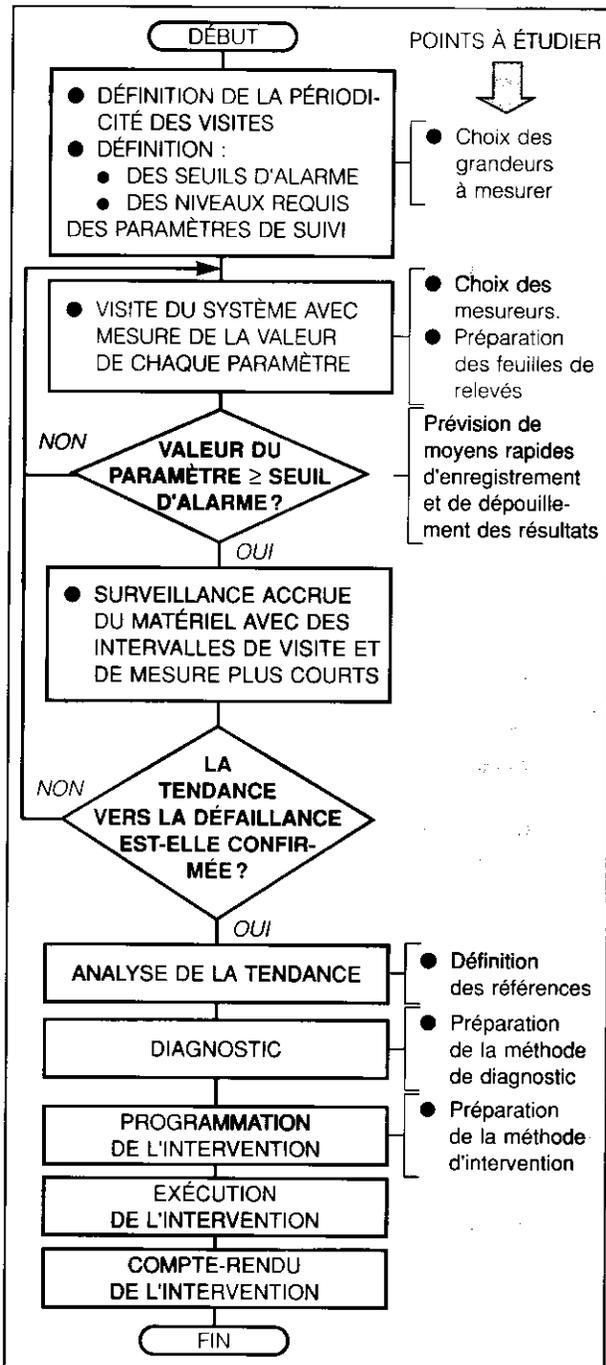
4a. Exemple de fiche de visite.

### 5. OUTILS DE LA MAINTENANCE PRÉVENTIVE CONDITIONNELLE

Cette méthode basée sur l'étude de l'évolution d'un ou de plusieurs paramètres, nécessite la mise en œuvre :

- de moyens de mesure et d'analyse,
- de supports d'enregistrement des résultats,
- de bases de référence pour leur étude.

Les outils de la maintenance préventive conditionnelle sont les **méthodes de mesure** qui peuvent être mises en œuvre sur les matériels avec les mesureurs et les documents méthodes qui les accompagnent (fig. 5a).

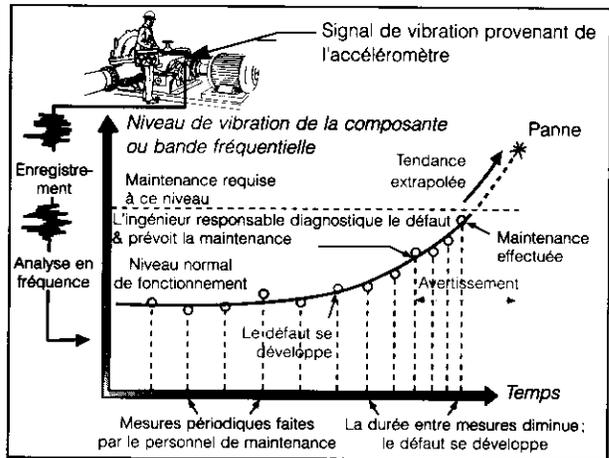


5a. Organisation de la maintenance préventive conditionnelle et points à étudier pour sa mise en œuvre.

### 6. SUIVI VIBRATOIRE DES MACHINES

La **surveillance des vibrations** d'une machine permet de **prévenir la panne** et réduit les coûts de la maintenance corrective. Le principe général d'une telle surveillance est donné fig. 6a.

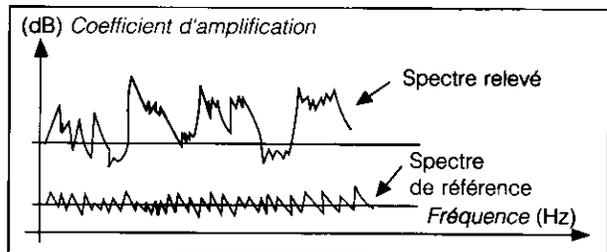
Cet outil de maintenance préventive conditionnelle trouve son champ d'application sur de nombreuses machines comportant des rotors, des turbines, des roues à aubes,...



6a. Principe de la surveillance vibratoire d'une machine (suivant Brüel et Kjaer France).

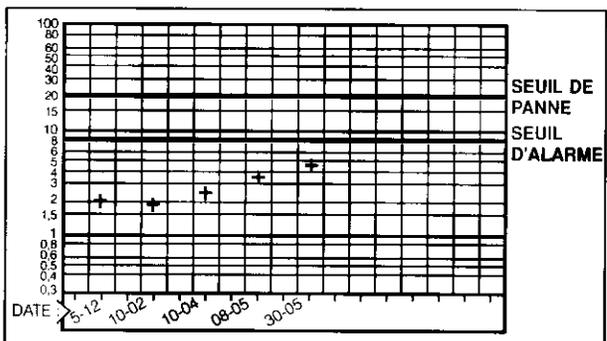
En comparant le **spectre des vibrations** à un **spectre référence** le spécialiste peut déceler :

- la dégradation de l'état de fonctionnement de la machine,
- et par une analyse plus fine le constituant défectueux (fig. 6b).



6b. Comparaison entre les deux spectres de vibrations.

Pour un paramètre donné, vitesse ou accélération, la fiche de visite permet l'enregistrement des valeurs mesurées et le suivi de leur évolution par rapport aux **deux seuils, alarme et panne** (fig. 6c).



6c. Enregistrement des valeurs mesurées.

## 7. LUBRIFICATION ET GRAISSAGE

### ● BUT DE LA LUBRIFICATION

La **lubrification** permet :

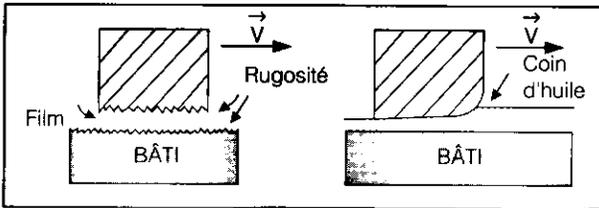
- de **diminuer les résistances passives** dues au frottement entre les pièces en mouvement,
- de **limiter l'élévation de température** en favorisant la dissipation de la chaleur provoquée par le frottement,
- de **réduire l'usure des pièces**,
- d'**améliorer l'étanchéité**.

Dans la lubrification **hydrodynamique** il se forme entre les deux pièces en contact un **film d'huile** (fig. 7a).

Pour certaines conditions de :

- pression de contact,
- vitesse de glissement,
- viscosité du lubrifiant,

il se forme entre les deux pièces un **coin d'huile** (fig. 7a).



7a. Existence d'un film d'huile et formation d'un coin d'huile.

### ● CARACTÉRISTIQUES D'UN LUBRIFIANT

La **viscosité d'un fluide est la résistance qu'il oppose au glissement interne de ses molécules au cours de son écoulement. C'est son aptitude à pouvoir s'écouler plus ou moins facilement.**

Elle s'exprime en :

- **viscosité dynamique** :  $\eta = \frac{F \ell}{Sv}$  en Pa/s

avec : **F** : Force de frottement en newtons (N)

**S** : Section d'écoulement du fluide en m<sup>2</sup>

**ℓ** : Longueur du canal d'écoulement en m

**v** : Vitesse d'écoulement en m/s.

- **viscosité cinématique** :  $\nu = \frac{\eta}{\rho}$  en m<sup>2</sup>/s

avec : **η** : viscosité dynamique en Pa/s

**ρ** : masse volumique du fluide.

La viscosité cinématique est également exprimée en :

- **stockes (St)** = 10<sup>-4</sup> m<sup>2</sup>/s
- **centistockes (cst)** = 10<sup>-6</sup> m<sup>2</sup>/s.

La viscosité varie avec la température, elle est donnée pour une température de référence de 40°C. D'autres caractéristiques telles que :

- **stabilité chimique**,
- **point éclair**, température d'inflammation des vapeurs du fluide,

- **point de congélation**, température à laquelle le fluide refroidi ne coule plus,...
- sont importantes pour le choix d'un lubrifiant.

### ● CHOIX D'UN LUBRIFIANT

Le **choix d'un lubrifiant** doit prendre en compte les conditions fonctionnelles du mécanisme à lubrifier en particulier :

- la **température de fonctionnement**,
- les **efforts de pression**,
- les **vitesse relatives de déplacement**,
- les **conditions d'environnement**.

Ses conditions sont satisfaites par deux grandes familles de lubrifiants :

- les **huiles**, à l'état liquide,
- les **graisses**, à l'état pâteux.

#### ● HUILES INDUSTRIELLES

Elles sont d'**origine minérale** présentant après raffinage des propriétés améliorées telles que :

- protection contre la corrosion,
- antimooussage,
- antiusure,...

Classées suivant la norme **NF T60-141**, avec une indice numérique qui est la valeur nominale de la **viscosité à 40°C** exprimée en **centistockes**, elles sont désignées par leur indice **ISO-VG (VG : Viscosité Grade)**, et ont des applications bien spécifiées (fig. 7b).

EMPLOI DES HUILES	ISO-VG
<b>HUILES DE LUBRIFICATION</b>	
● avec des conditions normales de charge	46 - 48 - 100
● avec des conditions très chargées	220 - 460
● pour des broches à grande vitesse	5 - 10 - 15
● pour des glissières chargées	68 - 100 - 150
<b>HUILES POUR COMMANDES HYDRAULIQUES</b>	
● pour circuit de commande	32 - 46 - 68

7b. Exemples d'emploi des huiles avec leur indice ISO-VG.

#### ● GRAISSES INDUSTRIELLES

Les **graisses industrielles** sont composées :

- d'**huile**,
- de **gélifiants** ou **épaississants**,
- d'**additifs** solubles pour améliorer leur qualité, d'antiusure, d'anti-oxydation, et d'anticorrosion,...

Les graisses sont choisies en fonction de :

- de leur **viscosité**,
- de leur **consistance**,
- de leur **point de goutte** caractérisé par la température à laquelle la première goutte se détache et tombe.

Exemple :

Pour des roulements utilisés dans des applications industrielles générales SKF préconise une graisse constituée d'une huile minérale plus du savon de lithium, utilisable entre -30 et +120°C,

### 8. ANALYSE D'HUILE

#### ● TECHNIQUES D'ANALYSE

Les techniques actuelles d'analyse d'huile permettent d'obtenir des renseignements précieux sur l'état d'une huile, directement exploitables par le service maintenance de l'entreprise.

Ces renseignements concernent :

- la **dégradation de l'huile**, conséquence de l'action de la température et de l'oxygène de l'air entraînant l'altération de ses caractéristiques et la formation de dépôts;

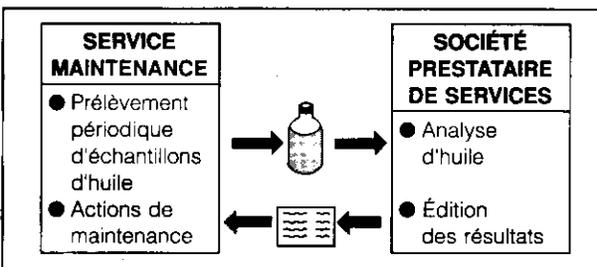
- la **contamination de l'huile** provoquée par :
  - des **particules solides** conséquences de l'usure d'éléments mécaniques ou issues du milieu ambiant (poussières, sable,...),

- la **présence d'eau ou de polluants solubles** (hydrocarbures, solvants,...).

Les différentes techniques d'analyse d'huile sont présentées fig. 8a.

Les **techniques** mises en œuvre pour l'analyse d'huile sont **relativement complexes**, et nécessitent pour certaines un matériel spécifique et onéreux dont l'investissement ne serait pas justifié dans le service maintenance d'une entreprise.

C'est pourquoi une action de maintenance préventive conditionnelle utilisant l'analyse d'huile est **généralement sous-traitée** (fig. 8b).



8b. L'analyse d'huile est généralement sous-traitée.

#### ● ANALYSE D'HUILE : OUTIL DE LA MAINTENANCE PRÉVENTIVE CONDITIONNELLE

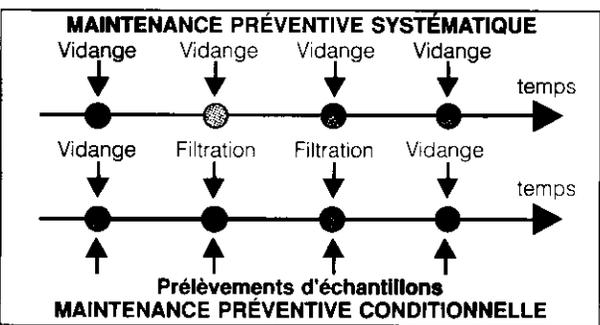
La mise en œuvre de cet outil consiste à **prélever périodiquement des échantillons d'huile** et à exploiter les résultats de leur analyse qui peuvent justifier les interventions suivantes :

- **remplacement ou non de l'huile**,
- ou sa **filtration** permettant une économie par rapport à une vidange périodique systématique (fig. 8c);

- **suivi de l'usure** de certains éléments en fonction de la nature et de la concentration des particules solides contenues dans l'huile et arrachées à ces mêmes éléments.

Le nombre et la taille des particules conduisent, en particulier, à apprécier la qualité des systèmes de filtration et la compatibilité de la pollution particulaire solide avec les jeux mécaniques des composants hydrauliques.

*Exemple :*  
 Un système hydraulique utilisant une technologie à commande proportionnelle, présente des exigences plus sévères, quant à la pollution particulaire solide de l'huile, qu'un système hydraulique à commande tout ou rien.



8c. Économie réalisée par une maintenance préventive conditionnelle basée sur l'analyse d'huile.

TECHNIQUES D'ANALYSE D'HUILE				
DÉGRADATION	CONTAMINATION			
	PARTICULAIRE SOLIDE			EN EAU ET POLLUANTS SOLUBLES
<b>ANALYSE PHYSICO-CHIMIQUE</b> (mesures et essais spécifiques)  Détermination des paramètres suivants : ● viscosité et indice de viscosité, ● acidité, ● point éclair, ● tenue en eau, ● teneur en additifs actifs,...  ↓ QUALITÉ DES PROPRIÉTÉS	<b>COMPTAGE PARTICULAIRE</b>  ↑ μm 1000 100 10 1 0,1 Nombre et tailles des particules ≥ 0,8 μm (souvent > 5 μm)	<b>SPECTROMÉTRIE</b>  Nature et concentration des particules < 10 μm	<b>FERROGRAPHIE</b>  Nature et concentration des particules de taille de 1 μm à 1 mm	● <b>PHOTOMÉTRIE</b> : Observation de l'opacité d'une goutte d'huile étalée sur un papier filtre et comparaison avec des éléments de référence. ● <b>CHROMOTOGRAPHIE</b> : Isolation du produit polluant par passage à travers un milieu poreux adapté. ● <b>SPECTROGRAPHIE</b> : Méthode optique utilisant des rayons infrarouges ou ultraviolets.
	(Suivant la taille des particules de 0,1 à 1000 μm)			
	↓ DEGRÉ DE POLLUTION PARTICULAIRE SOLIDE			
RÉSULTATS :				
DIAGNOSTIC (Origines de la dégradation et de la contamination)				

8a. Techniques d'analyse d'huile et résultats associés.

### 9. ORGANISATION DU GRAISSAGE

#### ● EN MAINTENANCE PRÉVENTIVE SYSTÉMATIQUE

Dans ce cas l'organisation doit :

- élaborer des **fiches de graissage** par matériels,
  - un **planning des visites**,
- en précisant dans chaque cas :
- la fréquence du graissage,
  - la nature du lubrifiant,
  - ses caractéristiques de viscosité.

Pour visualiser ces différentes consignes il est souhaitable d'utiliser des **symboles normalisés** (fig. 9a).

FRÉQUENCE			COULEUR
			Rouge : CB. pignons Noir : CC. pignons Blanc : FD. broche
			Bleu : HL. hydraulique Vert : HG. Commande Violet : XM. Graisse

9a. Exemples de symboles et de couleurs pour les points de graissage.

#### ● EN MAINTENANCE PRÉVENTIVE CONDITIONNELLE

Suivant l'exploitation des résultats d'analyse d'huile.

#### ● PAR LA MISE EN ŒUVRE DE DISPOSITIFS AUTOMATIQUES

Ces dispositifs peuvent être :

- **individuels** : graisseur automatique chargé pour 3, 6 ou 12 mois avec un pas de lubrification journalier ou hebdomadaire,
- **centralisés** à partir d'une centrale de graissage.

### 10. THERMOGRAPHIE INFRAROUGE

#### ● PRINCIPE

Son principe est basé sur la collecte des radiations thermiques invisibles émises par les objets et leur restitution sous forme d'images appelées thermogrammes.

Un **thermogramme**, véritable **cartes des températures**, permet de visualiser les **points chauds** de l'objet, souvent conséquences d'un mauvais fonctionnement.

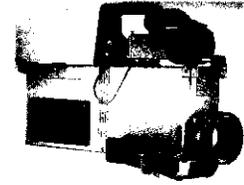
Une **caméra thermographique portable** permet d'enregistrer les thermogrammes ainsi que les données nécessaires au calcul des températures : température extérieure, distance de mesure,... (fig. 10a).

#### ● CHAMP D'APPLICATION

Outil de la maintenance préventive conditionnelle, la thermographie s'applique :

- aux **installations et équipements électriques** dans lesquels tout point chaud dû :
  - à un desserrage de connexion,
  - à une oxydation,
  - à une défectuosité de composant, devient la cause d'une défaillance;
- aux **équipements mécaniques** où tout dégagement de chaleur dû :

- à des frictions dans des roulements défectueux,
  - à une mauvaise lubrification,
  - à un mauvais alignement,
- sont également causes de défaillance.



10a. Caméra thermographique portable.

### 11. TOTAL PRODUCTIVE MAINTENANCE DU TPM ET TAUX DE RENDEMENT SYNTHÉTIQUE

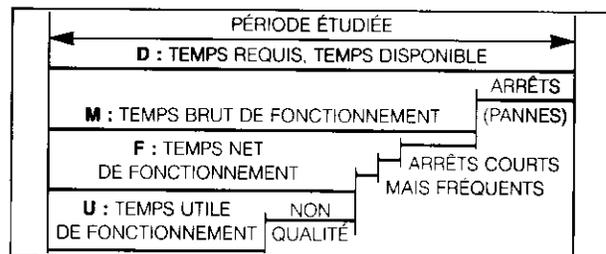
La **méthode TPM** qui est une méthode japonaise responsabilise tous les acteurs de la production à la maintenance de leur équipement.

C'est ainsi qu'elle délègue à l'exécutant toutes les tâches de premier niveau :

- nettoyages,
- petits réglages,...
- lubrification,

L'objectif de la **TPM** est de rechercher l'amélioration de la disponibilité des matériels par une analyse détaillée :

- de leurs temps productifs,
- et de leurs temps non productifs (fig. 11a).



11a. Temps productifs et temps non productifs.

D'où l'étude et l'analyse des ratios suivants :

● **taux brut de fonctionnement** :  $\frac{M}{D}$  son amélioration implique la réduction des temps d'arrêt pour maintenance;

● **taux de performance** :  $\frac{F}{M}$  son amélioration implique la réduction des petits temps d'arrêt liés à la production,

● **taux de qualité** :  $\frac{U}{F}$  son amélioration implique la réduction des pièces mauvaises ou à retoucher.

Le **taux de rendement synthétique TRS** est égal au produit des trois ratios précédents.

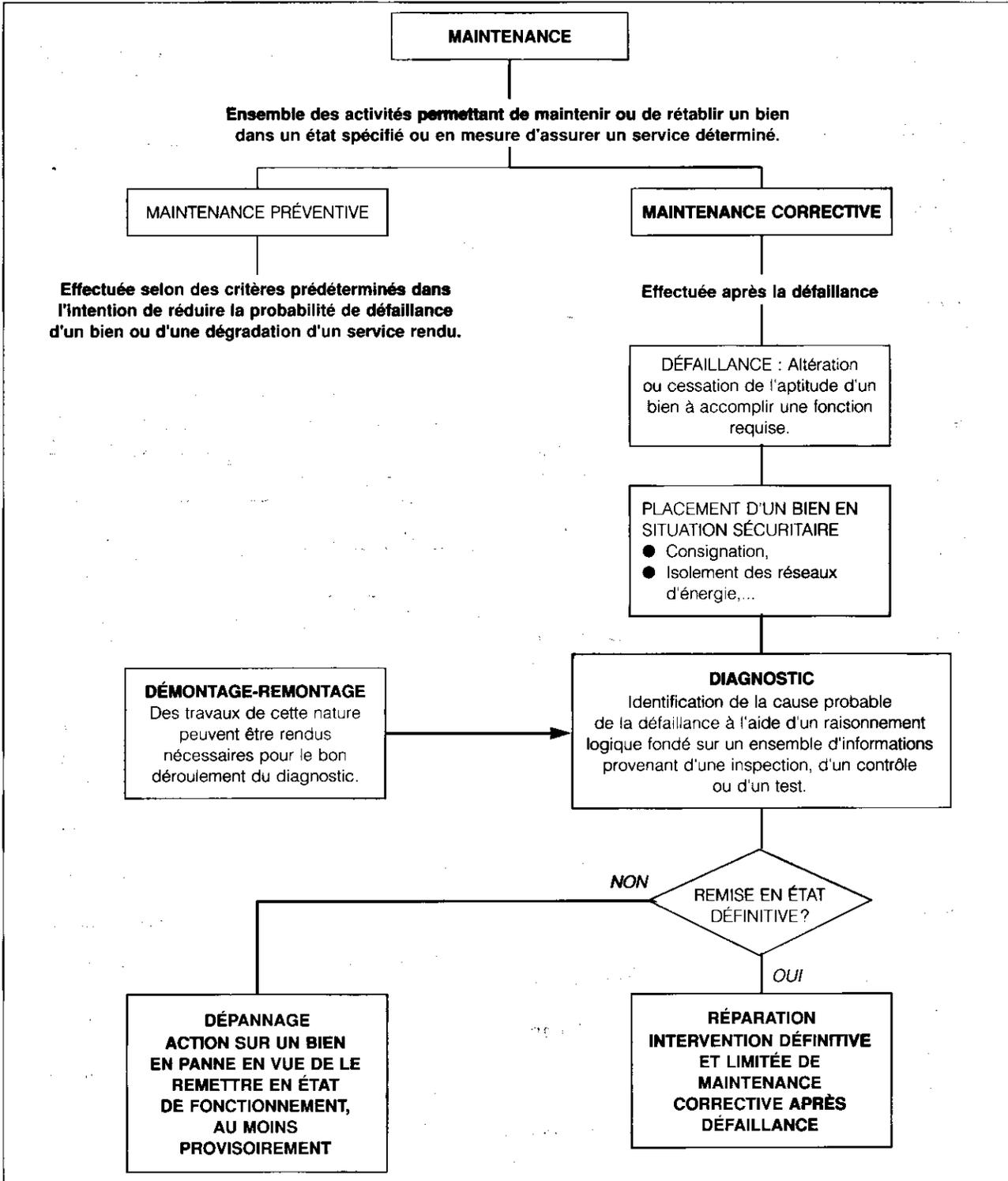
$$TRS = \boxed{\text{TAUX BRUT DE FONCTIONNEMENT}} \times \boxed{\text{TAUX DE PERFORMANCE}} \times \boxed{\text{TAUX DE QUALITÉ}}$$

Le **TRS est un indicateur précieux** sur la disponibilité d'un matériel et également sur la qualité et l'efficacité des méthodes d'exploitation et de maintenance qui s'y rapportent.

# 27

## MAINTENANCE CORRECTIVE

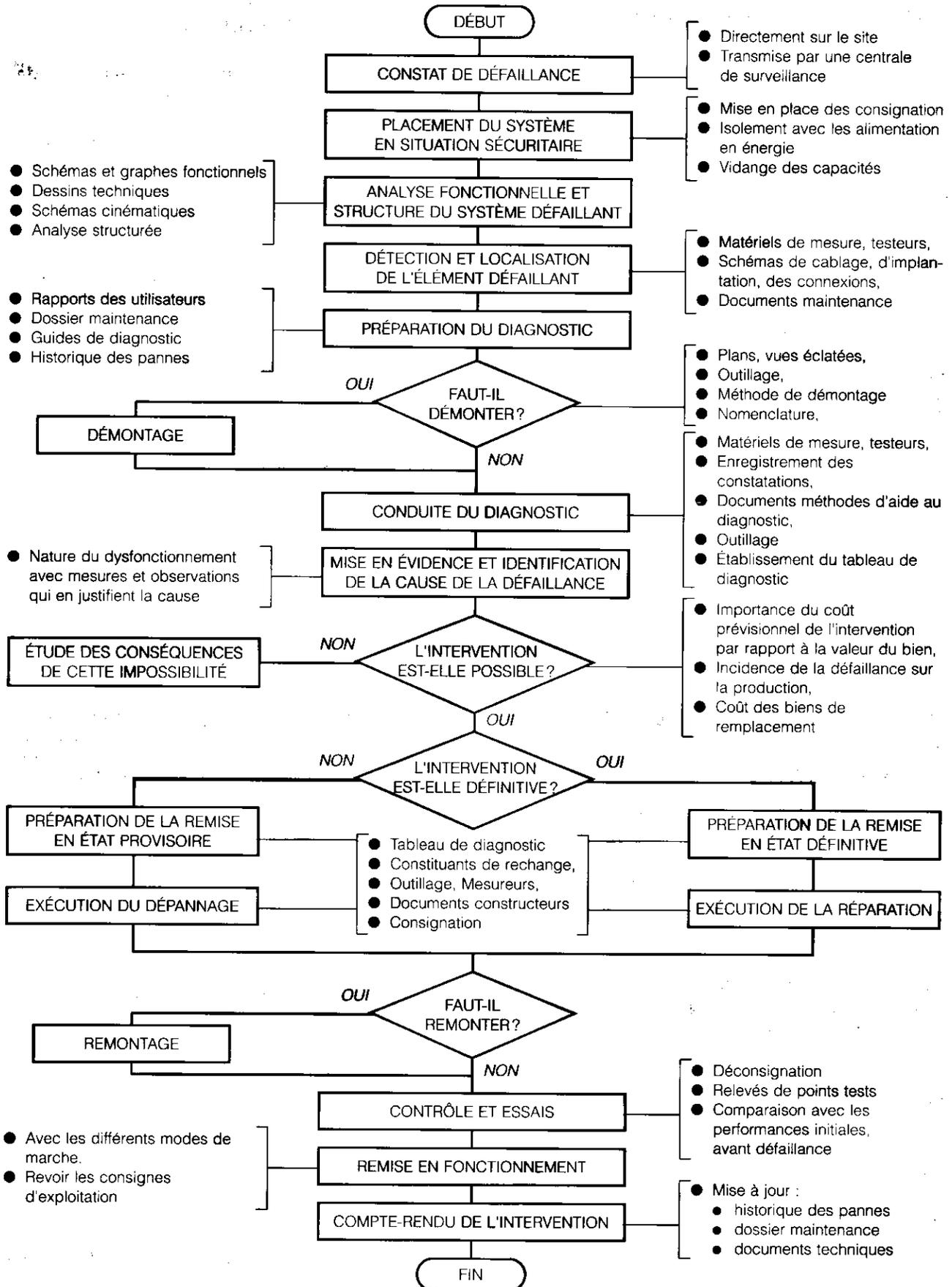
### 1. ORGANISATION DE LA MAINTENANCE CORRECTIVE (fig. 1a – voir pages 8 à 10).



1a. Organisation de la maintenance corrective.

## 2. MISE EN ŒUVRE D'UNE ACTION DE MAINTENANCE CORRECTIVE

Suivant fig. 2a.



2a. Mise en œuvre d'une action de maintenance corrective.

### 3. SÉCURITÉ DANS L'INTERVENTION

La sécurité de l'agent de maintenance lors d'une intervention de maintenance corrective dépend à la fois :

- de la **qualité de la conception sécuritaire** du matériel sur lequel il intervient,
- du **respect des procédures réglementaires** qu'il doit appliquer,
- et du **niveau de ses compétences** professionnelles confirmées par l'**habilitation** que lui reconnaît son employeur.

#### ● DISPOSITIFS DE SÉCURITÉ

Dès la conception d'un matériel les conditions de sécurité relatives :

- aux personnels de conduite,
- et aux personnels de maintenance doivent être prises en compte.

Exemples de dispositifs de sécurité :

- *Barrage optique.*
- *Interrupteur de sécurité sur les portes de coffret.*
- *Sectionneur de sécurité.*
- *Interverrouillage à clé.*
- *Déclencheur d'alarme.*
- *Commande bi-manuelle...*

Si, pour exécuter son intervention l'agent de maintenance doit rendre inopérants certains de ces dispositifs, il doit **redoubler de prudence et de vigilance du fait du niveau de risque plus élevé qu'il prend.**

#### ● DISPOSITIONS RÉGLEMENTAIRES

Ces dispositions réglementaires doivent être respectées (suivant Norme NF C15-100).

Les interventions de dépannage ou les travaux de modification d'ordre électrique sur une **installation du domaine de la Basse Tension (BT) doivent être effectués hors tension** sauf :

- s'il y a **atteinte à la vie** ou à la **santé des personnes**, dans le cas par exemple d'installations de ventilation ou d'aération de bâtiments,
- si le **processus de production** impose une **continuité d'alimentation** en énergie, c'est le cas des processus en continu des industries chimiques, agro-alimentaires, sidérurgiques, et également du réseau de distribution d'énergie,
- si la nature même de l'intervention, le **diagnostic** par exemple, nécessite la présence de la tension.

L'agent de maintenance **habilité** à intervenir sur les équipements du **domaine BT** doit :

- vérifier le **bon état** et le **bon fonctionnement** des appareils et accessoires qu'il utilise pendant l'intervention,
- utiliser des **outils à mains isolés** et, éventuellement, des gants isolants, des lunettes de protection, des chaussures à semelle isolante.

#### ● INTERVENTIONS EN PRÉSENCE D'ÉNERGIE (Suivant les prescriptions de l'Institut National de Recherche et de Sécurité.)

Pendant une intervention nécessitant la présence de tension ou d'autres sources d'énergie :

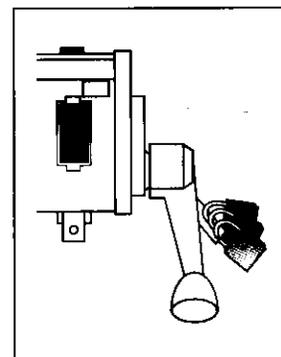
- la **sécurité des tiers** par un **balisage de zone** doit être faite,
- l'**utilisation des commandes** de la machine ne doit pas être possible sauf sur la demande de l'intervenant,
- les **risques mécaniques** d'une action rendue nécessaire pour un contrôle doivent être parfaitement calculés.

#### ● INTERVENTIONS HORS TENSION : CONSIGNATION

Lors d'une intervention qui se déroule hors tension, il est indispensable de protéger l'agent de maintenance contre tout **retour intempestif de la tension, à la suite d'une action imprévisible et dangereuse du personnel.**

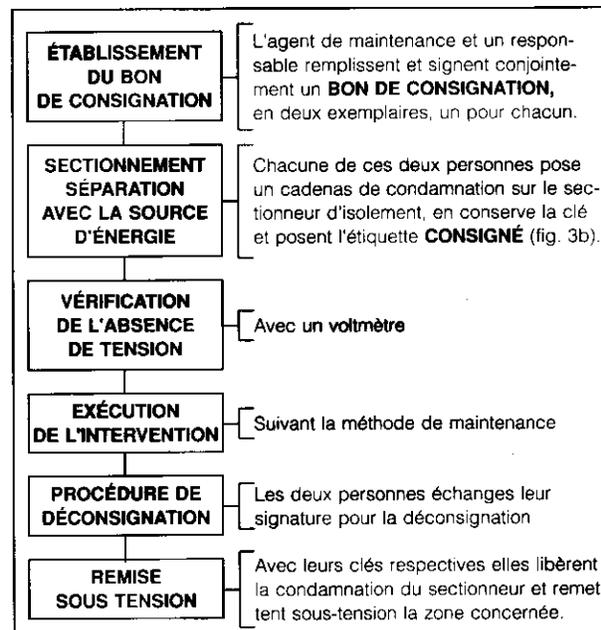
Pour éviter ce risque il est prévu une **procédure de consignation.**

Le principe de cette consignation est de rendre, au moins **deux personnes**, responsables l'une vis-à-vis de l'autre de la mise et du maintien hors tension de la zone d'intervention.



3b. Exemple de sectionneur avec son dispositif de condamnation.

La fig. 3a donne un exemple de procédure de consignation.



3a. Exemple de procédure de consignation.

## 4. DIAGNOSTIC

### ● IMPORTANCE DU DIAGNOSTIC

Le diagnostic est une phase importante de la maintenance corrective. De sa **pertinence** et de sa **rapidité** dépend l'**efficacité de l'intervention** entreprise.

Il est précédé par deux actions :

- la **détection** qui décèle au moyen d'une surveillance accrue, continue ou non, l'apparition d'une défaillance ou l'existence d'un élément défaillant,
- la **localisation** qui conduit à rechercher précisément l'(les) élément(s) par le(s)quel(s) la défaillance se manifeste.

**Le diagnostic permet de confirmer, de compléter ou de modifier les hypothèses faites sur l'origine et la cause des défaillances et de préciser les opérations de maintenance corrective nécessaires.**

Les outils du diagnostic sont nombreux et diversifiés mais tous guident la **réflexion de l'agent de maintenance** suivant un **cheminement logique et structuré**.

La conduite d'un diagnostic nécessite un grand nombre d'informations saisies :

- auprès des utilisateurs du système,
- dans les documents des constructeurs,
- dans les documents du service technique,
- dans les documents des méthodes maintenance.

### ● MÉTHODE GÉNÉRALE DE DIAGNOSTIC

#### ● INVENTAIRE DES HYPOTHÈSES

À partir de la défaillance d'un matériel dont :

- le mode de défaillance a été défini,
- et l'élément par lequel la défaillance se manifeste a été localisé,

le **diagnostic doit identifier les causes probables de la défaillance**.

La première démarche du diagnostic est d'envisager un certain nombre d'**hypothèses** qui sont autant de **causes possibles**.

L'**efficacité du diagnostic** doit conduire à hiérarchiser les hypothèses par rapport à deux grands critères :

- leur **probabilité de se révéler vraies**,
- la **facilité de leur vérification**.

Exemple :

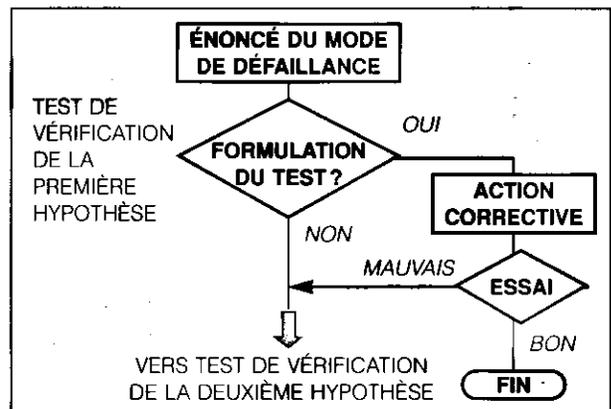
La fig 4a indique les ordres de grandeur des possibilités des causes de défaillances dans un système automatisé commandé par un A.P.I.

Cet exemple met en évidence que :

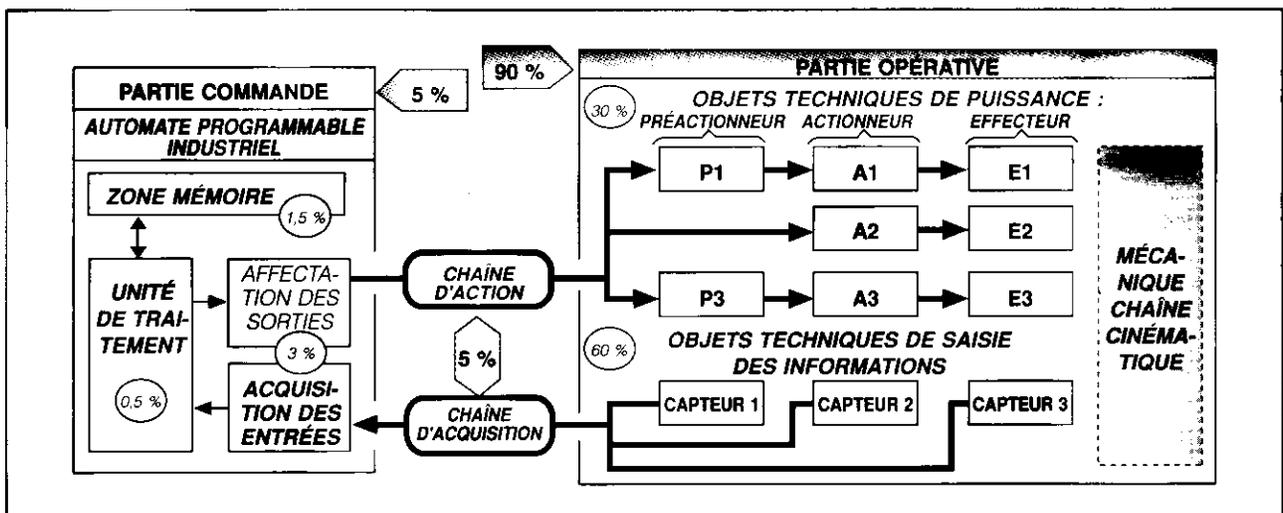
- **90 % des causes** sont en rapport avec la **partie opérative** et que les 2/3 de ces dernières sont liées aux capteurs,
- l'unité de traitement présente une très faible probabilité de causes.

#### ● VÉRIFICATION DES HYPOTHÈSES RETENUES

En les prenant dans l'ordre de leur classement chaque hypothèse doit être vérifiée suivant la méthode générale de la fig. 4b. L'**enchaînement de ces vérifications** jusqu'à la constatation d'un essai bon est représentatif de la **méthode de diagnostic**.



4b. Méthode de vérification d'une hypothèse.



4a. Ordres de grandeur des probabilités des causes de défaillances dans un système automatisé dont la partie commande est un automate programmable industriel.

**5. OUTILS DE DIAGNOSTIC**

Les outils de diagnostic diffèrent suivant leur champ d'application :

● **cas d'un diagnostic relatif à un mode de défaillance bien spécifié :**

- diagramme de diagnostic,
- fiche de diagnostic,
- analyse des discordances sur GRAFCET;

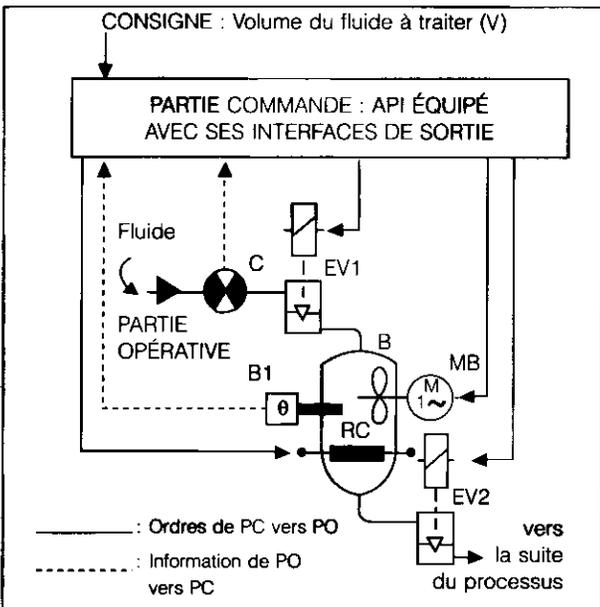
● **cas de la préparation au diagnostic et au dépannage d'un système, ces outils sont aussi des aides à la décision :**

- diagramme causes-effets ou diagramme d'Ishikawa,
- arbre des causes ou arbres des défaillances,
- arbre de maintenance,
- liste de règles de causes de défaillance.

● **EXEMPLE DE SYSTÈME**

Système automatisé de dosage et de chauffage d'un fluide alimentaire (fig. 5a).

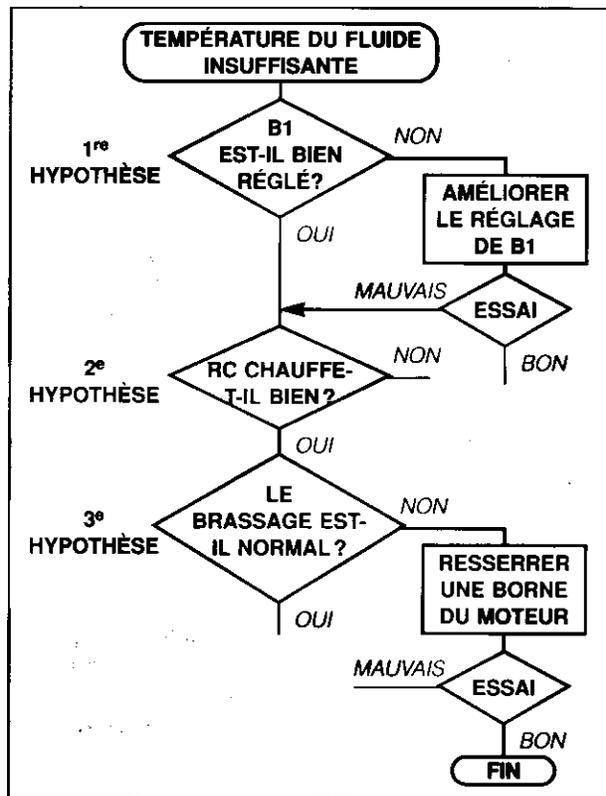
Voir page 115 le fonctionnement de ce système.



5a. Système automatisé de chauffage d'un fluide alimentaire.

● **CAS D'UN MODE DE DÉFAILLANCE BIEN SPÉCIFIÉ : LA TEMPÉRATURE DU FLUIDE, DE CONSISTANCE VISQUEUSE, EST INFÉRIEURE À LA VALEUR SOUHAITÉE**

● **DIAGRAMME DE DIAGNOSTIC** (suivant fig. 5b).  
Ce diagramme confirme la troisième hypothèse. Le moteur alimenté par intermittence fait que le fluide visqueux est mal brassé. La température la plus élevée est au voisinage de l'élément chauffant, zone dans laquelle se trouve le détecteur du thermostat. Pour sa valeur de réglage ce dernier coupe le chauffage, permet le vidage du ballon avec un fluide dont la température non homogène, est bien inférieure à celle souhaitée.



5b. Diagramme de diagnostic

● **FICHE DE DIAGNOSTIC** (suivant fig. 5c)

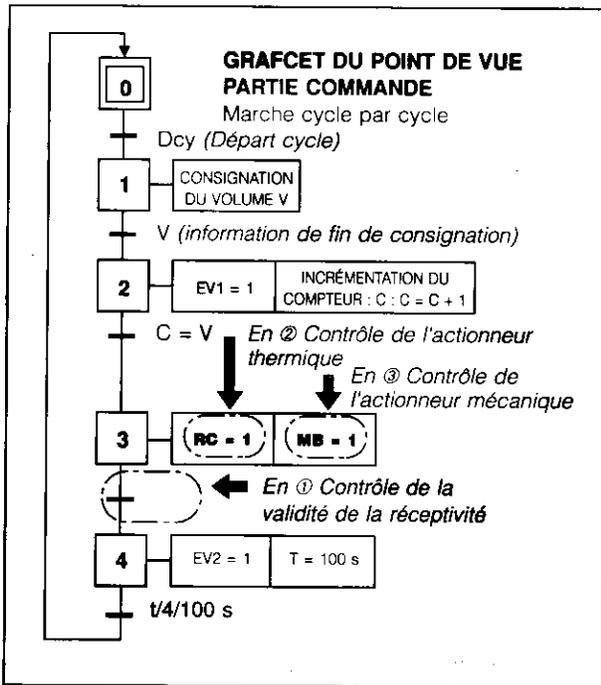
FICHE DE DIAGNOSTIC		SYSTÈME : Réchauffage fluide alimentaire		Intervenant : Jacques	Date : 20/09/92
N° HYP.	POINT CONTRÔLE	MOYENS DE CONTRÔLE	RÉFÉRENCES DU CONTRÔLE	RÉSULTATS	
1	Réglage du thermostat B1	Visuel sur cadran gradué	70°C température spécifiée	BON	MAUVAIS
2	Chauffe de l'élément RC	Wattmètre avec pince ampèremétrique	3 kW à puissance nominale	BON	MAUVAIS
3	Groupe de brassage MB	Tachymètre. Voltmètre	Vitesse : 1 500 tr/min	BON	MAUVAIS
CONCLUSION DU DIAGNOSTIC				PROPOSITION D'ACTION CORRECTIVE :	
CAUSE DE LA DÉFAILLANCE : Desserrage d'un fil d'alimentation à la plaque à bornes du moteur de brassage				Réfection des connexions sur la plaque à bornes En amélioration : prévoir une autre implantation pour B1.	

5c. Exemple de fiche de diagnostic.

● ANALYSE DES DISCORDANCES SUR UN GRAFCET

Le GRAFCET est un bon support d'aide au diagnostic pour les systèmes automatisés séquentiels.

Après avoir localisé la zone concernée par le mode de défaillance il est possible de vérifier les **réceptivités amont et aval**, ainsi que les **actions associées à l'étape concernée** (fig. 5d).



5d. Exemple de diagnostic par recherche des discordances sur un GRAFCET.

● CAS DE LA PRÉPARATION AU DIAGNOSTIC ET AU DÉPANNAGE D'UN SYSTÈME

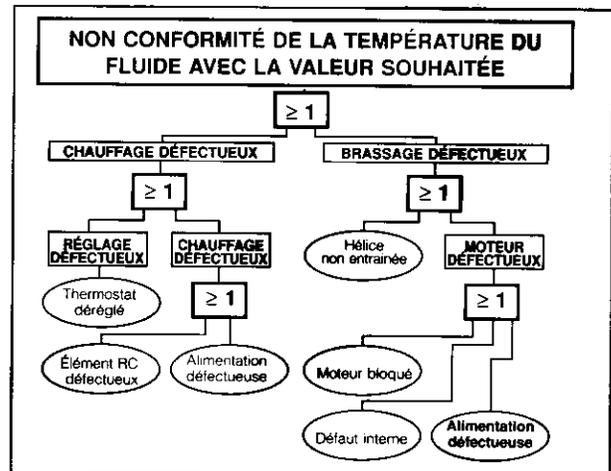
● DIAGRAMME CAUSES-EFFETS D'ISHIKAWA

Par rapport à un mode de défaillance ce diagramme permet de recenser l'ensemble des causes possibles (fig. 5e).

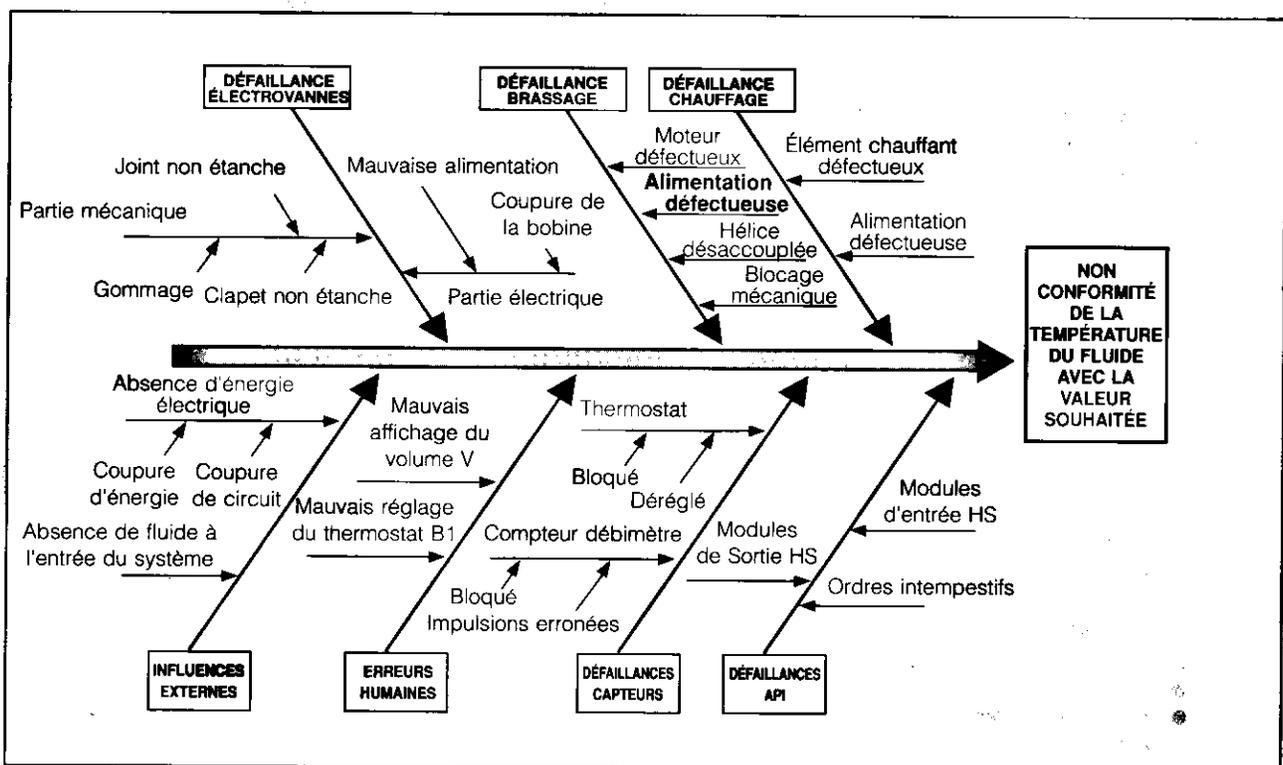
● ARBRES DES CAUSES (AdC) OU ARBRE DES DÉFAILLANCES (AdD).

Cet arbre est la **représentation logique de l'enchaînement des causes relatives à un mode de défaillance**. Ces causes sont associées par des opérateurs logiques : **ET, OU, SI, délai,...**

Le diagramme se construit par une **approche système et fonctions** (fig. 5f).

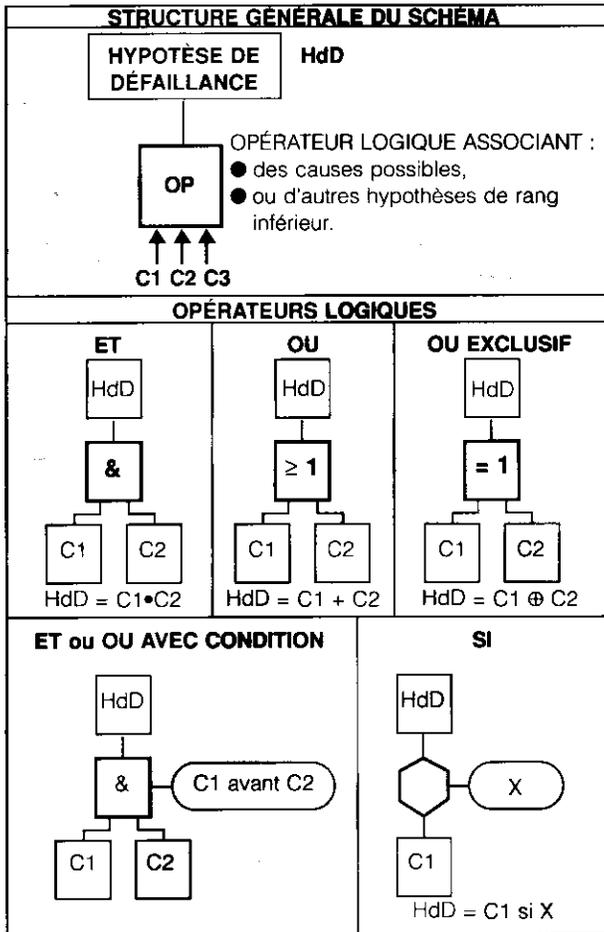


5f. Arbre des causes ou arbre des défaillances.



5e. Diagramme causes-effets d'Ishikawa établi pour recenser les causes relatives à un mode de défaillance.

**Symboles des opérateurs logiques utilisés dans les arbres de défaillances (fig. 5g).**



5g. Symboles des opérateurs logiques.

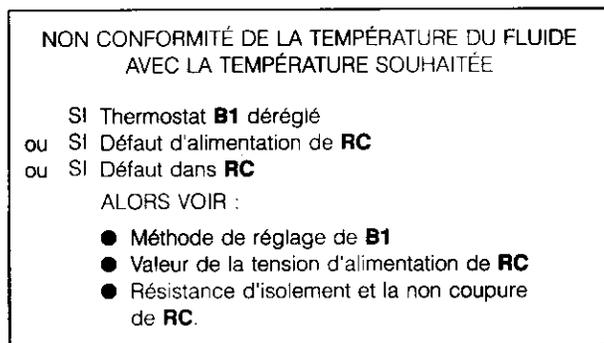
● **ARBRE DE MAINTENANCE**

L'arbre de maintenance se construit suivant le même principe que l'arbre des défaillances en précisant en plus avec certains symboles des opérations de maintenance du type :

- contrôle,
- réglage,
- réparation,...

● **LISTE DE RÈGLES DE CAUSES DE DÉFAILLANCE**

Ces règles de causes de défaillance peuvent être exploitées par un **système expert** (fig. 6h).



6h. Exemple de règles de causes de défaillance.

**6. TRAVAUX DE DÉMONTAGE-REMONTAGE**

● **JUSTIFICATION DU DÉMONTAGE**

Le démontage est une opération souvent nécessaire pour le diagnostic, le dépannage ou la réparation. Une **phase de démontage** doit être **organisée** afin que l'agent de maintenance procède à un **démontage minimal** par rapport à la nécessité de ce dernier ce qui évite :

- des **pertes de temps**,
- et des **risques de détérioration des constituants**.

La préparation d'une phase de démontage nécessite :

- la **définition** précise des **opérations** avec leur ordre logique,
- le **choix des outillages adaptés**,
- les **moyens de mesure et de contrôle** concernant l'état des constituants démontés.

Ces derniers peuvent présenter :

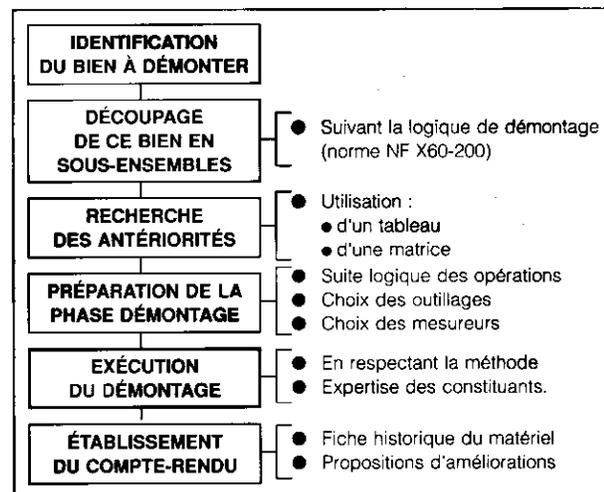
- une corrosion anormale,
- une usure excessive,
- des traces de grippage,

qui sont autant d'indications importantes sur le dysfonctionnement du matériel.

● **MÉTHODE GÉNÉRALE DE DÉMONTAGE**

La préparation d'une phase de démontage commence par un **découpage matériel du bien à démonter**. Ce découpage matériel traduit une **logique de démontage-remontage** différente d'une logique fonctionnelle qui s'appliquerait à un découpage fonctionnel. En effet, le découpage matériel regroupe des constituants uniquement par rapport à leur **antériorité de démontage**, sans tenir compte de la hiérarchisation des fonctions principales, secondaires, d'un découpage fonctionnel.

La fig. 6a précise la méthode générale de démontage.

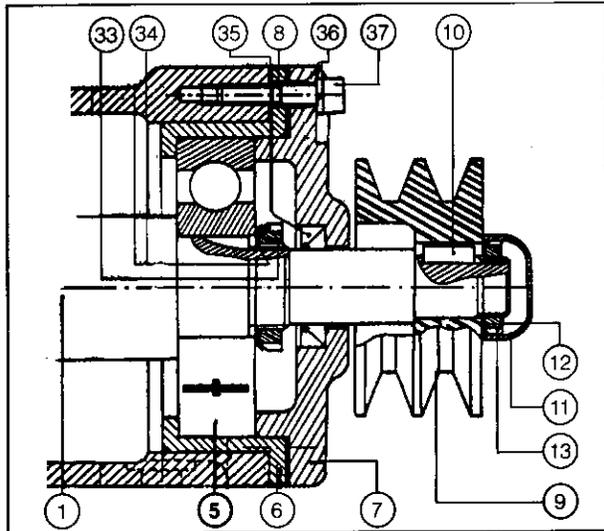


6a. Méthode générale de démontage.

● **EXEMPLE DE PRÉPARATION D'UNE PHASE DE DÉMONTAGE**

● **NATURE DES TRAVAUX**

Il s'agit de remplacer le **roulement repère 5** du palier de broche (fig. 6b).



6b. Palier de broche.

● **IDENTIFICATION DES SOUS-ENSEMBLES**

Il est possible de considérer trois sous-ensembles :

- **A : entraînement de la broche** avec 9, 10, 11 et 13,
- **B : palier**, avec, par rapport à l'arbre : 5, 6, 33 et 34,
- **C : chapeau et réglage du jeu** avec : 7, 8, 35, 36 et 37.

● **RECHERCHE DES ANTÉRIORITÉS**

Pour chacun des sous-ensembles il convient de **hiérarchiser leurs antériorités réciproques** en posant deux questions :

- existe-t-il un obstacle au démontage ?
- peut-on effectuer le démontage sans détériorer la pièce ?

D'où :

- le **tableau des antériorités** (fig. 6c),
- et la **matrice des antériorités** (fig. 6d).

Cette dernière permet de déterminer l'ordre logique de démontage avec ses différentes possibilités.

REPÈRE DU SOUS-ENSEMBLE	A	B	C
CONTRAINTES D'ANTÉRIORITÉ	néant	C, A	A

6c. Tableaux des antériorités.

Il faut avoir fait				ANTÉRIORITÉS		
	A	B	C	NIVEAUX		
Pour faire :				1	2	3
A	●		●	0		
B		●		2	1	0
C			●	1	0	

6d. Matrice des antériorités.

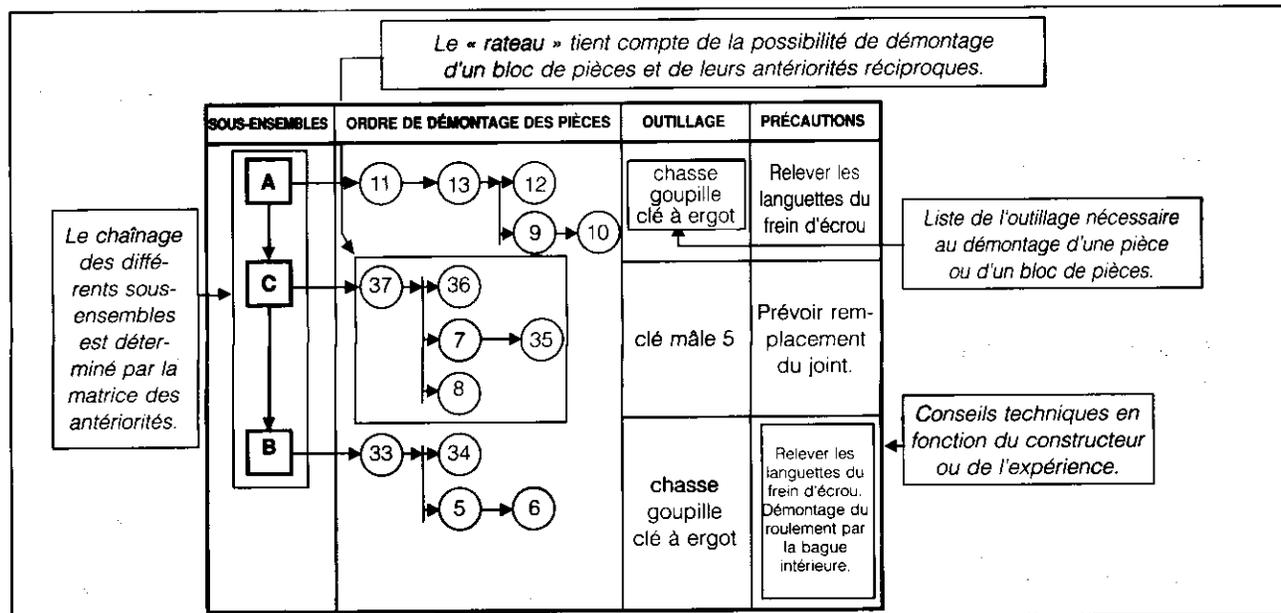
● **FICHE PRÉVISIONNELLE DE DÉMONTAGE**

Cette fiche présente sous **forme de rateau** l'ordre de démontage des pièces (fig. 6e).

● **TRAVAUX DE REMONTAGE**

Cette phase complémentaire au démontage peut se préparer suivant le même principe par une recherche d'antériorités. Il faut en particulier apporter **beaucoup de soins** à ces travaux :

- en s'assurant de la **qualité des surfaces fonctionnelles**,
- en utilisant un **outillage adapté**,
- en **respectant les jeux fonctionnels** spécifiés dans le dossier technique.



6e. Fiche prévisionnelle de démontage.

# 29

## ANALYSE DES INFORMATIONS : LOI DE PARETO

### 1. OUTIL D'AIDE À LA DÉCISION : LOI DE PARETO

Pour une entreprise la définition de la **politique de maintenance** relative à un secteur donné se traduit par :

- la fixation des objectifs de **coûts**,
- le choix de la **méthode de maintenance**,
- la mise à disposition de certains **moyens**,

et ne peut se faire qu'après la saisie et l'analyse d'un **nombre important d'informations** en rapport :

- avec les matériels à entretenir,
- et leurs conditions d'exploitation.

Dans son application cette politique de maintenance se concrétise par un ensemble de prises de décision, rapides et efficaces, qui conduisent au choix global des actions à entreprendre.

Cette phase de prises de décision doit être guidée par un certain nombre d'**outils d'aide à la décision** parmi lesquels figure la **loi de Pareto**.

#### ● LOI DE PARETO

*Vilfredo PARETO* (1848-1923) est un socio-économiste italien né à Paris. Il étudia la répartition des impôts fonciers aux États-Unis et constata que 15 % des contribuables payaient 85 % des impôts. Il en a tiré la règle des 85-15 ou encore 80-20 qui peut s'appliquer aux problèmes les plus divers :

- 20 % des voies ferrées assurent 80 % du trafic;
- 20 % des conducteurs provoquent 80 % des accidents;
- 20 % des articles vendus font 80 % du chiffre d'affaires.

Transposée à la maintenance cette loi permet, parfois, de constater :

- que 20 % des interventions de maintenance représentent à elles seules 80 % de la charge totale;
- que 20 % des pièces du stock de maintenance représentent à elles seules 80 % de la valeur moyenne des mouvements sur une période d'un an.

### 2. APPLICATION DE LA LOI DE PARETO : SYSTÈME DE FABRICATION DE GÂTEAUX FOURRÉS

Pour un secteur ou un système donné l'application de la **loi de Pareto** impose plusieurs étapes :

- définition de l'objectif de l'étude et de ses limites;
- choix des éléments les plus représentatifs avec leur critère de classement;
- classement des éléments;
- représentation graphique des résultats;
- propositions de décisions.

#### ● OBJECTIF ET LIMITE DE L'ÉTUDE

L'objectif est l'**analyse des temps d'arrêt** d'une ligne de fabrication de gâteaux fourrés sur une période de fonctionnement d'une année.

Le résultat de cette analyse doit fournir les éléments de décision concernant la maintenance de cette ligne de fabrication (fig. 2a).

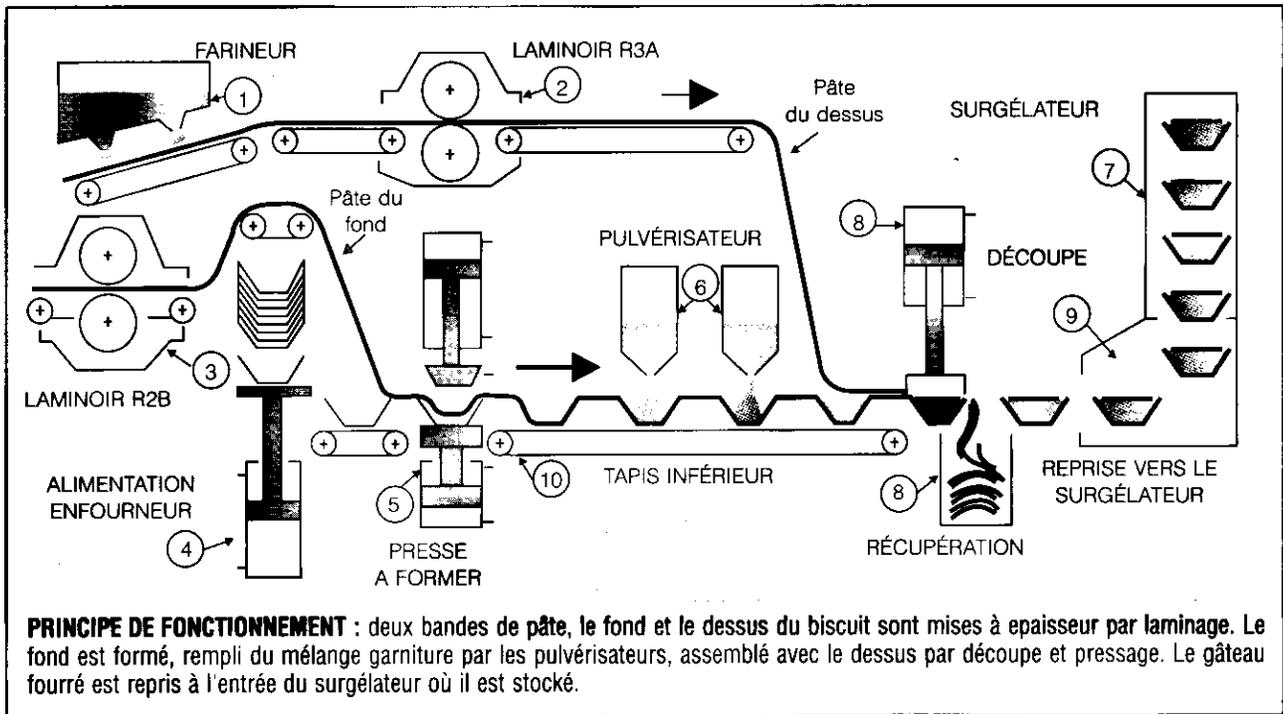
#### ● CHOIX DES ÉLÉMENTS ET DU CRITÈRE DE CLASSEMENT

L'ensemble des sous-systèmes fonctionnels constituant cette ligne de fabrication représente les éléments de cette étude.

L'étude de la **période antérieure** permet d'affecter à chaque sous-système la somme des temps d'arrêt correspondante (fig. 2b).

Rep.	SOUS-SYSTÈME	TEMPS D'ARRÊT
1	Farineur	5
2	Laminoir R3A	4
3	Laminoir R2B	35
4	Alimentation enfourneur	25
5	Presse à former	15
6	Pulvérisateurs	7
7	Surgélateurs	10
8	Découpe et récupérateur	3
9	Reprise vers le surgélateur	50
10	Tapis inférieur	2

2b. Affectation à chaque sous système de la somme des temps d'arrêt correspondante (en heures).



2a. Ligne de fabrication de gâteaux fourrés.

● CLASSEMENT DES ÉLÉMENTS

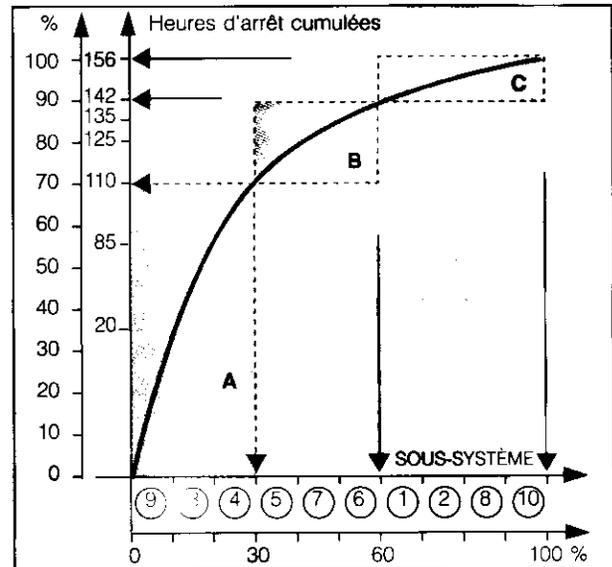
Les éléments sont classés par **valeur décroissante des temps d'arrêt**, avec en plus le calcul de la **valeur cumulée** et du **pourcentage correspondant** (fig. 2c).

Dans cet exemple d'application cette courbe détermine effectivement trois zones :

- **zone A** : 30 % des sous-systèmes cumulent 70 % des heures d'arrêt;
- **zone B** : 30 % des sous-ensembles cumulent 21 % des heures d'arrêt;
- **zone C** : 40 % des sous-systèmes cumulent 9 % des heures d'arrêt.

Rang	SOUS-SYSTÈME	TEMPS D'ARRÊT	VALEUR CUMULÉE	
			Somme	%
1	9. Reprise surgélateur	50	50	32
2	3. Laminoin R2B	35	85	54,5
3	4. Alimentation enfourneur	25	110	70,5
4	5. Presse à former	15	125	80,1
5	7. Surgélateur	10	135	86,5
6	6. Pulvérisateur	7	142	91
7	1. Farineur	5	147	94,2
8	2. Laminoin R3A	4	151	96,8
9	8. Découpe et récupérateur	3	154	98,7
10	10. Tapis inférieure	2	156	100

2c. Classement des sous-systèmes en fonction de la valeur décroissante des temps d'arrêt.



2d. Courbe ABC mettant en évidence les trois zones A, B et C.

● REPRÉSENTATION GRAPHIQUE DES RÉSULTATS : COURBE ABC

En portant :

● **en abscisse** : les sous-systèmes classés suivant la valeur décroissante des heures d'arrêt qui leurs sont affectées;

● **en ordonnées** : les valeurs cumulées des heures d'arrêt,

on trace une courbe, dite **courbe ABC** (fig. 2d).

● PROPOSITIONS DE DÉCISIONS

C'est évident que les sous-systèmes de la zone A doivent bénéficier en priorité des interventions du service maintenance.

Les trois sous-systèmes concernés sont :

- le dispositif de reprise vers le surgélateur (rep. 9),
- le laminoir R2B (rep. 3),
- l'alimentation de l'enfourneur (rep. 4).

Pour mieux décider des actions de maintenance à mettre en œuvre il est proposé d'appliquer la loi de Pareto à l'analyse des modes de défaillance des deux premiers sous-systèmes.

● **SOUS-SYSTÈME DE REPRISSE VERS LE SURGÉLATEUR**

● **Exploitation de l'historique**

Cet historique fournit, sur la période antérieure d'une année, les modes de défaillance constatés sur ce sous-système (fig. 2e).

REPÈRE DU JOUR DE PRODUCTION	MODES DE DÉFAILLANCE	TEMPS D'ARRÊT
27	Coincement du rateau	6
32	Indication erronée de la cellule	6
40	Coincement du rateau	5
63	Non démarrage du moteur	1
67	Vibrations dans le transfert	2
72	Indication erronée de la cellule	4
75	Coincement du rateau	5
87	Court-circuit dans le moteur	3
110	Vibrations dans le transfert	2
115	Rupture du support de galet	3
135	Coincement du rateau	5
157	Fonctionnement irrégulier du poussoir	1,5
185	Vibrations dans le transfert	1
190	Coincement du rateau	5
192	Coincement de l'élévateur	0,5

2e. Historique des modes de défaillance.

**Classement des modes de défaillance**

Après un regroupement par familles les modes de défaillance sont classés suivant la valeur décroissante de la somme des temps d'arrêt (fig. 2f).

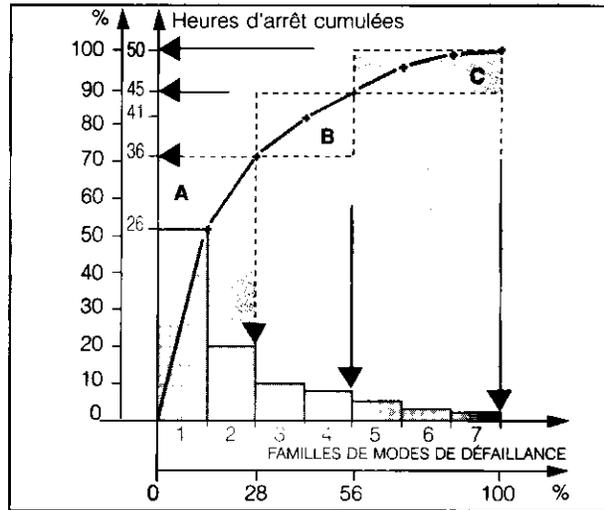
Rang	FAMILLES DE MODES DE DÉFAILLANCE	TEMPS D'ARRÊT	VALEUR CUMULÉE	
			Somme	%
	en rapport avec :			
1	● le rateau	26	26	52
2	● la cellule	10	36	72
3	● le transfert	5	41	82
4	● le moteur	4	45	90
5	● le support de galet	3	48	96
6	● le poussoir	1,5	49,5	99
7	● l'élévateur	0,5	50	100

2f. Regroupement des modes de défaillance en sept familles.

● **Courbe ABC**

Cette courbe tracée suivant les données du tableau 2f met en évidence trois zones (fig. 2g) :

● **zone A** : dans laquelle deux familles de modes de défaillance, constatés soit 28 % se traduisent par 72 % des heures d'arrêt.



2g. Courbe ABC mettant en évidence les trois zones A, B et C.

● **zone B** : dans laquelle 28 % des modes de défaillance constatés se traduisent par 18 % des heures d'arrêt;

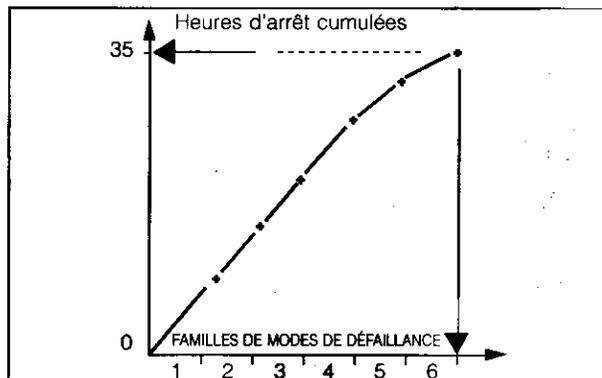
● **zone C** : dans laquelle 44 % des modes de défaillance constatés se traduisent par 10 % des heures d'arrêt.

Les services de maintenance devront en priorité améliorer :

- le rateau avec son mécanisme de commande,
- la cellule photo-électrique avec son équipement électronique.

● **SOUS-SYSTÈME LAMINOIR R2B**

À partir de l'historique des modes de défaillance de ce sous-système une même démarche permet d'établir la **courbe ABC**, fig. 2h.



2h. Courbe sans zone prioritaire.

Dans ce cas la courbe n'**apporte aucune aide à la prise de décision**. Aucune action prioritaire ne peut être justifiée. C'est l'ensemble du sous-système qui est à revoir.

12:04:00      TABLEAU DE BORD ANNUEL DETAILLE      04/18/89

Zone : NORD      REPARTITION DES COÛTS

EQUIPEMENT	FEBV./MARS	JAN.	FEBV.	MARS	AVR.	MAI	JUIN	JUL.	AOUT	SEP.	OCT.	NOV.	DEC.
DECOMP	471 112	3 112	116 0	0 0	50 0	116 0	0 0	50 0	48 0	0 0	24 0	48 0	0 0
POMPAGE	611 213	48 77	14 112					324 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0
SERVO	575 155	95 34	45 76					678 0	122 0	0 0	712 0	1424 0	0 0
SVSELEC	15078 55	32 55	3096 0	0 0	53 0	3096 0	0 0	3943 0	3096 0	0 0	98 0	3096 0	0 0

Précédent: [ ] Suivant: [ ] Déplacement: [ ] Historique: [ ] Sortie: [ ]

De la nécessité de disposer d'un bon tableau de bord pour l'analyse des coûts.

# 29

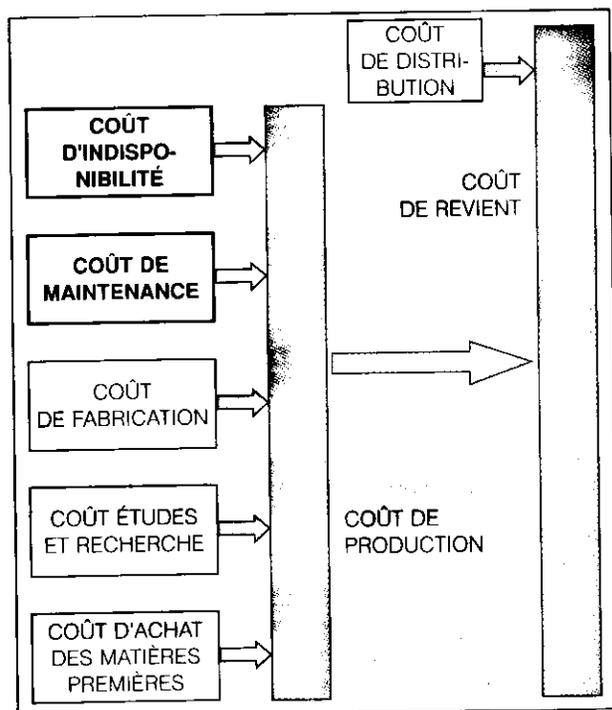
## ANALYSE DES COÛTS DE MAINTENANCE

### 1. NOTION DE COÛT

Une entreprise est caractérisée par trois grandes fonctions :

- achat,
- production,
- vente.

Pour chaque produit fabriqué et pour chacune de ces trois fonctions est calculé un ou plusieurs coûts dont la somme totale représente les **coûts de revient du produit** (fig. 1a).



1a. Éléments du coût de revient d'un produit.

La compétitivité de l'entreprise passe par la diminution du coût de revient.

**L'objectif du service maintenance est de minimiser les coûts de maintenance et d'indisponibilité.**

### 2. DÉFINITION DES COÛTS EN MAINTENANCE (suivant NF X60-020)

#### ● COÛTS DE MAINTENANCE

**Les coûts de maintenance correspondent aux coûts directement imputables à la maintenance.**

Les coûts de maintenance peuvent s'analyser par nature et par destination au sens comptable des termes. Ils peuvent être imputés soit en exploitation, soit en investissement. Certains postes peuvent inclure des frais financiers, par exemple le **coût de possession ou de stockage** lié au **stock maintenance**.

Exemples d'imputation

#### ● Par nature :

- personnel,
- outillage et équipement de maintenance,
- produits et matières consommées (huile, pièces de rechange, graisse,...),
- sous-traitance,
- autres (à préciser).

#### ● Par destination :

- préparation (études, méthodes, ordonnancement),
- documents techniques,
- interventions,
- suivi et gestion,
- magasinage et stockage,
- formation,
- autres (à préciser).

#### ● Par type d'intervention :

- maintenance préventive systématique ou conditionnelle,
- maintenance corrective,
- révision, modernisation, rénovation ou reconstruction,
- travaux neufs.

● COÛT D'INDISPONIBILITÉ

Les **coûts d'indisponibilité** prennent en compte :

- les **coûts de perte de production** incluant :
  - les **coûts de non production** : dépenses fixes non couvertes et dépenses variables non réincorporées,
  - la **non-qualité de production** provoquée par la défaillance des équipements productifs : coûts des rebuts et retouches,
  - le **surcoût de production** : personnel, coût des moyens de remplacement mis en œuvre, stock supplémentaire en attente en cas de défaillance,
- le **manque à gagner** de production : mévente et baisse du chiffre d'affaires ;
- les **pénalités commerciales** ;
- les **conséquences sur l'image de marque de l'entreprise**, non chiffrables directement.

● COÛTS DE DÉFAILLANCE

Les **coûts de défaillance** intègrent les **coûts de maintenance corrective** et les **coûts d'indisponibilité consécutifs à la défaillance des biens d'équipement**.

3. OPTIMISATION DES COÛTS EN MAINTENANCE

L'objectif principal de la maintenance est d'améliorer la disponibilité des équipements mais cela ne doit pas se faire à n'importe quel prix.

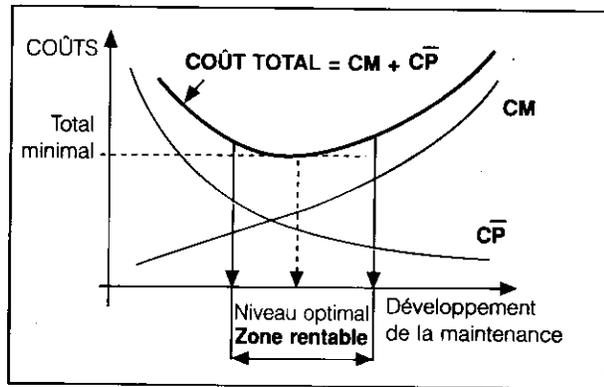
En effet le développement de la maintenance, par un plus grand investissement en matériel et en personnel, a pour conséquence directe :

- de diminuer les **coûts d'indisponibilité  $\overline{CP}$** , pour coût de non production,
- et d'augmenter les **coûts de maintenance  $CM$** .

Il s'agit donc de **considérer les coûts dans leur globalité**, c'est-à-dire la somme  **$CM + \overline{CP}$**  et d'en déterminer le meilleur compromis. Ce dernier se situe à la valeur minimale de cette somme, ce qui correspond au niveau optimal de mise en œuvre de la maintenance sur l'équipement considéré (fig. 2a).

Exemple :

Dans une usine de fabrication de véhicules automobiles un arrêt d'une heure d'une ligne d'assemblage retarde la sortie de 70 véhicules et entraîne un coût de non production  $\overline{CP}$  de 84 kF.



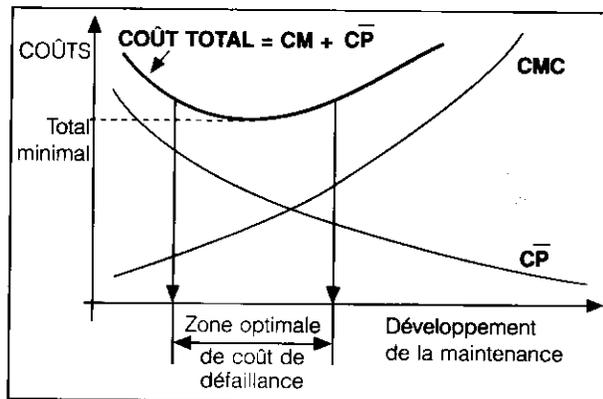
2a. Compromis nécessaire entre le coût de maintenance et le coût d'indisponibilité suivant le degré de développement de la maintenance.

● OPTIMISATION DES COÛTS DE DÉFAILLANCE

Quelle que soit la politique de maintenance adoptée, et malgré la tendance de développer le préventif, il reste toujours une part de maintenance corrective entraînant des coûts d'indisponibilité avec des arrêts pour réparation.

Ces coûts peuvent être diminués par l'amélioration de la maintenabilité et l'augmentation des moyens logistiques qui, en contrepartie, augmente les **coûts de la maintenance corrective  $CMc$** .

Le **coût de défaillance** c'est-à-dire la somme  **$CMc + \overline{CP}$**  doit faire l'objet d'un compromis. La valeur minimale de cette somme permet de déterminer la zone du coût de défaillance optimal (fig. 2b).



2b. Compromis nécessaire entre le coût de la maintenance corrective et le coût d'indisponibilité pour rendre minimal le coût de défaillance, suivant le développement de la maintenance.

Exemple :

Le coût moyen mensuel d'indisponibilité  $\overline{CP}$  d'un matériel est 10 kF. Un outillage spécifique de maintenance corrective qui coûte 20 kF devrait réduire de 10 % ce  $\overline{CP}$ .

D'où : gain mensuel escompté sur  $\overline{CP}$  : 1 kF.

Amortissement de cet outillage : 20 mois.

L'acquisition de cet outillage est possible si sa durée d'amortissement est compatible avec la politique d'investissement du service maintenance.

#### 4. ANALYSE DES COÛTS DE MAINTENANCE

##### ● RECENSEMENT DES COÛTS

Les coûts doivent être recensés suivant différents niveaux d'analyse.

La norme NF X60-020 propose un exemple de tableau d'analyse qui permet d'étudier les coûts par nature et par destination (fig. 4a).

DESTINATION	NATURE	Personnel	Outils	Consommés	Sous-Traitance
• Préparation		●			
• Documents techniques		●			●
• Intervention		●	●	●	○
• Suivi et gestion		●			
• Magasinage et stockage		●			
• Formation		●			

4a. Exemple de tableau d'analyse des coûts.

Exemple :

Remplacement d'une pompe hydraulique. C'est une intervention :

● en personnel : 2 agents pendant 5 heures : 1 500 F,

● consommé : 1 pompe (20 000) + fluide hydraulique (500)  
TOTAL : 22 000 F.

##### ● RATIOS ÉCONOMIQUES

Un ratio constitue un rapport de deux données.

Il sert :

- à **mesurer** une réalité avec clarté,
- à **contrôler** des objectifs,
- à se **comparer** entre unités distinctes, entreprises ou secteurs d'activité,
- à **prendre des décisions** adaptées (politique d'investissement, politique de maintenance, gestion du personnel,...).

L'étude des ratios peut s'appréhender à **différents niveaux** :

- au niveau d'un secteur d'activité, voire d'un pays,
- au niveau de l'entreprise face à son secteur d'activité,
- à l'évolution de l'entreprise face à elle-même,
- au niveau de la fonction maintenance face à l'entreprise,
- à l'évolution de la fonction maintenance face à elle-même.

Le tableau fig. 4b propose quelques-uns des ratios qui sont définis dans la norme NF X60-020.

RATIOS	INTÉRÊT	OBSERVATIONS PARTICULIÈRES
$R1 = \frac{\text{Coûts de maintenance}}{\text{Valeur ajoutée produite}}$	À priori le plus judicieux pour les comparaisons inter-entreprises dans des secteurs identiques.	Valeur ajoutée : valeur de la transformation d'une matière d'œuvre en un produit fini.
$R2 = \frac{\text{Coûts de défaillance}}{\text{Coûts de maintenance} + \text{coûts de défaillance}}$	Indicateur d'évolution de l'efficacité technique de la maintenance.	
$R3 = \frac{\text{Coûts des travaux de sous-traitance}}{\text{Coûts de maintenance}}$		À suivre avec le taux d'activité (par exemple : période de grande activité et recours à la sous-traitance).
$R4 = \frac{\text{Nombre de défaillances}}{\text{Temps de fonctionnement}}$	Définition du taux de défaillance (inverse MTBF : moyenne des temps de bon fonctionnement).  Importance lorsque la production de rebuts au moment de l'arrêt ou la remise en route est coûteuse (papeteries, laminoirs) ou que le temps de remise en service est long.	Possibilité d'analyser conjointement  $\frac{\text{nombre de défaillances}}{\text{quantité de production}}$
$R5 = \frac{\text{Temps actifs de maintenance corrective}}{\text{Temps actif de maintenance}}$	Importance de la maintenance corrective dans les interventions actives de maintenance.	Ratio complémentaire :  $\frac{\text{temps actif de maintenance préventive}}{\text{temps actif de maintenance}}$

4b. Exemples de ratios économiques importants pour la fonction maintenance.

● **COÛT GLOBAL D'UN ÉQUIPEMENT**  
(Life Cycle Cost : LCC)

Le **coût global d'un équipement** ou *Life Cycle Cost (LCC)* est la **différence entre les recettes cumulées** qu'il procure et l'ensemble des **coûts** qu'il occasionne, pendant toute **sa durée de vie**.

$$LCC = V - (Ca + Cu + CM + \bar{CP})$$

- Cumul des recettes
- Coût d'acquisition de l'équipement
- Coût cumulé de fonctionnement :
  - matières
  - fournitures
  - personnel
- Coûts cumulés d'indisponibilité
- Coûts cumulés de maintenance

● **REPRÉSENTATION GRAPHIQUE DU COÛT GLOBAL**

Cette représentation graphique tient compte des hypothèses suivantes :

- le taux d'utilisation de l'équipement est constant,
- les coûts de fonctionnement et les recettes restent stables dans le temps.

D'où **deux droites** (fig. 4c) :

- **V** pour les recettes,
- **F** pour la somme de **Ca + Cu**.

Les coûts de maintenance et d'indisponibilité augmentent dans le temps du fait de la diminution de la fiabilité de l'équipement. Cette somme **CM + CP** se traduit par la **courbe C**.

● **INTERPRÉTATION DE LA COURBE**

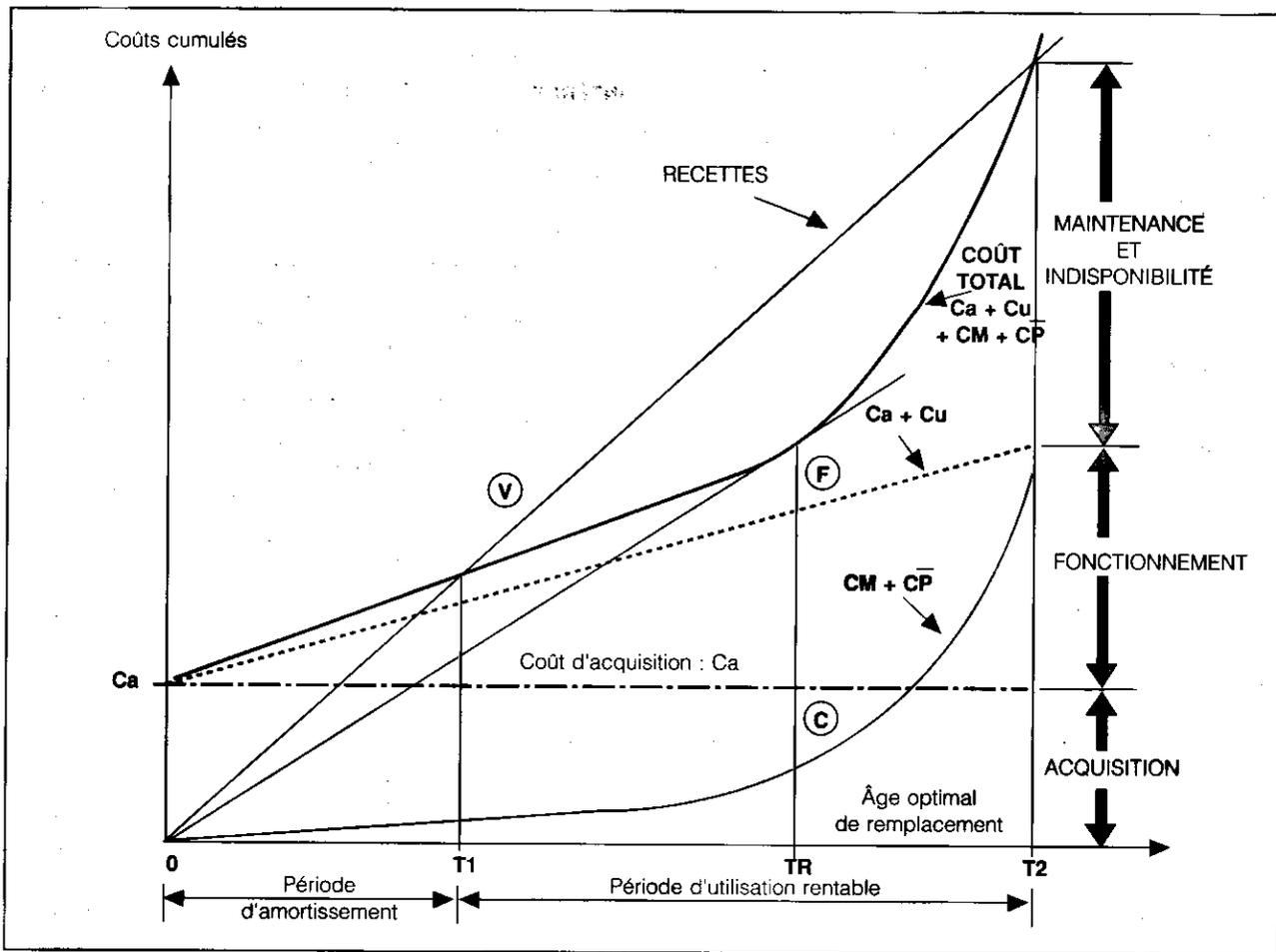
À partir d'une représentation cumulée des recettes et des coûts il est possible de mettre en évidence deux périodes :

● **de l'acquisition du matériel à T1 : amortissement de l'investissement**, T1 représentant le moment où la somme des recettes cumulées et la somme des coûts cumulés sont égales,

● **de T1 à T2**, période pendant laquelle l'utilisation de l'équipement est **toujours rentable**, la somme des recettes restant supérieure à la somme des coûts cumulés.

Le **moment TR** représente l'âge optimal de remplacement de l'équipement. Il est déterminé par le point de tangence de la courbe des coûts cumulés avec une droite passant par l'origine.

Dans certains cas la **valeur de revente** de l'équipement peut se déduire de la somme totale des coûts.



4c. Représentation du coût global d'un équipement.

5. A

● P

Le tableau des coûts de l'équipement quatre

À partir de l'établissement

●

tenance

qui m

de la

signifi

CP, (fi

●

des r

4b (fi

10

5

10

5

10

5

10

5

10

5

10

5

10

5

10

5

10

5

10

5

10

5

10

5

10

5

10

5

10

5

10

5

10

5

10

5

10

5

10

5

10

5. APPLICATIONS

● PREMIER EXEMPLE

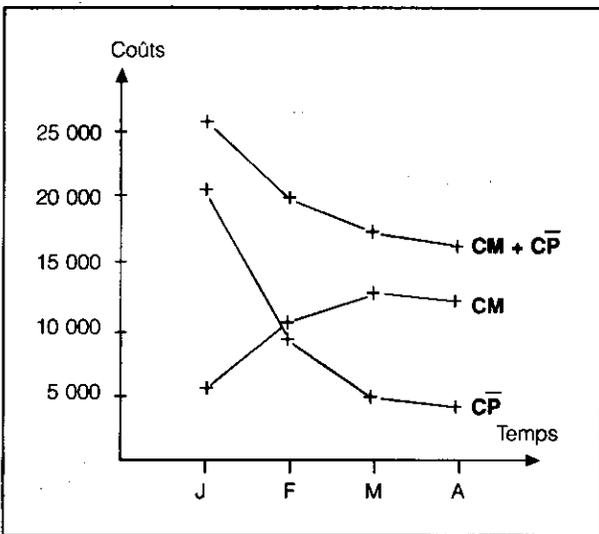
Le tableau ci-contre regroupe les coûts mensuels supportés par un équipement, sur une période de quatre mois.

À partir de ces données il est établi :

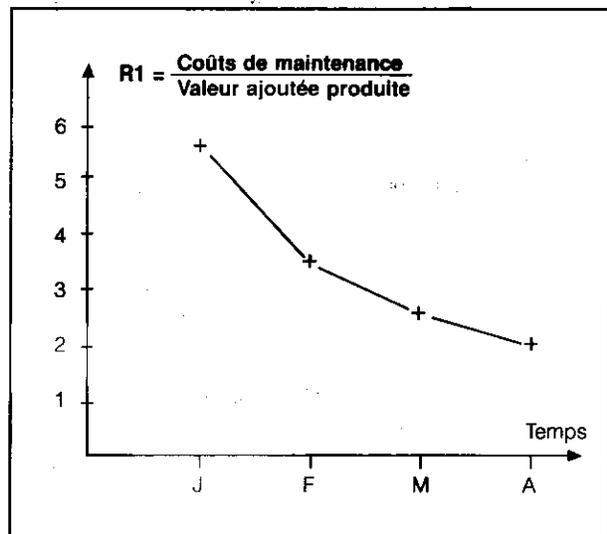
- les courbes du coût de maintenance et du coût d'indisponibilité qui mettent en évidence l'efficacité de la maintenance par la baisse significative du **coût global CM + CP**, (fig. 5b);
- les courbes qui illustrent trois des ratios économiques du tableau 4b (fig. 5c, 5d et 5e).

TABLEAU DE RECENSEMENT DES COÛTS				SECTEUR MACHINE :			
Mois	Temps de fonctionnement	Nombre de défaillances	Coûts arrêts de production	Coûts de maintenance			Valeur ajoutée produite
				Main-d'œuvre	Pièces détachées outillages	Sous-traitance	
JANVIER	312	15	20 000	2 150	2 000	1 500	4 000
FÉVRIER	350	10	9 500	2 500	5 500	2 500	3 000
MARS	355	7	5 000	4 000	6 500	2 300	5 000
AVRIL	345	6	4 500	4 250	6 000	2 000	4 000

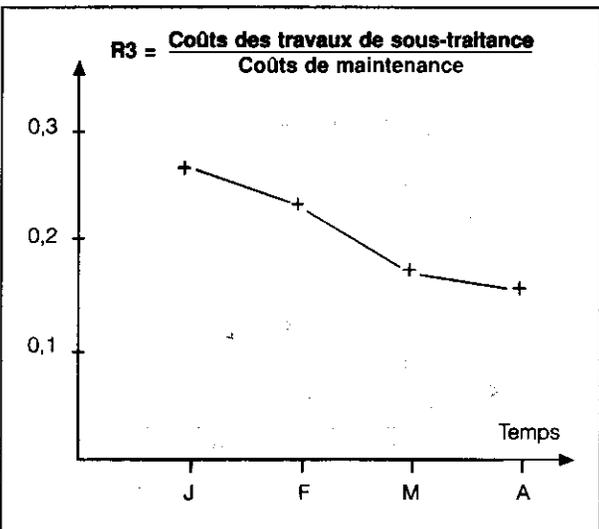
5a. Tableau de recensement des coûts.



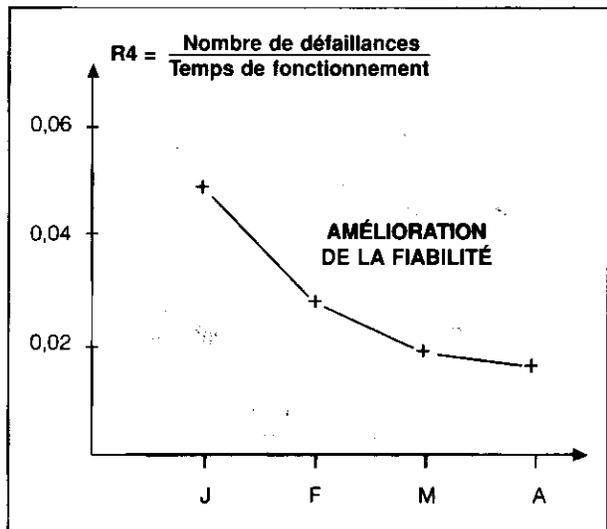
5b. Coûts de maintenance et d'indisponibilité.



5c. Courbe du ratio économique R1.



5d. Courbe du ratio économique R3.



5e. Courbe au ratio économique R4.

● DEUXIÈME EXEMPLE

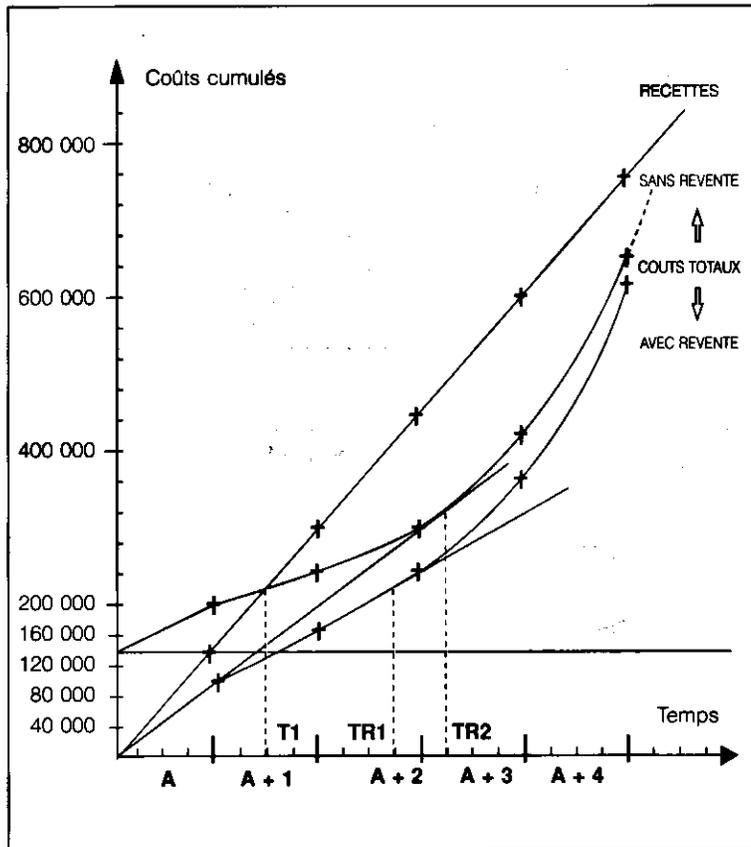
Le tableau ci-dessous regroupe les coûts annuels supportés par un équipement sur une période de cinq ans.

RECENSEMENT DES COÛTS ANNUELS										
MACHINE : <i>Tronçonneuse</i>				ANNÉE D'ORIGINE : A			VALEUR D'ACHAT : 150 000			
ANNÉE	MAINT. CORREC.	MAINT. PRÉV. SYST.	MAINT. PRÉV. COND.	AMÉLIOR.	SOUS-TRAITANCE	ARRÊT PRODUC.	FONCTIONNEMENT	RECETTE	VALEUR DE REVENTE	OBS.
A	3 200	2 800	0	0	1 100	3 200	41 500	150 000	112 000	
A+1	2 500	1 500	2 500	0	1 000	2 500	41 500	150 000	88 000	
A+2	2 100	2 200	2 300	0	1 300	2 000	41 500	150 000	72 200	
A+3	31 200	2 500	2 000	0	1 000	32 500	41 500	150 000	58 500	
A+4	85 000	3 500	4 000	2 000	1 100	105 000	41 500	150 000	46 000	

5f. Tableau de recensement des coûts annuels.

À partir de ces données il est établi :

- la représentation graphique du coût global de l'équipement (fig. 5g);
- les courbes qui illustrent deux des ratios économiques du tableau 4b (fig. 5h et 5i).

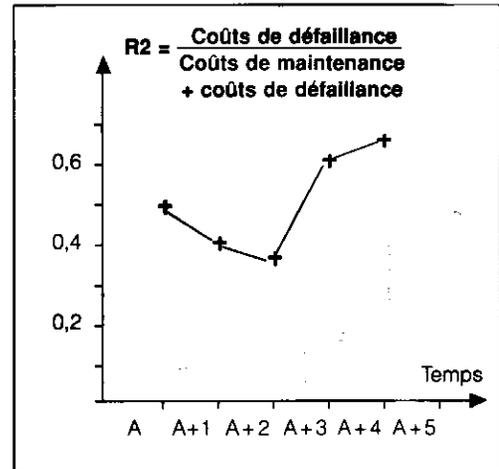


5g. Représentation du coût global de l'équipement.

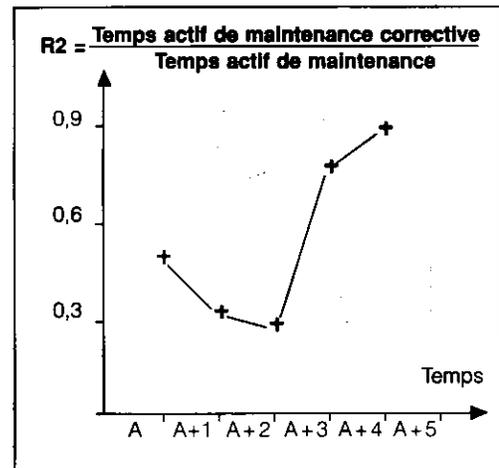
L'équipement est amorti en 1 an et demi (point T1).

Les dates optimales de son remplacement sont :

- le 1.10 de l'année A+2, avec revente de l'équipement (point TR1);
- le 1.04 de l'année A+3, sans revente de l'équipement (point TR2).



5h. Courbe de ratio économique R2.



5i. Courbe du ratio économique R5. Cette courbe est établie à partir de relevés de temps effectués sur les bons d'intervention.

1. JU  
 La ma  
 mation  
 indispe  
 Assist  
 ● CA  
 DE  
 Un le  
 nombre  
 être :  
 ● c  
 posé d  
 cés te  
 ce qui  
 de l'en  
 tique d  
 ● c  
 sibilité  
 ● c  
 prenant  
 règles  
 ● CC  
 DE  
 La mis  
 site la  
 par nat  
 gestion  
 Exemp  
 ● /  
 ● /  
 ● /  
 Cet en  
 base d  
 être en



Les spécifications d'essai sont plus complètes avec l'aide de l'outil informatique.

# 30

## GESTION DE LA MAINTENANCE ASSISTÉE PAR ORDINATEUR : GMAO

### 1. JUSTIFICATION DE LA GMAO

La maintenance traite un très grand nombre d'informations et l'outil informatique devient rapidement indispensable, d'où la **Gestion de la Maintenance Assistée par Ordinateur (GMAO)**.

#### ● CARACTÉRISTIQUES D'UN LOGICIEL DE GMAO

Un **logiciel de GMAO** doit présenter un certain nombre de caractéristiques fonctionnelles. Il doit être :

- de **conception modulaire**, c'est-à-dire composé de plusieurs **modules de traitement interfacés** tels que :

- gestion des stocks,
- suivi des équipements,
- gestion des travaux, ...

ce qui permet une souplesse d'implantation au sein de l'entreprise en fonction des objectifs de sa politique de maintenance ;

- d'**exploitation conviviale** en offrant des possibilités d'apprentissage rapides et simples ;
- d'**intégration aisée** au sein de l'entreprise en prenant facilement en compte sa terminologie et ses règles de gestion.

#### ● CONDITIONS DE MISE EN ŒUVRE DE LA GMAO

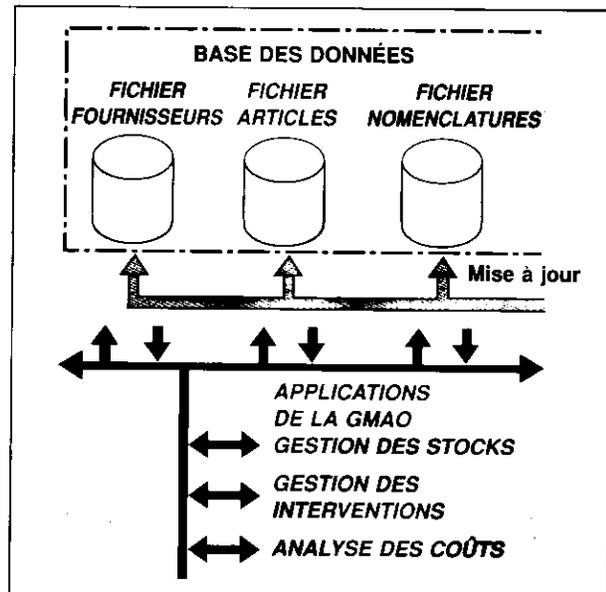
La mise en œuvre d'un **système de GMAO** nécessite la création de **fichiers de base** qui regroupe, par nature, toutes les informations nécessaires à la gestion de la maintenance (fig. 1a).

Exemples :

- Fichier fournisseurs,
- Fichier articles,
- Fichier nomenclature des matériels.

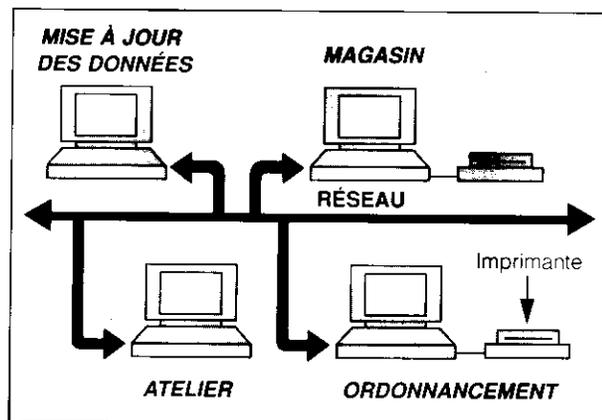
Cet ensemble de fichiers de base constitue une **base de données** ou **banque de données** qui doit être en permanence actualisée.

Cette création et mise à jour des fichiers nécessite une **codification préalable des informations avec la définition de leur format**.



1a. Base de données, condition préalable aux applications de la GMAO.

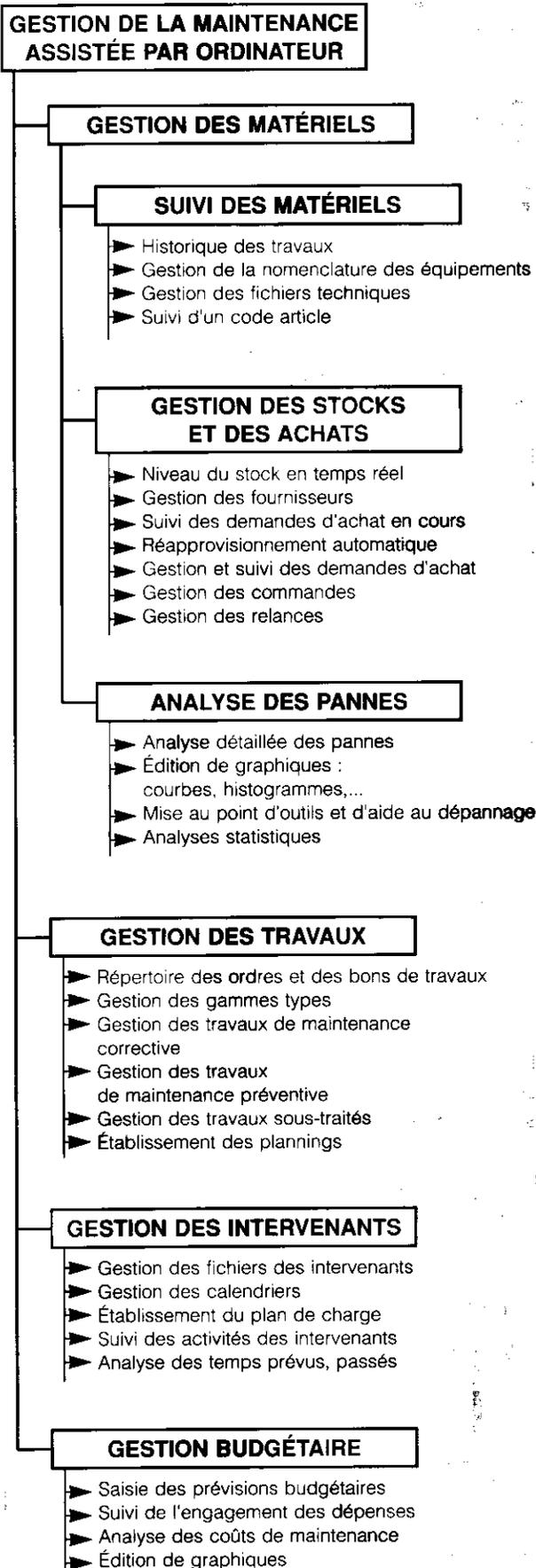
L'**optimisation d'un système de GMAO** passe par son exploitation en **multi-utilisateurs** d'où la nécessité d'un **réseau informationnel** (fig. 1b).



1b. Réseau multi-utilisateurs.

**2. EXEMPLE DE LOGICIEL DE GMAO**

● **STRUCTURE GÉNÉRALE**



● **EXEMPLES D'ÉDITIONS**

(progiciel CARL de la Société VALMER)

CD ARTICLE MOT1274		HISTORIQUE DES MOUVEMENTS STOCK				PAGE 4.1	
LIBELLÉ : MOTEUR ÉLECTR. 2CH GGJHGJH				FAM : MO		S-FAM : TR	
DATE	IMPUTATION	ENTRÉE	SORTIE	DATE	IMPUTATION	ENTRÉE	SORTIE
04-04-89	S 120		1	18-01-89	BT 1010-01		2
31-01-89	DA 131	10		28-03-88	-	1	
31-01-89	S 110		1	26-03-88	-	1	
19-01-89	-		1	03-03-88	BT 1945-01		1
18-01-89	BT 1914-01		1	03-03-88			1
18-01-89	BT 1968-01		1	02-03-88	BT 1892-01		1
18-01-89	BT 1924-01		1	02-03-88			1
18-01-89	BT 1912-01		1	01-03-88			1
18-01-89	BT 1010-01		1				
18-01-89	BT 1910-01		2				

L'historique des différentes entrées et sorties de pièces permet de suivre l'évolution des commandes et des consommations et d'optimiser les paramètres de réapprovisionnement.

CD ARTICLE ROUL40-71		PARAMÈTRES DE RÉAPPROVISIONNEMENT				PAGE 1.3
LIBELLÉ : ROULEMENT 40-71-13				FAM : RO		S-FAM : BI
CODE	RÉFÉRENCE	DÉLAI	PRIX EN F.	QUT MINI	CONDIT.	GARANTIE
FOURNISSEUR	FOURNISSEUR	LIVR.	(PAR U.)	(U.)	(U.)	MOIS
S.K.F.	RL014	15	53.40	10	5	3
ETS PERRIN	R5521	20	55.00	5	5	3
MICHAUD S.A.	R-011	20	50.00	5	5	3
FRAIS COMMANDE : 500,00 F		PÉRIODICITÉ : 1 J		QUT RÉAP. : 15		ESC. :
TAUX COÛT STCK : 25 %		(0 = MODE AUTO OFF)		PT COMM. : 10		FIN.

Pour chaque article en stock il est donné un certain nombre de paramètres : fournisseur, prix catalogue, délai de livraison, ...

INFORMATIONS SUR SOUS-TRAITANCE		NUMÉRO BT : 2223-01
CAS D'UNE SOUS-TRAITANCE SPÉCIFIQUE	DA OU « CRÉATION » : 890543 CODE FOURNISSEUR : 1.V.S. COÛT : 1 500 DÉSIGNATION DA : EXPERTISE VIBRATOIRE COMMANDE DES TRAVAUX À PASSER RAPIDEMENT DEVIS RÉF. 122ADS COÛT ESTIMÉ 1 500 F.	
CAS CONTRAT ENTRETIEN	NUMÉRO CONTRAT : 32654 TITRE ABRÉGÉ : ENTRETIEN SECTEUR 84	

Pour une intervention sous-traitée, il est donné le coût estimé, les référence du contrat, ...

ANNÉE 1989		ÉQUIPE : ATELIER ÉLECTRIQUE			COMPTE : 110
EN FRANCS	CURATIF	PRÉVENTIF	TRVX NEUFS	AMÉLIORAT.	TOTAL
MAIN D'ŒUVRE	12 780	15 690	0	2 360	30 830
PIÈCES RECHANGE	10 160	12 772	0	0	22 932
SOUS-TRAITANCE	1 570	5 460	0	1 580	8 610
TOTAL ENGAGÉ	24 510	33 922	0	3 940	62 372
%	39 %	54 %		7 %	100 %
POUR CHANGER D'ANNÉE F3 AN. PRÉCÉDENTE F4 AN. SUIVANTE			TOTAL PRÉVU		90 000
POUR CHANGER D'ÉQUIPE F5 EQUIP. PRÉCÉDENTE F6 EQUIP. SUIVANTE			SOLDE		27 628
			% DES ENGAGÉS		69 %
			ESC. : FIN		

Chaque compte est ventilé par équipe de travail et nature de travaux.

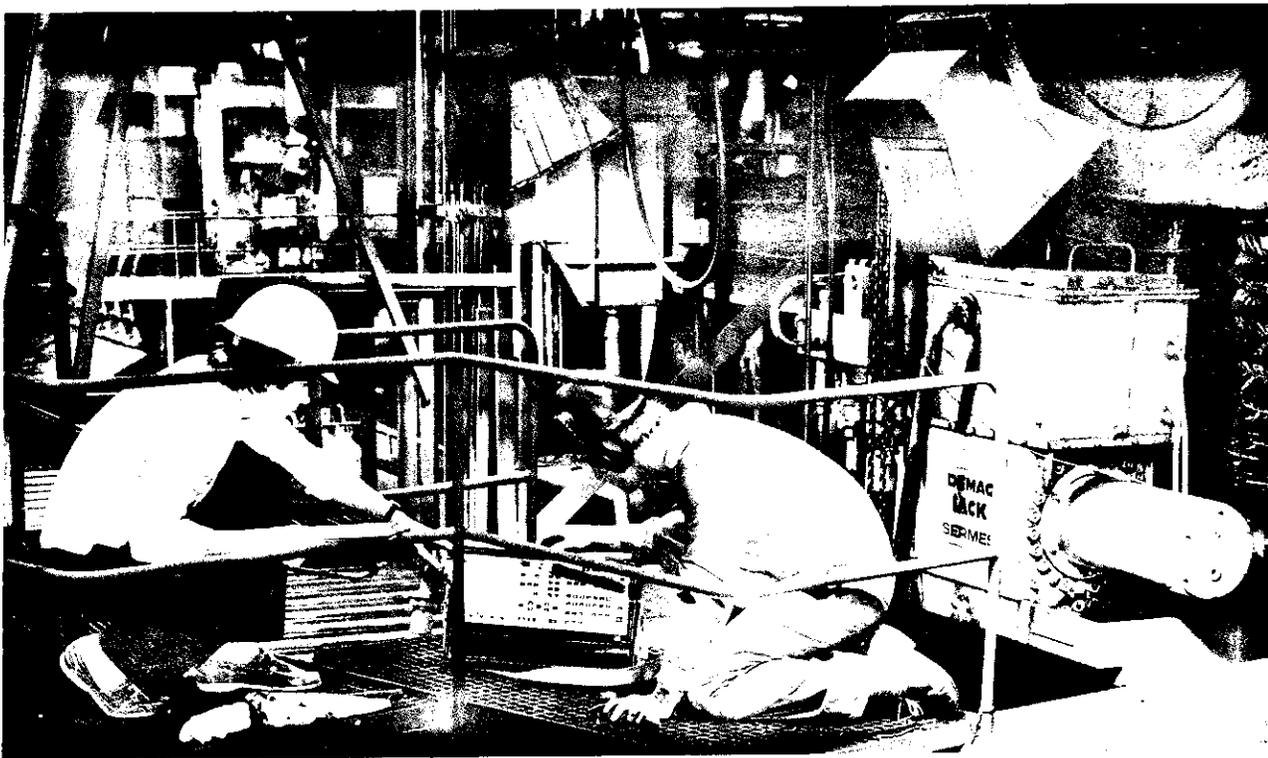
# SIXIÈME PARTIE

## COMPORTEMENT DU MATÉRIEL

- **ÉTUDE DES DÉFAILLANCES**
- **DISPONIBILITÉ – FIABILITÉ – MAINTENABILITÉ**
- **SUIVI DES MATÉRIELS**

Les contenus proposés dans cette sixième partie représentent les **ressources nécessaires** à l'acquisition des **savoirs et des savoir-faire technologiques** de la maintenance par un développement progressif des **capacités** :

- de définir avec précision le **mode de défaillance** observé ;
- de décrire les **caractéristiques d'une défaillance** ;
- de rechercher les **causes** d'une défaillance ;
- d'appliquer la **méthode d'analyse AMDEC** ;
- de calculer une **disponibilité intrinsèque** et une **disponibilité opérationnelle** ;
- de proposer des **améliorations de disponibilité** ;
- de calculer la **fiabilité** d'un matériel ;
- de proposer des **améliorations de maintenabilité** ;
- d'exploiter des **documents de suivi des matériels** ;
- de renseigner des **documents de suivi des matériels**.



Le suivi du comportement du matériel est une tâche importante de la maintenance.



L'étude des défaillances et la recherche de leurs causes exigent un matériel d'investigation performant.

# 31

## ÉTUDE DES DÉFAILLANCES

### 1. CARACTÉRISTIQUES DES DÉFAILLANCES

Une défaillance est la cessation de l'aptitude d'une entité à accomplir une fonction requise (suivant NF X60-500).

En conséquence :

- après défaillance d'une entité, cette entité est en état de panne,
- une défaillance est un passage d'un état à un autre, par opposition à une panne qui est un état.

Le terme générique entité est défini comme étant tout élément, composant, sous-système, système matériel ou processus que l'on peut considérer individuellement.

#### ● IDENTIFICATION D'UNE DÉFAILLANCE

Les caractéristiques d'une défaillance doivent être bien identifiées afin de prévoir et d'organiser l'intervention nécessaire pour la remise de l'entité dans son état initial (fig. 1a).

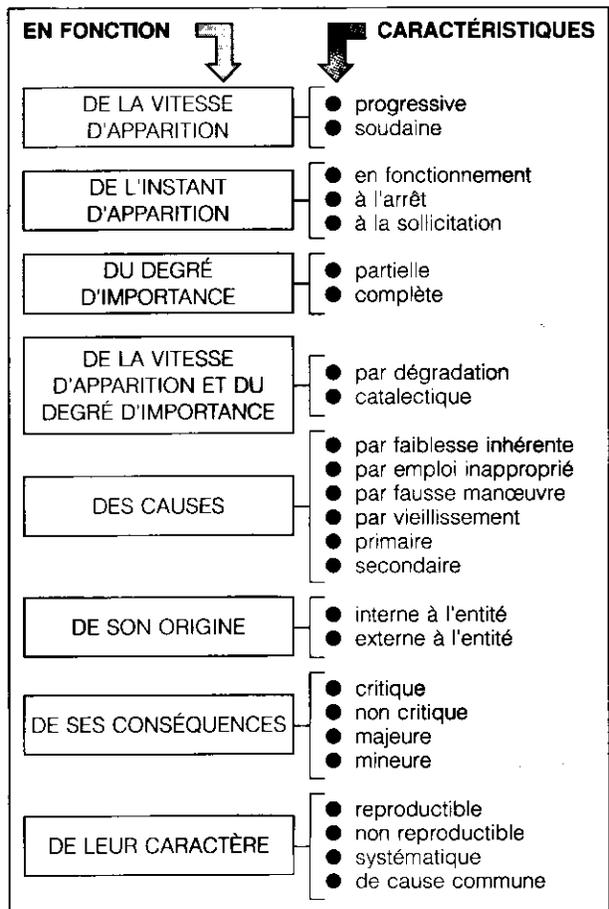
Exemples d'identification de défaillances :

- Défaillance d'un système de transmission par engrenages au moment du démarrage de la machine;
- Défaillance d'un moteur électrique due à un échauffement prolongé à la suite d'une surcharge;
- Défaillance catalectique, c'est-à-dire soudaine et complète, d'un système hydraulique due à la rupture d'un raccord.
- Défaillance intrinsèque d'une vanne motorisée due à un mauvais choix de son actionneur.

Une défaillance se caractérise également par le moment où elle se manifeste par rapport au cycle de vie du produit.

Elle peut être :

- **précoce** en se manifestant au début, dans ce cas elle se rapporte à la période de déverminage.



1a. Classification des défaillances.

Exemple :

Déverminage des équipements électroniques qui est une période pendant laquelle les composants qui présentaient, d'origine, des insuffisances intrinsèques deviennent totalement défectueux; le taux d'apparition de ce type de défaillance décroît rapidement.

- **aléatoire**, dont le taux est sensiblement constant durant le cycle de vie utile du produit;

- **d'usure**, en fin de cycle de vie du produit, avec un taux rapidement croissant en fonction du processus de détérioration par usure, par corrosion, par échauffement,...

● M  
Le mo  
défaill  
Il est t  
Exemp  
1. Fo  
2. Ne  
3. Ne  
4. Dé  
Ces m  
analys  
moder

Rép.
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33

1b. D  
● C  
Un s  
défaill  
pour  
poss  
Exem  
● L  
mot  
●  
(20).

● **MODE DE DÉFAILLANCE**

Le mode de défaillance est l'effet par lequel une défaillance est observée (suivant NF X60-010).

Il est toujours relatif à une fonction de l'entité.

Exemples de modes de défaillance généraux :

1. Fonctionnement prématuré.
2. Ne fonctionne pas au moment prévu.
3. Ne s'arrête pas au moment prévu.
4. Défaillance en fonctionnement.

Ces modes sont trop généraux pour effectuer une analyse concluante, il faut leur substituer des modes de défaillance plus spécifiés (fig. 1b).

Rép.	MODES DE DÉFAILLANCE
1	Défaillance structurelle (rupture)
2	Blocage physique ou coincement
3	Vibrations
4	Ne reste pas en position
5	Ne s'ouvre pas
6	Ne se ferme pas
7	Défaillance en position ouverte
8	Défaillance en position fermée
9	Fuite interne
10	Fuite externe
11	Dépasse la limite supérieure tolérée
12	Est en-dessous de la limite inférieure tolérée
13	Fonctionnement intempestif
14	Fonctionnement intermittent
15	Fonctionnement irrégulier
16	Indication erronée
17	Écoulement réduit
18	Mise en marche erronée
19	Ne s'arrête pas
20	Ne démarre pas
21	Ne commute pas
22	Fonctionnement prématuré
23	Fonctionnement après le délai prévu (retard)
24	Entrée erronée (augmentation)
25	Entrée erronée (diminution)
26	Sortie erronée (augmentation)
27	Sortie erronée (diminution)
28	Perte de l'entrée
29	Perte de la sortie
30	Court-circuit (électrique)
31	Circuit ouvert (électrique)
32	Fuite (électrique)
33	Autres conditions de défaillance exceptionnelles suivant les caractéristiques du système, les conditions de fonctionnement et les contraintes opérationnelles

1b. Désignation des modes de défaillance (NF X60-510).

● **CAUSES DE DÉFAILLANCES**

Un service maintenance doit, à partir du mode de défaillance, effet observable de cette dernière, poursuivre ses recherches pour définir les causes possibles de cette même défaillance.

Exemples :

● **Défaillance d'un équipement de démarrage d'un moteur électrique.**

- Mode de défaillance : le moteur ne démarre pas (20).

- Causes possibles :
  - manque de tension,
  - dispositif de protection déclenché,...

● **Défaillance de la régulation de la température d'un four industriel.**

- Mode de défaillance : mise en marche erronée (18).

- Causes possibles :
  - capteur de température défectueux,
  - élément chauffant défectueux,
  - mauvaise saisie de la consigne, ...

● **Bruit anormal sur un groupe moto-ventilateur.**

- Mode de défaillance : présence de vibrations (3).

- Causes possibles :
  - roulement défectueux,
  - pale de la turbine dessoudée,
  - carter desserré, ...

Les causes de défaillances peuvent se classer en trois catégories suivant qu'elles sont :

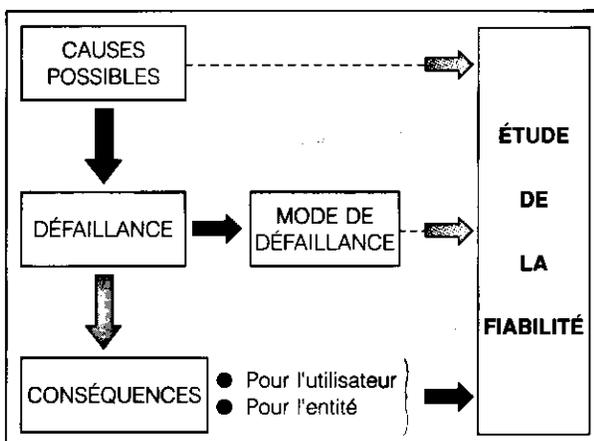
- **inhérentes au fonctionnement**, usure, chocs, surcharges, ...;
- **inhérentes à la conception fonctionnelle** et à l'**organisation structurelle** de l'entité, choix des matériaux, méthodes de fabrication, procédés d'assemblage, ...;
- **inhérentes à l'environnement**, atmosphère abrasive, situation immergée, ambiance explosive, ...

● **CONSÉQUENCES DES DÉFAILLANCES**

Toute défaillance entraîne des conséquences :

- **pour l'utilisateur** : insécurité, pollution, perte de crédit auprès de ses clients, augmentation de ses coûts de production et de maintenance, ...;
- **pour l'entité**, détérioration partielle ou complète, baisse de son rendement, ...

L'amélioration de la fiabilité d'une entité passe obligatoirement par une **analyse de ses défaillances** avec l'étude détaillée de leurs causes, de leurs modes et de leurs conséquences (fig. 1b).



1b. Étude des défaillances au service de l'amélioration de la fiabilité d'une entité.

## 2. CAUSES DES DÉFAILLANCES ET MAINTENANCE ASSOCIÉE

Une action de maintenance ne peut être jugée optimale c'est-à-dire :

- **efficace** dans sa **rapidité** d'exécution,

● et **fiable** pour ses effets dans le temps, que si la cause de la défaillance est parfaitement définie.

Le tableau fig. 2a présente une liste non exhaustive de quelques causes de défaillance avec les actions de maintenance qui peuvent leur être associées.

CATÉGORIE	EXEMPLES DE CAUSE	ACTION DE MAINTENANCE ASSOCIÉE
CAUSES INHÉRENTES AU FONCTIONNEMENT	<b>USURE</b> : avec la variation progressive des caractéristiques : <ul style="list-style-type: none"> <li>● mécaniques</li> <li>● dimensionnelles</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● <b>Maintenance de premier niveau</b> : nettoyage, lubrification,...</li> <li>● <b>Maintenance préventive conditionnelle</b> : suivi vibratoire, contrôle dimensionnel,...</li> <li>● <b>Maintenance d'amélioration</b> : traitement de surface,...</li> </ul>
	<b>CHOC</b> : avec la rupture totale ou partielle de certains constituants.	<ul style="list-style-type: none"> <li>● <b>Maintenance d'amélioration</b> pour l'étude et l'installation de dispositif de sécurité.</li> </ul>
	<b>SURCHARGE</b> : avec la détérioration progressive des caractéristiques de certains constituants par un non-respect des consignes d'exploitation.	<ul style="list-style-type: none"> <li>● <b>Maintenance d'amélioration</b> pour l'étude et l'installation des dispositifs de protection contre les surcharges avec la rédaction de consignes plus précises pour l'exploitation.</li> </ul>
CAUSES INHÉRENTES À LA CONCEPTION FONCTIONNELLE ET À L'ORGANISATION STRUCTURELLE DE L'ENTITÉ	<p><b>DÉFAUTS DUS AUX MATÉRIAUX</b> : avec une mauvaise tenue des pièces suite à un mode d'obtention défectueux par exemple :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● en fonderie : tapures, criques, retassures,...</li> <li>● en laminage : tensions internes,...</li> </ul> <p><b>DÉFAUTS DUS AUX MÉTHODES DE FABRICATION</b> : avec des pièces mal usinées, des soudures non homogènes,...</p> <p><b>DÉFAUTS DUS AUX MÉTHODES ET PROCÉDÉS DE MONTAGE</b> : avec un non-respect des jeux fonctionnels, des conditions de liaisons insatisfaisantes,...</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● <b>Maintenance corrective</b> pour la réparation des constituants défectueux.</li> <li>● <b>La fonction maintenance doit participer aux études et à la préparation du travail</b> concernant un nouveau matériel, en particulier dans :           <ul style="list-style-type: none"> <li>● le choix des matériaux,</li> <li>● la préparation des méthodes de fabrication et de montage,</li> <li>● les bases d'appréciation et les méthodes de contrôle, avec pour objectif l'amélioration de :               <ul style="list-style-type: none"> <li>● la maintenabilité,</li> <li>● de la fiabilité,</li> <li>● de la sécurité,</li> </ul> </li> </ul> </li> </ul> <p>dans la future exploitation de ce matériel.</p>
CAUSES INHÉRENTES À L'ENVIRONNEMENT	<p><b>DÉFAUTS DUS À UN MAUVAIS CHOIX DES CONSTITUANTS</b> : par rapport aux conditions d'influences externes :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● présence d'eau,</li> <li>● risques de chocs mécaniques,</li> <li>● température ambiante élevée,...</li> </ul> <p>ou par rapport à des atmosphères particulières :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● explosive,</li> <li>● corrosive,</li> <li>● chargée d'huile et de graisse,...</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● <b>Maintenance corrective</b> avec la mise en œuvre de constituants adaptés à ces environnements.</li> <li>● <b>Maintenance préventive</b> pour mesurer en permanence le niveau du risque présenté par ces atmosphères.</li> <li>● <b>La fonction maintenance doit informer</b> les études des contraintes spécifiques à ces environnements avec un dispositif d'amélioration :           <ul style="list-style-type: none"> <li>● de la sécurité,</li> <li>● de la fiabilité.</li> </ul> </li> </ul> <p>dans l'exploitation du matériel.</p>

2a. Causes de défaillance avec leurs actions de maintenance associées.

## 3. US

### ● US

L'usur  
pièces  
Ce tro  
traduit  
liques

L'usur  
dont u  
jeux de  
C'est u  
Dans M  
une co

●  
par l'a  
des op  
●  
male.  
consta

●  
avec  
échau



3a. M

### ● C

La co  
un m  
sa st  
face  
Pour  
d'orig

Exem

●  
la sur

●  
phéne  
de va  
lique,

●  
pièce  
miniu

La co  
fluide

### 3. USURE ET CORROSION

#### ● USURE

L'usure est le résultat du frottement de deux pièces en mouvement.

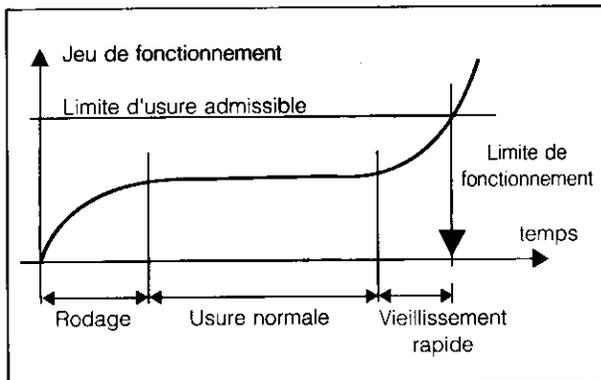
Ce frottement provoque un **échauffement** qui se traduit par un **arrachement de particules métalliques** sur les deux surfaces en contact.

L'usure est un mode de **dégradation progressif** dont une des conséquences est l'augmentation des jeux de fonctionnement.

C'est une **dégradation irréversible**.

Dans le temps la loi de l'usure peut se traduire par une courbe qui comprend trois phases (fig. 3a) :

- **phase 1** : période de **rodage** qui se traduit par l'arasage des aspérités résultant de la nature des opérations de finition en fabrication,
- **phase 2** : l'usure est **stabilisée**, elle est normale, le jeu de fonctionnement est pratiquement constant,
- **phase 3** : période de **vieillesse rapide** avec augmentation du jeu de fonctionnement, échauffement et grippage éventuel.



3a. Allure d'une courbe d'usure.

#### ● CORROSION

La **corrosion** est un mode de dégradation subi par un matériau qui se traduit par une **détérioration de sa structure interne** ou une **altération de sa surface** (fig. 3b).

Pour des matériaux métalliques elle est souvent d'origine chimique, électrochimique, physique :

Exemples :

- *oxydation des métaux ferreux avec altération de la surface par la rouille;*
- *arrachement de particules métalliques par un phénomène de cavitation, implosion des bulles d'air et de vapeur d'huile contenues dans un fluide hydraulique;*
- *détérioration du contact électrique entre deux pièces métalliques de nature différente, cuivre et aluminium par exemple, par oxydation électro-chimique.*

La corrosion est également présente dans certains fluides.

Exemple :

*Corrosion microbienne avec formation d'algues dans les bacs de lubrification des machines.*

Un processus de corrosion est toujours complexe aussi un agent de maintenance doit observer l'évolution de l'aspect de la surface en cours de corrosion. Est-elle lisse, brillante, terne, piquée, rugueuse, couverte de dépôt,...? Ces informations seront très utiles pour l'expert, spécialiste du processus de corrosion du secteur concerné.

#### ● ACTIONS DE MAINTENANCE ASSOCIÉES

- Pour l'usure voir tableau 2a.
- Pour la corrosion ces actions peuvent être :
  - **maintenance d'amélioration** au niveau des constituants de l'entité :
    - choix d'**autres matériaux**,
    - utilisation de **nouveaux revêtements**,...
    - maintenance d'amélioration au niveau de **l'environnement de l'entité** :
      - diminution de **l'agressivité de l'ambiance**,
      - **maintenance préventive** systématique avec des visites de matériels corrodés.

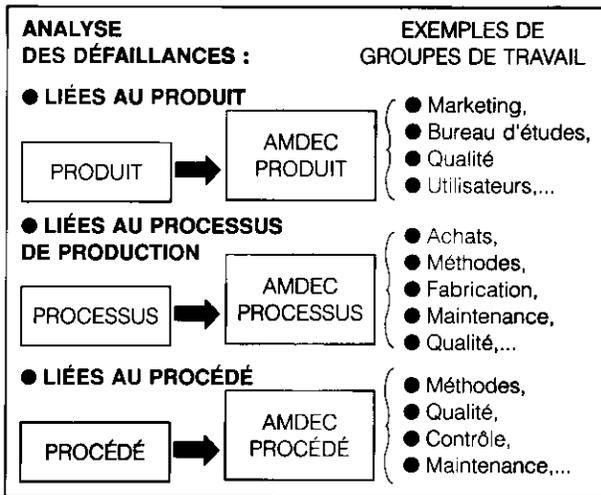


3b. Engin de chantier soumis à des conditions d'environnement difficiles qui provoquent une altération de la surface de ses pièces.

#### 4. ANALYSE DES MODES DE DÉFAILLANCE, DE LEURS EFFETS ET DE LEUR CRITICITÉ (AMDEC)

L'AMDEC est une méthode d'analyse de la fiabilité qui permet de recenser les défaillances dont les conséquences affectent le fonctionnement du système, dans le cadre d'une application donnée. Ainsi dans le cas d'un système de production, cette technique d'analyse peut être appliquée au niveau (fig. 4a) :

- du produit,
- du processus,
- du procédé.



4a. Niveaux d'application de l'AMDEC et groupes de travail associés.

#### ● MISE EN ŒUVRE DE LA TECHNIQUE AMDEC

Cette mise en œuvre comporte :

- une phase préliminaire, pour définir les limites de l'étude et constituer le groupe (fig. 4a) ;
- l'analyse des défaillances avec (fig. 4b) :
  - la détermination des modes de défaillance,
  - la recherche des causes,
  - l'inventaire des effets ;

● le calcul de la criticité qui définit la gravité des conséquences d'une défaillance par la prise en compte (fig. 4c) :

- de la fréquence d'apparition des défaillances caractérisée par un taux de défaillance,
- de la probabilité de non-détection des causes de défaillance,
- de la gravité des effets de la défaillance, par rapport à la sécurité des personnes et des biens, ou par rapport à l'importance des coûts de défaillance.

À chaque critère est associée un coefficient dans une échelle de valeurs préalablement établie :

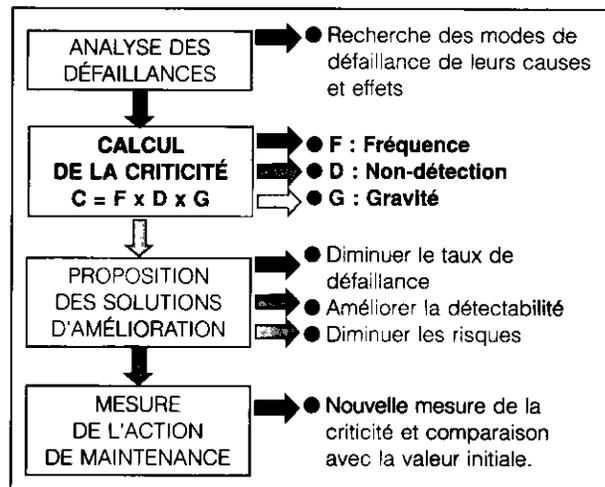
- fréquence : coefficient F
- non-détection : coefficient D
- gravité : coefficient G.

La criticité s'exprime par leur produit :

$$\text{Criticité} : C = F \times D \times G$$

La valeur relative des criticités des différentes défaillances permet de planifier les recherches d'amélioration en commençant par celles qui ont la criticité la plus élevée.

Après la mise en œuvre de ces améliorations il convient d'en évaluer leur efficacité en procédant à une nouvelle mesure de criticité et en la comparant à la situation antérieure.



4b. Déroulement d'une analyse AMDEC.

FRÉQUENCE D'APPARITION		NON DÉTECTION DES CAUSES		GRAVITÉ DES EFFETS	
Valeur	TAUX DE DÉFAILLANCE F	Valeur	NON DÉTECTION D	Valeur	SÉCURITÉ DES PERSONNES G
1	< 1 panne/an	1	Décelable par l'opérateur en fonctionnement	1	Aucun risque
2	≥ 1 panne/an < 1 panne/mois	2	Décelable par l'opérateur uniquement à l'arrêt	2	Négligeable
3	≥ 1 panne/mois < 1 panne/semaine	3	Décelable seulement par un agent de maintenance	3	Risque important d'accident
4	≥ 1 panne/semaine	4	Très difficilement décelable	4	Risque très important d'accident

4c. Exemples d'échelles de valeurs permettant le calcul de la criticité.

● EXEMPLE D'APPLICATION

● SYSTÈME ÉTUDIÉ

Le système étudié est une machine qui pose dans des radiateurs de climatisation d'automobiles des fils torsadés, appelés **turbulateurs**. Ces derniers facilitent l'échange thermique entre les deux fluides, l'air et l'eau (fig. 4d). La machine fonctionne 16 heures par jour, sa production horaire est de 50 radiateurs, les coûts de non-production s'élève à 2 000 F de l'heure.

Suite à des arrêts répétés de la machine le responsable du service maintenance décide d'une **étude AMDEC** avec un groupe d'étude constitué de lui-même, plus trois agents du service maintenance et deux techniciens.

● CONDUITE DE L'ÉTUDE AMDEC

● Limites de l'étude

Le système d'entraînement des turbulateurs est retenu comme champ d'application de l'**AMDEC** (fig. 4d).

● Analyse des défaillances

L'étude détaillée des bons de travaux consécutifs au dysfonctionnement de ce système a permis de recenser deux modes de défaillance avec leurs effets et causes associés (fig. 4e).

● Calcul de la criticité

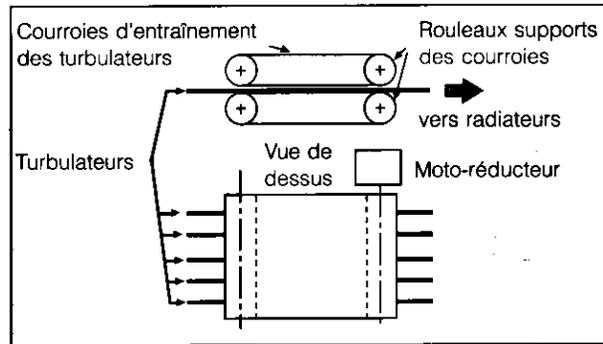
Avec les valeurs retenues pour les critères **F**, **D** et **G** il est possible de calculer la criticité à affecter à chaque défaillance (fig. 4f et 4g).

● Actions entreprises

La plus forte criticité 18, est associée à l'usure des courroies. Le service maintenance d'entreprendre une action de maintenance préventive systématique en changeant les courroies tous les quatre mois, en dehors des heures de production (MTBF = 5 mois).

● Impact de l'étude

Un an après l'amélioration aucun mauvais entraînement des turbulateurs n'a été constaté. Le changement des courroies ayant lieu hors production, le coefficient de gravité est égal à 2.



4d. Schéma des systèmes d'entraînement des turbulateurs.

MODES	EFFETS	CAUSES
Pas d'entraînement des turbulateurs	Radiateurs non conformes	Défaillance du moto-réducteur
idem	idem	Roulements rouleaux défectueux
Mauvais entraînement des turbulateurs	idem	Courroies usées

4e. Étude des défaillances relatives au système.

FRÉQUENCE : F	
1	1 défaillance maxi par an
2	1 défaillance maxi par trimestre
3	1 défaillance maxi par mois
4	1 défaillance maxi par semaine
NON DÉTECTION : D	
1	Visible par l'opérateur
2	Détection aisée par un agent de maintenance
3	Détection difficile
4	Indécelable
GRAVITÉ (INDISPONIBILITÉ) : G	
1	pas d'arrêt de la production
2	arrêt ≤ 1 heure
3	1 heure < arrêt ≤ 1 jour
4	arrêt > 1 jour

4f. Échelles de valeurs pour le calcul de criticité.

ANALYSE DES MODES DE DÉFAILLANCES DE LEURS EFFETS ET DE LEUR CRITICITÉ										MACHINE : Pose turbulateurs			
SYSTÈME, SOUS-ENSEMBLE OU ÉLÉMENT	DÉFAILLANCES			CRITICITÉ				ACTIONS ENTREPRISES	ÉVOLUTION				
	Modes	Effets	Causes	F	D	G	C = F x D x G		F	D	G	C = F x D x G	
Entraînement des turbulateurs	Pas d'entraînement des turbulateurs	Radiateurs non conformes	Défaillance du moto-réducteur	1	2	3	6						
idem	idem	idem	Roulement à rouleaux défectueux	1	2	3	6						
idem	Mauvais entraînement des turbulateurs	idem	Courroies usées	2	3	3	18	Changement des courroies tous les quatre mois	1	3	2	6	

4g. Étude AMDEC relative au système d'entraînement des turbulateurs.

# 32

## DISPONIBILITÉ FIABILITÉ MAINTENABILITÉ

### 1. CONCEPT DE DISPONIBILITÉ

(Suivant la Norme NF X60-500)

La disponibilité est l'aptitude d'une entité à être en état d'accomplir une fonction requise dans des conditions données, en supposant que la fourniture des moyens extérieurs nécessaires soit assurée.

Le terme générique entité est défini comme étant tout élément, composant, sous-système, système matériel ou processus que l'on peut considérer individuellement.

Commentaires :

- cette aptitude est fonction d'une **combinaison** de la **fiabilité**, de la **maintenabilité** et du **soutien en maintenance** de l'entité;

- la carence des moyens extérieurs nécessaires autres que les moyens de maintenance n'est pas à prendre en compte.

Exemples :

L'abonné qui décroche son combiné téléphonique espère obtenir la ligne, la ménagère qui va utiliser son lave-linge compte sur un bon fonctionnement de ce dernier, le cyclomotoriste qui prend son engin de locomotion compte qu'il va démarrer correctement. Ces trois usagers espèrent que leur objet ou système technique présente une bonne disponibilité par opposition à une situation de panne, de réparation, d'attente de réparation qui traduirait une indisponibilité.

### ● QUANTIFICATION DE LA DISPONIBILITÉ

La disponibilité moyenne sur un intervalle de temps donné peut être évaluée par le rapport :

$$\frac{\text{TEMPS DE DISPONIBILITÉ}}{\text{TEMPS DE DISPONIBILITÉ} + \text{TEMPS D'INDISPONIBILITÉ}}$$

En l'exprimant par rapport à des temps moyens :

- le temps moyens de disponibilité (TMD) s'écrit :

$$\text{TMD} = \frac{\text{TEMPS MOYEN DE DISPONIBILITÉ}}{\text{TEMPS MOYEN DE DISPONIBILITÉ} + \text{TEMPS MOYEN D'INDISPONIBILITÉ}} = \frac{\text{TMD}}{\text{TMD} + \text{TMI}}$$

et en anglais :  $\frac{\text{MUT (Mean Up Time)}}{\text{MUT} + \text{MDT (Mean Down Time)}}$

Exemple :

dans des équipements de surveillance ou de secours, tels que :

- surveillance d'un réacteur nucléaire;
- pilote automatique d'avion;
- source autonome d'énergie sur un engin spatial;

l'indisponibilité doit être inférieure à  $10^{-5}$ .

### ● DISPONIBILITÉ INTRINSÈQUE

Elle exprime le **point de vue du constructeur** (fig. 1a).

Ce dernier a conçu et fabriqué le produit en lui conférant un certain nombre de caractéristiques intrinsèques, c'est-à-dire des caractéristiques qui prennent en compte les conditions d'installation, d'utilisation, de maintenance et d'environnement, supposées être idéales.

Exemples :

- un fabricant de contacteurs indique que tel type de contacteur peut supporter un million de cycles de manœuvres dans des conditions d'utilisation bien spécifiées;

- le constructeur d'un onduleur électronique précise :

- que le temps moyen de fonctionnement entre défaillances, **FMED**, est  $0,5 \cdot 10^5$  heures;

- et que le temps moyen avant remise en service, **TMRS**, est de 10 heures;

d'où une disponibilité intrinsèque  $D_i$  :

$$D_i = \frac{\text{FMED}}{\text{FMED} + \text{TMRS}} = \frac{0,5 \cdot 10^5}{0,5 \cdot 10^5 + 10} = 0,998.$$

En angl  
FMED :

TMRS :

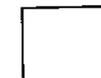
Exemple

● u  
accord  
d'une m  
idéales

Calcul  
sont ex

Temp

↓



Def

$D_i =$

● D

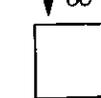
Il s'ag  
réelles  
dispon

Exemp  
la mac  
étude  
vant :

Temps

↓

60



Défa  
lance  
Attent  
mainte

En anglais :

**FMED : MTBF** (Mean operating time between failures)

**TMRS : MTRR** (Mean time to restoration)

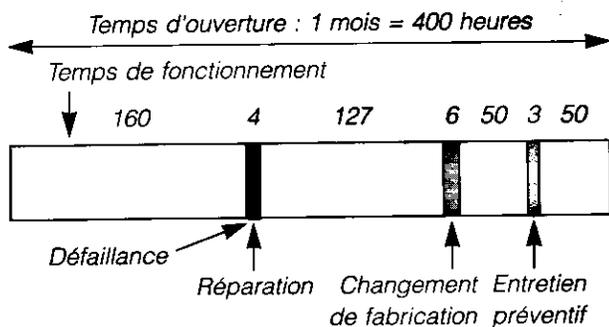
$$D_i = \frac{MTBF}{MTBF + MTRR}$$

Exemple :

● un fabricant de machines outils prévoit en accord avec son client la disponibilité intrinsèque d'une machine en prenant en compte des conditions idéales d'exploitation et de maintenance :

- 1 changement de fabrication par mois temps moyen du changement : 6 heures ;
- maintenance corrective :
  - taux de défaillance : 1 panne/mois,
  - temps moyen de réparation : 4 heures ;
- 3 heures d'entretien préventif par mois.

Calcul de la **disponibilité intrinsèque**  $D_i$  (les temps sont exprimés en heures).



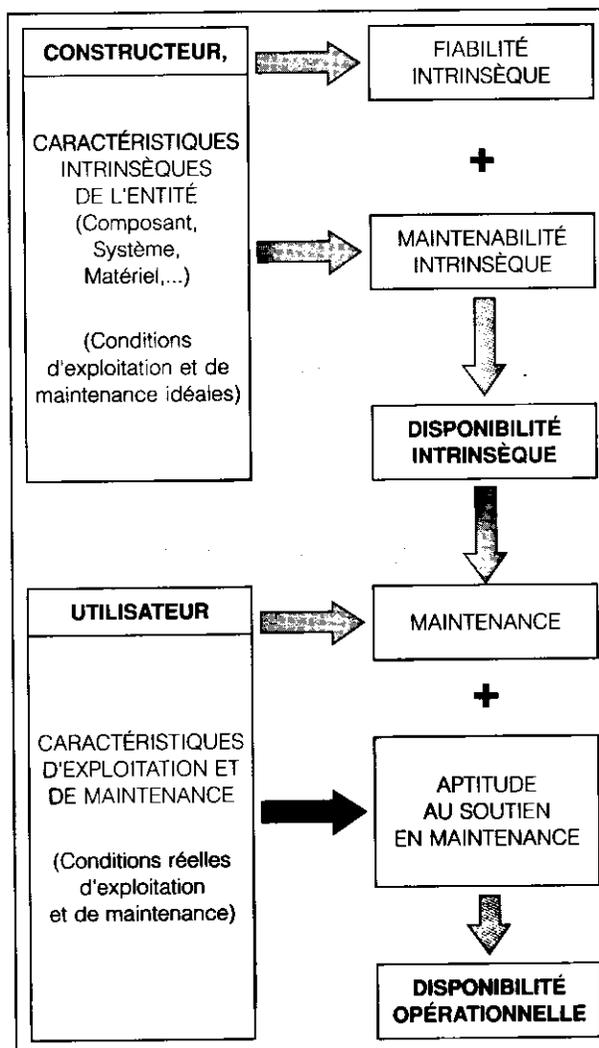
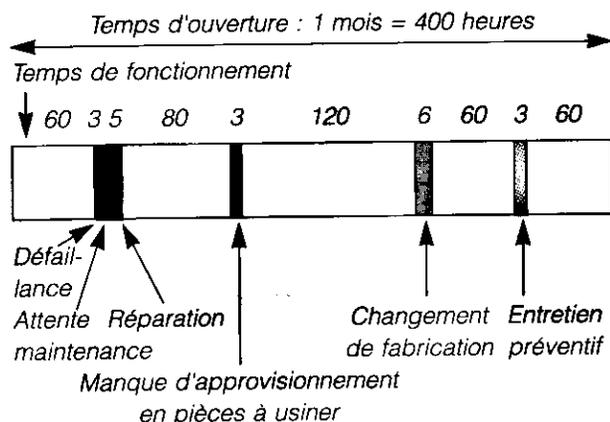
$$D_i = \frac{160 + 127 + 50 + 50}{(160 + 127 + 50 + 50) + (4 + 6 + 3)} = \frac{387}{400} = 0,97$$

### ● DISPONIBILITÉ OPÉRATIONNELLE

Il s'agit de prendre en compte les **conditions réelles d'exploitation et de maintenance**. C'est la disponibilité du **point de vue utilisateur** (fig. 1a).

Exemple :

la machine de l'exemple précédent a fait l'objet d'une étude en exploitation qui a conduit à l'historique suivant :



1a. Les deux formes de disponibilité.

Calcul de la **disponibilité opérationnelle**  $D_o$

$$D_o = \frac{(60 + 80 + 120 + 60 + 60)}{(60 + 80 + 120 + 60 + 60) + (3 + 5 + 3 + 6 + 3)} = 0,95$$

### ● DÉCOMPOSITION TEMPORELLE ET DÉFINITION DES DISPONIBILITÉS ASSOCIÉES

La norme **NF X60-500** définit avec précision les différents types d'arrêts associés aux états d'une entité (fig. 1b).

**Elle distingue le temps effectif de disponibilité du temps de disponibilité, ce dernier incluant les temps d'arrêt pour causes extérieures.**

Exemple :

un temps d'arrêt dû à une coupure EDF ou une grève du personnel est à considérer comme temps de disponibilité.

Cette décomposition temporelle permet d'y associer plusieurs calculs de disponibilité (figure 1b) présentant chacun un intérêt particulier (fig. 1c).

NATURE DES TEMPS	TEMPS TOTAL										TEMPS NON REQUIS																				
	TEMPS REQUIS									TEMPS DE DISPONIBILITÉ																					
	TEMPS EFFECTIF DE DISPONIBILITÉ	TEMPS D'INCAPACITÉ																													
	TEMPS DE DISPONIBILITÉ			TEMPS D'INDISPONIBILITÉ																											
Fonctionnement	Attente	Incapacité pour causes extérieures			Maintenance préventive	Contraintes d'exploitation		Indisponibilité après défaillance			Temps potentiel de disponibilité	Temps potentiel d'indisponibilité																			
SITUATIONS CORRESPONDANTES	Matériel accomplissant une fonction requise	Matériel non sollicité	Manque d'alimentation (énergie)	Manque de main-d'œuvre	Manque ou saturation de pièces	Pièces en amont non conformes	Entretien préventif niveaux 1 et 2	Inspection - Contrôle	Visite	Changement d'outil programmé	Changement de fabrication	Contrôle produit fabriqué	Temps de réparation	Diagnostic - Réparation - Remise en service	Remise en condition	Non détection	Appel à la maintenance	Approvisionnement en outillage	Approvisionnement en pièces de rechange	Non besoin de production	Travaux lourds de maintenance										
																						<p>● <b>DISPONIBILITÉ INTRINSÈQUE : <math>D_I = \frac{①}{① + ②}</math></b></p>									
																						<p>● <b>DU POINT DE VUE MAINTENANCE : <math>D_M = \frac{①}{① + ③}</math></b></p>									
																						<p>● <b>DISPONIBILITÉ OPÉRATIONNELLE : <math>D_O = \frac{①}{① + ④}</math></b></p>									
																						<p>● <b>DISPONIBILITÉ GLOBALE : <math>D_G = \frac{①}{① + ⑤}</math></b></p>									

1b. Décomposition temporelle et définition des disponibilités associées.

<b>DISPONIBILITÉ INTRINSÈQUE : <math>D_I</math></b>	Caractérise les <b>qualités intrinsèques d'une entité</b> . La carence des moyens extérieurs et des moyens de maintenance ne sont pas pris en compte.
<b>DISPONIBILITÉ DU POINT DE VUE MAINTENANCE : <math>D_M</math></b>	Conforme à la définition de la norme, seule la <b>carence des moyens de maintenance est prise en compte</b> .
<b>DISPONIBILITÉ OPÉRATIONNELLE : <math>D_O</math></b>	Caractérise les conditions <b>réelles d'exploitation</b> et de <b>maintenance</b> .
<b>DISPONIBILITÉ GLOBALE : <math>D_G</math></b>	Caractérise le <b>taux global d'utilisation</b> de l'entité.

1c. Intérêt des différents types de disponibilité.

## 2. EXEMPLE DE CALCUL DE DISPONIBILITÉ

Le service maintenance d'une fonderie doit déterminer la disponibilité d'une grenailleuse automatique. Cette machine fonctionne 18 heures par jour, 6 jours par semaine. L'entreprise est fermée durant le mois d'août.

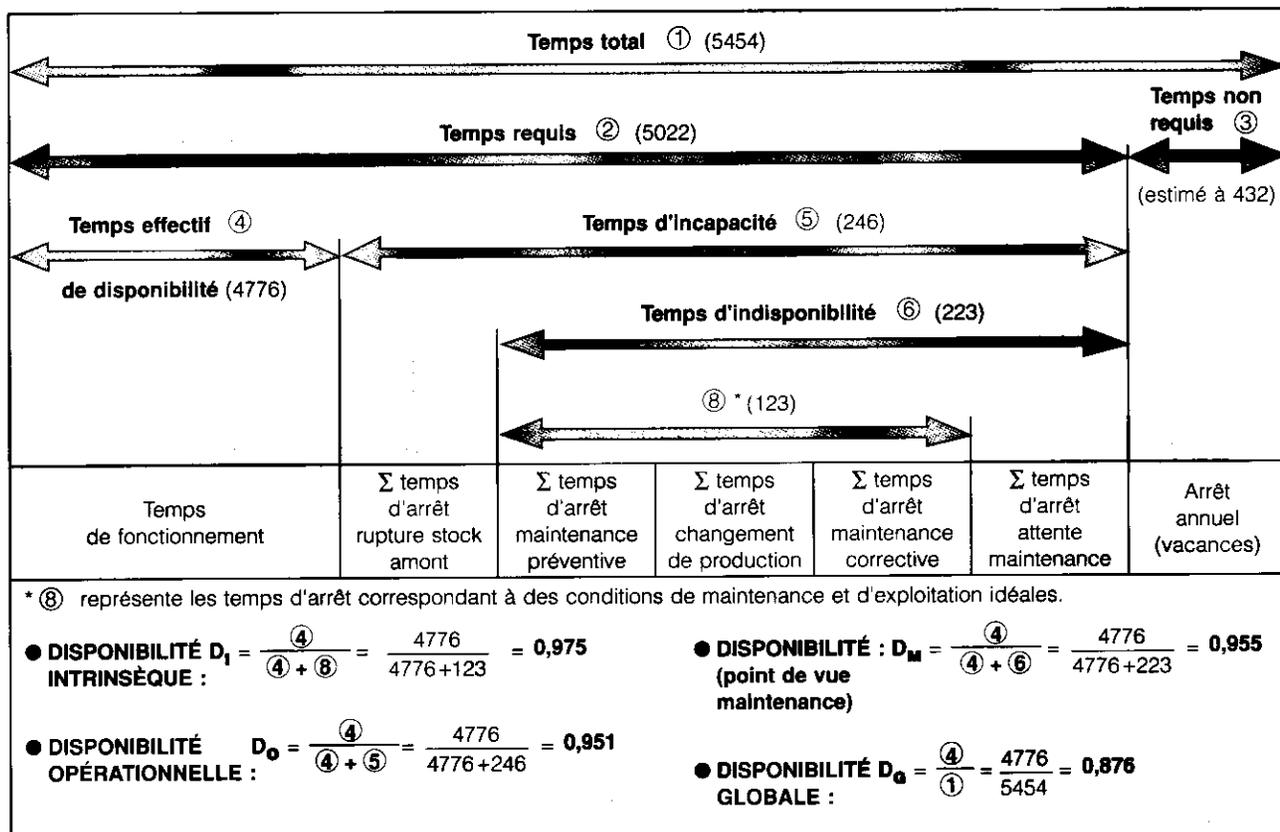
Le tableau 2a regroupe les temps, exprimés en heures, relatifs à l'exploitation de la grenailleuse pendant un an.

Exploitation des calculs de disponibilité (fig. 2b).

Une différence notable entre la disponibilité opérationnelle,  $D_o = 0,951$ , et la disponibilité intrinsèque,  $D_i = 0,975$  peut caractériser une mauvaise organisation de la production et/ou de la maintenance. Mais seule la maintenance est à mettre en cause car la disponibilité opérationnelle,  $D_o = 0,951$ , et la disponibilité du point de vue maintenance,  $D_m = 0,955$ , sont sensiblement égales.

RELEVÉ DE TEMPS (en heures)		SECTEUR : Moulage				MACHINE : Grenailleuse	
MOIS	Temps requis	Temps de fonctionnement	Σ temps d'arrêt rupture stock amont	Σ temps d'arrêt maintenance préventive	Σ temps d'arrêt changement de production	Σ temps d'arrêt maintenance corrective	Σ temps d'arrêt attente maintenance
Janvier	468	441	5	5	-	7	10
Février	414	399	-	-	-	3	12
Mars	432	417	1	-	8	1	5
Avril	468	442	2	5	-	12	7
Mai	450	420	-	-	-	9	21
Juin	468	447	6	-	-	4	11
Juillet	468	443	-	20	-	1	4
Août	-	-	-	-	-	-	-
Septembre	468	450	2	-	-	14	2
Octobre	486	453	-	5	8	13	7
Novembre	414	400	-	-	-	5	9
Décembre	486	464	7	-	-	3	12
<b>TOTAL</b>	<b>5022</b>	<b>4776</b>	<b>23</b>	<b>35</b>	<b>16</b>	<b>72</b>	<b>100</b>

2a. Relevé des temps relatifs à l'exploitation d'une grenailleuse.



2b. Calcul des disponibilités relatives à la grenailleuse.

### 3. AMÉLIORATION DE LA DISPONIBILITÉ

Une entité (processus, système matériel, sous-système ou composant) présente des caractéristiques intrinsèques :

- d'utilisation,
- de maintenance,
- de fiabilité,
- de maintenabilité.

Exemple :  
pour un centre d'usinage :

- 15 secondes de changement d'outil pour son utilisation,
- un graissage par mois pour sa maintenance,
- une panne par mois pour sa fiabilité,
- un temps moyen avant remise en service de 2 heures pour sa maintenabilité.

Toutes ces caractéristiques confèrent à l'entité une certaine **disponibilité intrinsèque** à partir de laquelle :

- le service **production** peut prévoir des **conditions d'utilisation**,
- le service **maintenance** peut établir le **planning des interventions**.

Toutes ces conditions sont considérées comme idéales (fig. 3a).

Dans la réalité de l'exploitation de l'entité certains aléas risquent de se produire :

- **aléas de production ;**

Exemples :

- manque de pièces,
- pièces non conformes,
- casse d'outillage,...

- **aléas de maintenance ;**

Exemples :

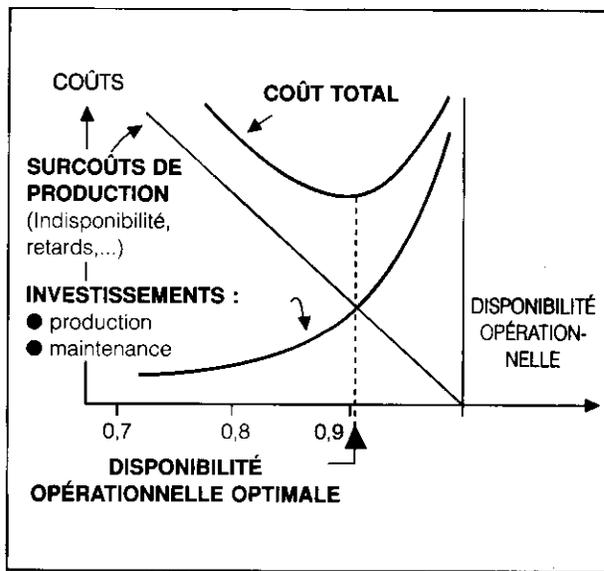
- indisponibilité du personnel de maintenance,
- manque de pièces de rechange,
- outillage de diagnostic défectueux...

- **aléas d'environnement ;**

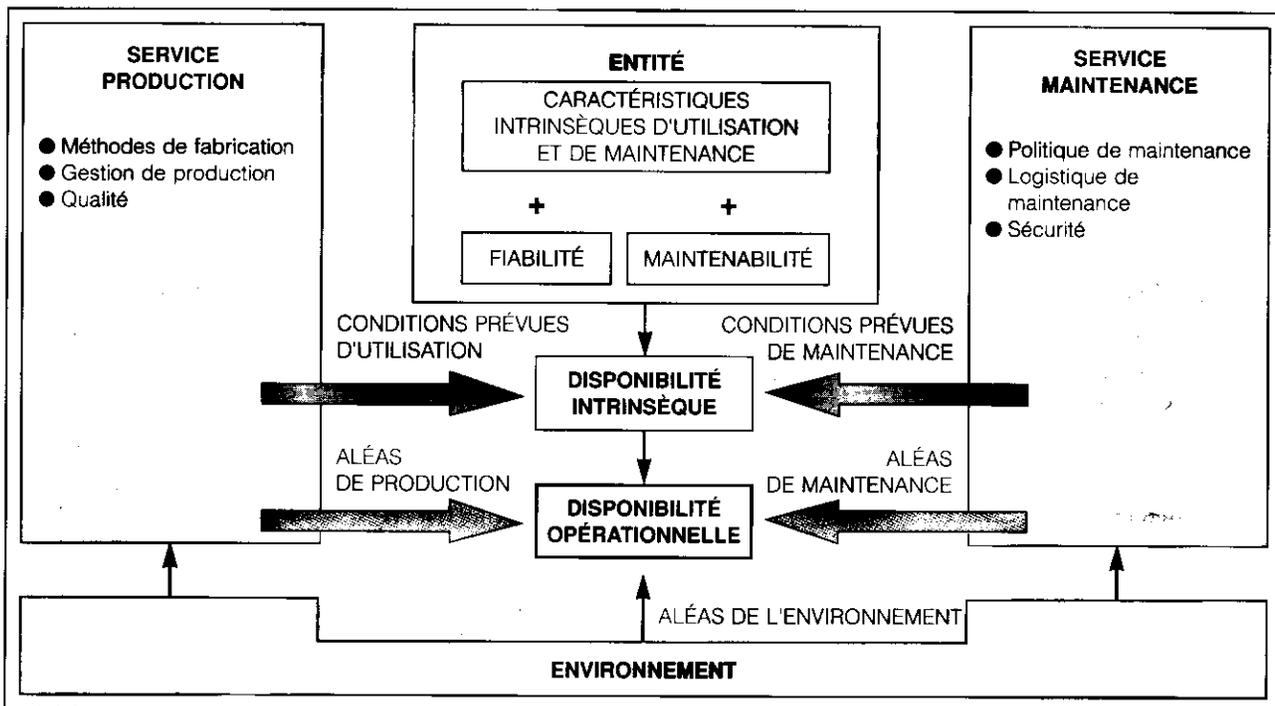
Exemples :

- absence de personnel pour fait de grève,
- manque d'énergie,
- rupture d'approvisionnement liée à des conditions climatiques exceptionnelles.

Ces différents aléas confèrent à l'entité la **disponibilité opérationnelle** que le service de maintenance doit améliorer au moindre coût (fig. 3b).



3b. Optimisation de la disponibilité opérationnelle.



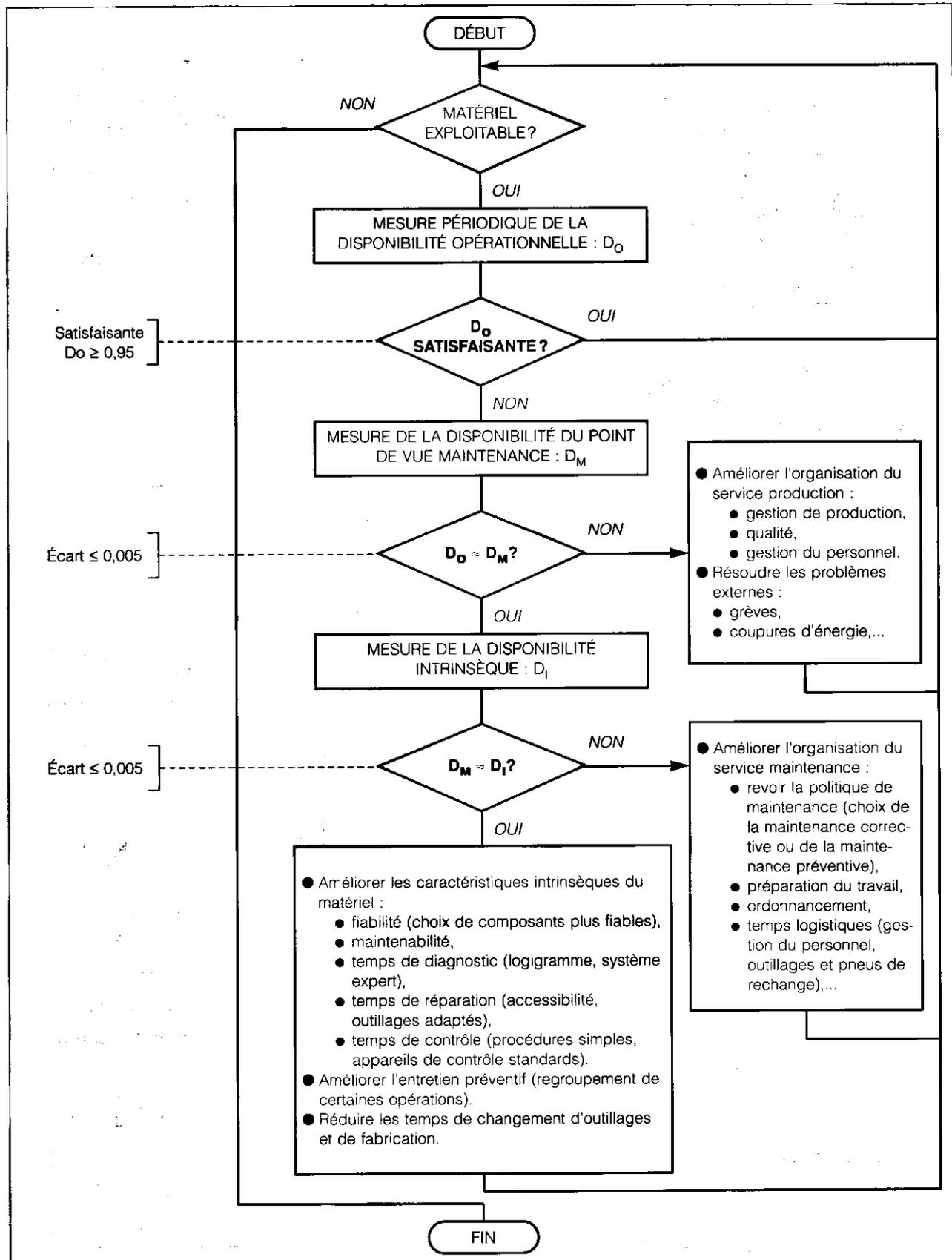
3a. Composantes des disponibilités intrinsèque et opérationnelle.

À pa  
intrin  
nanc  
ration

À partir des mesures des différentes disponibilités, intrinsèque, opérationnelle, du point de vue maintenance, il doit être recherché les solutions d'amélioration de la disponibilité opérationnelle.

Exemple :

Avec une disponibilité opérationnelle  $< 0,95$  les services de maintenance doivent rechercher des améliorations comme celles proposées fig. 3c.



3c. Exemples d'amélioration de la disponibilité opérationnelle.

### 4. CONCEPT DE FIABILITÉ

(Suivant Norme NF X60-500)

**La fiabilité est l'aptitude d'une entité à accomplir une fonction requise dans des conditions données, pendant un intervalle de temps donné.**

Le terme fiabilité est aussi employé comme caractéristique de cette aptitude; c'est la probabilité pour qu'une entité accomplisse une fonction requise, dans des conditions données pendant un intervalle de temps donné.

Exemple :

la fiabilité d'un roulement de broche pendant 20 000 heures de fonctionnement est égale à 0,9 signifie :

- qu'il y a 90 chances sur 100 → **PROBABILITÉ**
- pour que le roulement fonctionne sans signe d'usure → **FONCTION REQUISE**
- pendant 20 000 heures → **TEMPS DONNÉ**
- à une fréquence de rotation moyenne de 1 500 tr/min → **CONDITIONS DONNÉES**

### ● QUANTIFICATION DE LA FIABILITÉ

Exemple :

#### Fiabilité d'une fabrication

Dans une entreprise les tests de fin de fabrication et les retours clients ont permis de constituer un historique concernant le nombre des matériels en panne par intervalle de temps de fonctionnement.

Cet intervalle de temps de fonctionnement est égal à un mois et l'étude porte sur sept mois pendant lesquels 72 matériels ont été constatés en panne.

Le tableau fig. 4a récapitule les éléments de cet historique.

Intervalle	1	2	3	4	5	6	7
Intervalle de temps de fonctionnement avant une défaillance (en mois)	0 à 1	1 à 2	2 à 3	3 à 4	4 à 5	5 à 6	6 à 7
Nombre de matériels défaillants dans l'intervalle	25	10	7	6	5	9	10

4a. Historique sous forme de tableau.

Ce tableau précise pour chaque **Intervalle de temps Δt d'un mois** le nombre de défaillances dont le total est de 72 au bout des 7 mois.

#### Expression de la fiabilité

La fonction fiabilité a pour expression :

$$R(t)$$

**Elle représente la probabilité de fonctionnement sans défaillance pendant un temps t.**

Exemple :

Calcul de la probabilité de non-défaillance sur les 3 premiers mois.

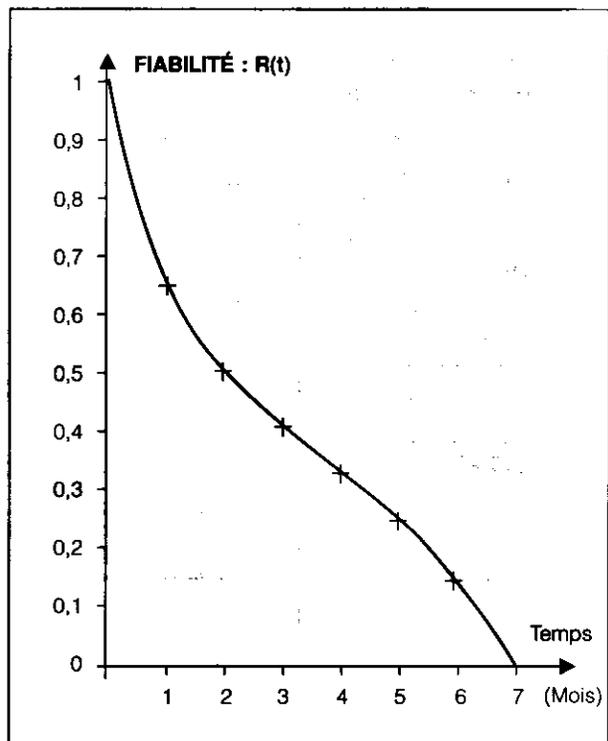
Nombre d'appareils sans défaillance à la fin du 3<sup>e</sup> mois :

$$R(3 \text{ mois}) = \frac{72 - 42}{72} = 0,42$$

Nombre total des matériels défaillants à la fin du 7<sup>e</sup> mois.

Il y a 42 chances sur 100 pour qu'un matériel fonctionne sans défaillance durant les trois premiers mois de son utilisation.

La courbe fig. 4b qui représente la fiabilité met bien en évidence que cette dernière est une fonction décroissante tendant vers 0.



4b. Courbe de fiabilité.

Cette courbe est tracée suivant le tableau ci-dessous :

Intervalle	1	2	3	4	5	6	7
Nombre de matériels sans défaillance à la fin de l'intervalle	47	37	30	24	19	10	0
FIABILITÉ R(t)	0,65	0,51	0,42	0,33	0,26	0,14	0

## ● TAUX DE DÉFAILLANCE : $\lambda(t)$

C'est une caractéristique de fiabilité fréquemment utilisée. Elle désigne la proportion, ramenée à l'unité de temps, des entités qui ayant survécu à un instant arbitraire  $t$  ne sont plus en vie à l'instant  $t + \Delta t$ .

Exemple : (tableau fig. 4a)

- Au début du troisième mois il y a

$72 - (25 + 10) = 37$  matériels en bon fonctionnement.

- Durant ce troisième mois 7 appareils sont défectueux.

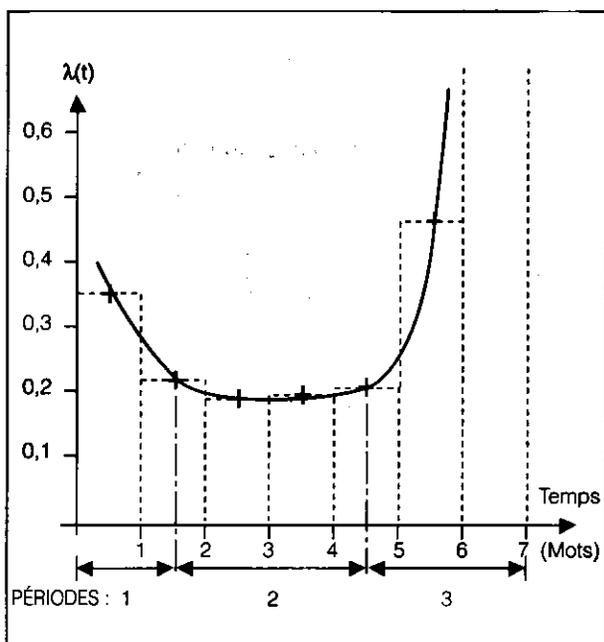
- La proportion ramenée à l'unité de temps, choisie égale à 1 mois, s'écrit :

$$\lambda(t) = \frac{7}{37 \times 1} = 0,189 \text{ panne durant le 3}^{\text{e}} \text{ mois.}$$

Ce taux de défaillance se lit :

il y a 18,9 risques sur 100 pour que les appareils encore en bon fonctionnement au début du troisième mois ne le soient plus à la fin du mois.

Avec les taux de défaillance calculés pour chacun des sept intervalles de temps il est possible de tracer la courbe ci-dessous (fig. 4c).



4c. Courbe du taux de défaillance en fonction du temps.

Cette courbe met en évidence trois périodes :

- **Période 1 : période de défaillance précoce** (ou période de jeunesse) est la période initiale possible dans la vie d'une entité, commençant à un instant donné et pendant laquelle le **taux de défaillance décroît rapidement** jusqu'à un minimum ou un palier.

Exemples :

- en mécanique cette période peut être réduite par un rodage ;

- en électronique, elle est appelée **déverminage** et un pré-vieillessement des composants pourrait la réduire.

- **Période 2 : période de défaillance à taux constant** (ou période de taux constant de défaillance) est la période possible dans la vie d'une entité pendant laquelle le **taux instantané de défaillance est pratiquement constant**.

Exemples :

C'est la durée de vie utile qui est plus importante en électronique qu'en mécanique du fait de la bonne stabilité dans le temps des composants, par rapport à l'usure constante et progressive des constituants mécaniques.

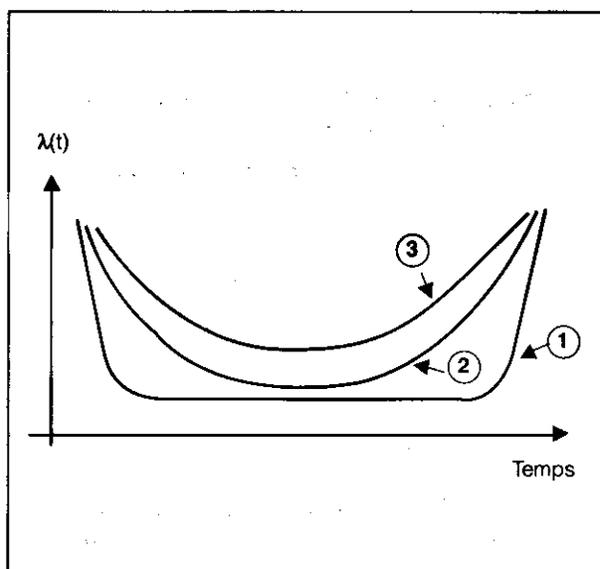
- **Période 3 : période de défaillance par vieillissement** (ou période de fin de vie) est la période finale possible dans la vie d'une entité pendant laquelle le **taux instantané de défaillance croît rapidement** à partir d'un minimum ou d'un palier.

Exemples :

Les défaillances sont dues à l'usure et cette période pourrait être réduite, ce qui prolongerait d'autant la période de vie utile, par un remplacement systématique :

- des composants particulièrement chargés en électronique,
- ou des constituants présentant un taux de fatigue important en mécanique.

Les courbes du taux de défaillance ont une même forme générale dite en **baignoire** mais présentent néanmoins quelques différences suivant la technologie dominante de l'entité étudiée (fig. 4d) :



4d. Exemples de courbes caractéristiques du taux de défaillance.

1. en électronique,
2. en électro-mécanique,
3. en mécanique.

● **TEMPS MOYEN DE FONCTIONNEMENT AVANT LA PREMIÈRE DÉFAILLANCE : FMAP**

C'est la durée cumulée des temps de fonctionnement d'une entité depuis l'instant de la première mise en service jusqu'à l'apparition de la première défaillance.

La remise en service suite à une rénovation est assimilée à une première mise en service. La correspondance en anglais de FMAP est MTTF : *operating time to first failure*.

Exemple :

Calcul du FMAP à partir des données du tableau fig. 4a.

DONNÉES		CALCULS	
Intervalle de fonctionnement d'un mois		Nombre de défaillances par intervalle $N_i$	Produits du temps cumulé de fonctionnement par le nombre de défaillance $T_c \times N_i$
Repères	Temps cumulé de fonctionnement (en mois) $T_c$		
1	1	25	25
2	2	10	20
3	3	7	21
4	4	6	24
5	5	5	25
6	6	9	54
7	7	10	70
Somme des produits $T_c \times N_i =$			239

$$FMAP = \frac{1}{72} \times 239 = 3,31.$$

72 est le nombre total de matériels constatés en défaillance durant les 7 mois couverts par l'historique.

**FMAP = 3,31** signifie qu'à partir de sa mise en service il est probable qu'un matériel ne tombera pas en panne avant 3,31 mois.

● **FMAP DURANT LA PÉRIODE CORRESPONDANT À UN TAUX CONSTANT DE DÉFAILLANCE (suivant période 2 de la courbe 3c)**

Dans ce cas :

$$FMAP = \frac{1}{\text{Taux constant de défaillance}} = \frac{1}{\lambda}$$

Exemple :

A partir de l'historique fig. 3a et de la courbe fig. 3c le taux de défaillance durant la période 2 de la courbe est d'environ 0,2

$$d'où FMAP = \frac{1}{0,2} = 5 \text{ mois.}$$

**FMAP = 5 mois** signifie qu'il est probable, qu'un matériel ayant atteint la période 2 ne tombera pas en panne avant 5 mois, en moyenne.

**5. CONCEPT DE MAINTENABILITÉ**

(Suivant norme NF X60-500)

Dans des conditions données d'utilisation, la maintenabilité est l'aptitude d'une entité à être maintenue ou rétablie,

- sur un intervalle de temps donné,
- dans un état dans lequel elle puisse accomplir une fonction requise, lorsque la maintenance est accomplie dans des conditions données, avec des procédures et des moyens prescrits.

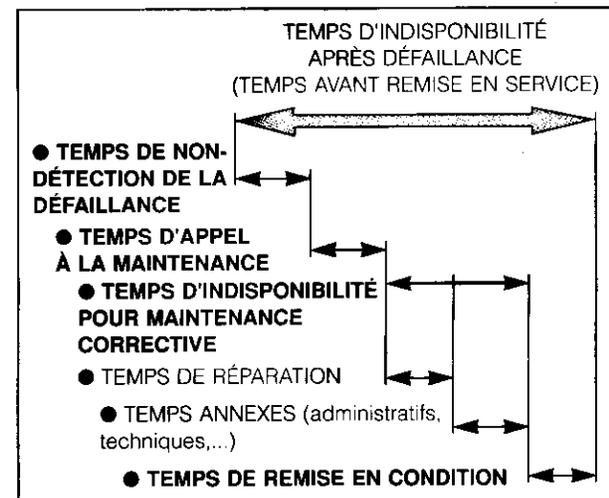
Exemple :

Une panne sur une des têtes d'usinage d'une machine transfert de mécanique a pour conséquence un arrêt moyen de production de 0,8 heure qui se répartit en :

- 0,2 heure pour le **diagnostic**,
  - 0,2 heure pour la **gestion technique** de la panne :
    - rédaction des bons de sortie du magasin des constituants défectueux,
    - sortie des constituants du magasin pour leur mise à disposition sur le site;
  - 0,3 heure pour la **remise en état** avec le démontage et le remplacement des constituants défectueux,
  - 0,1 heure de **contrôle final** et de réglage.
- Ces différentes données sont caractéristiques du concept de maintenabilité de la machine, dans ses conditions normales d'utilisation, et conformément à une intervention de maintenance corrective bien spécifiée.

● **QUANTIFICATION DE LA MAINTENABILITÉ**

La quantification de la maintenabilité impose une connaissance précise des temps d'arrêt dont la somme représente le temps d'indisponibilité après défaillance. Le tableau 5a récapitule l'ensemble de ces temps.



5a. Temps d'indisponibilité après défaillance.

## ● TEMPS MOYEN AVANT REMISE EN SERVICE : TMRS

C'est le temps moyen pendant lequel l'entité est inapte à accomplir une fonction requise à la suite d'une défaillance et avant remise en service.

La remise en service permet à l'entité de récupérer l'aptitude à accomplir la fonction requise, telle qu'elle existait avant la panne.

La correspondance en anglais de **TMRS** est **MTTR** : *mean time to restoration*.

Ce temps prend en compte l'ensemble des temps d'arrêt dus à une défaillance.

*Exemple :*

*Dans l'exemple de la tête d'usinage de la machine transfert de mécanique le TMRS est de 0,8 heure.*

## ● TEMPS MOYEN DE RÉPARATION : TMR

C'est la valeur moyenne de la partie du temps d'indisponibilité pour maintenance corrective pendant laquelle les opérations de maintenance corrective sont effectivement réalisées sur l'entité, tous les temps annexes étant exclus.

Ce temps de réparation peut correspondre aux étapes caractéristiques d'une intervention de maintenance corrective :

- temps de localisation de la panne,
- temps de diagnostic,
- temps de correction de panne,
- temps de contrôle et d'essais finals.

Cela suppose que tous les moyens en personnel et en outillage sont disponible auprès de l'entité.

Les temps annexes qui font partie du temps d'indisponibilité augmentent les délais pour la mise en œuvre effective des opérations de maintenance corrective.

*Exemples :*

- l'établissement du dossier de maintenance, son édition, sa remise aux services concernés,
  - l'attente de la disponibilité d'une équipe de sous-traitants,
  - de la *défectuosité* du système de distribution d'énergie,
- sont des causes qui augmentent le temps d'indisponibilité relatif à une intervention de maintenance corrective.*

La correspondance en anglais de **TMR** est **MRT** : *mean repair time*.

## ● AMÉLIORATION DE LA MAINTENABILITÉ

L'amélioration de la fiabilité et de la maintenabilité permet une meilleure disponibilité du matériel concerné.

Cette recherche doit commencer dès la conception du matériel :

- avec des actions concernant la **réduction du taux de défaillance** et la diminution de la gravité des défaillances, en ce qui concerne la **fiabilité**,
- avec des actions concernant l'**amélioration de la maintenance préventive** ainsi que la durée, le coût et les exigences logistiques des tâches de maintenance de tout type, en ce qui concerne la **maintenabilité**.

Le temps de réparation, **composante** du temps d'indisponibilité pour maintenance corrective peut être réduit par la mise en œuvre de méthodes et de moyens performants (fig. 5b).

TEMPS DE RÉPARATION	EXEMPLE D'AMÉLIORATION
LOCALISATION	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Capteurs, voyants</li> <li>- Appareils de mesure</li> <li>- Procédures logicielles...</li> </ul>
DIAGNOSTIC	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dossier machine complet</li> <li>- Logigramme de diagnostic</li> <li>- Arbre de défaillance</li> <li>- Système expert...</li> </ul>
CORRECTION DE LA PANNE	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Accessibilité</li> <li>- Gammes de démontage remontage</li> <li>- Interchangeabilité</li> <li>- Modularité de l'architecture...</li> </ul>
ESSAIS CONTRÔLES	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dispositifs de contrôle incorporés</li> <li>- Procédure d'essai simple</li> <li>- Appareils de mesure simples ou standards...</li> </ul>

5b. Solutions possibles pour réduire le temps de réparation.

## ● SYSTÈMES EXPERTS

**Un système expert simule les activités intellectuelles de l'homme avec des moyens informatiques.**

Les systèmes experts orientés diagnostic sont des outils performants de la **maintenance assistée par ordinateur, MAO**. Leur mise en œuvre réduit considérablement le temps de réparation.



Le suivi des matériels est facilité par l'outil informatique.

# 33

## SUIVI DES MATÉRIELS

### 1. DÉFINITION DU CONTENU DU DOSSIER TECHNIQUE

(Suivant norme NF X60-200)

Le **dossier technique** se compose de trois dossiers :

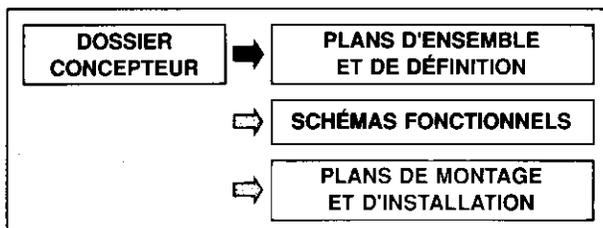
- dossier **concepteur**,
- dossier **utilisateur**,
- dossier de **maintenance**.

Pour assurer un suivi du matériel (installation, fonctionnement, maintenance) le service maintenance dispose de l'ensemble de ces trois dossiers.

Ces documents sont classés et répertoriés. Pour une utilisation simple et éviter toute perte, leur méthode de classement est identique à la codification des matériels (voir page 187).

#### ● DOSSIER CONCEPTEUR (fig. 1a)

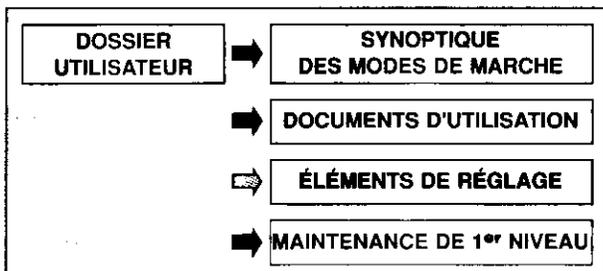
Ce sont les documents **établis par le constructeur** lors de l'étude et de la réalisation des matériels.



1a. Dossier concepteur.

#### ● DOSSIER UTILISATEUR.

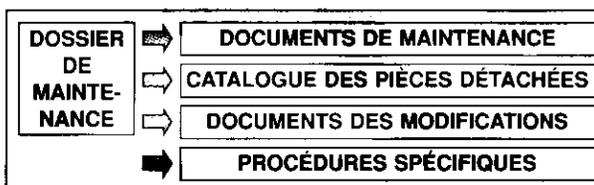
Ce sont les documents qui permettent l'utilisation du matériel : mode de marche, réglage, maintenance de 1<sup>er</sup> niveau,... (fig. 1b).



1b. Dossier utilisateur.

#### ● DOSSIER MAINTENANCE (fig. 1c)

Ce sont les documents qui permettent de maintenir, réparer, démonter, remonter tout ou partie du système.



1c. Dossier de maintenance.

### 2. DOSSIER HISTORIQUE

Le dossier historique permet de renseigner le service maintenance sur :

- les défaillances du système et leurs origines,
- le choix des indicateurs de maintenance préventive,
- le coût des interventions,
- les données nécessaires pour la définition de la politique de maintenance,
- les opérations et le planning des interventions de maintenance préventive.

#### ● COMPOSITION DU DOSSIER HISTORIQUE

Le dossier historique peut être constitué par les documents suivants :

- planning des visites préventives,
- comptes-rendus des visites préventives,
- rapports des interventions de maintenance corrective,
- fiches de sortie des pièces de rechange,
- fiches de modification des matériels,
- rapports officiels d'expertises et de visites légales et obligatoire,
- fiches d'inspection des matériels.

Suivant :

- l'importance des matériels à entretenir,
- le niveau d'organisation du service maintenance,

le volume du dossier historique peut être plus ou moins important.

La recherche d'une meilleure efficacité, dans son établissement et son exploitation passe à un **traitement informatique** de ses documents.

● **RAPPORTS DES VISITES LÉGALES**

Les matériels tels que appareils de levage, ascenseurs, réservoirs, véhicules de transport,... sont soumis à des **visites périodiques** par la **réglementation** et le **code du travail**.

Les remarques qui figurent dans ces rapports **doivent être prises en compte** par le service maintenance. Ces rapports sont conservés, restent à la disposition des autorités légales, et apportent la preuve d'un bon suivi de ces matériels.

● **PLANNING DES VISITES PRÉVENTIVES**

Ce planning est établi par la fonction ordonnancement.

Les tâches de visites préventives n'ont pas toutes la même période de réalisation. Le planning prend en compte les **tâches avec leur périodicité** (fig. 2a).

Pour un matériel donné il peut être établie, en plus du planning des visites, **une fiche de maintenance** qui décrit les travaux (fig. 2b).

PLANNING DE MAINTENANCE PRÉVENTIVE					
Presse : B-5-A-7					
Date de Réalisation	Compteur HG		N° du type de maintenance		
	prévision	réalisation	1	2	3
15/10/91	500	497	X		
30/11/91	1 000	1 050	X		
10/02/92	1 500	1 458	X	X	
28/03/92	2 000	1 992	X		
15/05/92	2 500	2 512	X		
	3 000		X	X	X

2a. Exemple de planning des visites préventives d'une presse à injecter.

La fiche de maintenance associée du planning regroupe les trois gammes-types de travaux de maintenance.

FICHE DE MAINTENANCE		
Presse : B-5-A-7		
Paramètre : Heure - Fonctionnement : 3 000 h/an		
N°	TRAVAUX DE MAINTENANCE	Période
1	Essai de sécurité. Mise à niveaux. Contrôle Air Comprimé, huile. Relevé VIBRATOIRE.	500
2	Nettoyage armoire électrique. Resserrage connexion électrique. Étalonnage valves hydrauliques, pression, débit. Nettoyage cuve de décantation. Nettoyage colonne de guidage, unité injection. Graissage.	1 500
3	Échange visserie fixation moule Contrôle parallélisme traverse Vidange groupe hydraulique.	3 000

2b. Fiche de maintenance.

Chaque gamme-type d'intervention nécessite des **constituants de rechange**, produits consommables ou pièces dont la désignation et la quantité figurent sur une **fiche de pièces détachées** (fig. 2c).

FICHE PIÈCES DÉTACHÉES		Réf. : PRESSE B-5-A-7	
N°	Pièces détachées et consommable	Quantité	Réf.
1	Huile ELF N° 2	environ 10 l	
2	Joint	2	ZA 47 Pompe à main N25
	Graisse N° 1 Produit de nettoyage	2 l	
3	Huile ELF N° 2	150 l	ZA 48
	Joint	1	

2c. Fiche de pièces détachées.

● **FICHE D'INSPECTION DU MATÉRIEL**

Ces fiches permettent l'**inspection d'un matériel** et de dresser la liste des opérations nécessaires pour éviter les arrêts dus aux pannes. Ce travail qui peut être effectué par le personnel de maintenance ou les opérateurs des lignes de production, regroupe en général des **opérations de maintenance de premier niveau** (fig. 2d).

L'état du point inspecté est noté suivant quatre critères :

- correct,
- nécessite une intervention lors d'une prochaine visite normalement programmée,
- nécessite une intervention urgente,
- nécessite une modification.

Ces inspections portent sur l'ensemble du système. Elles peuvent faire l'objet de fiches distinctes qui regroupent, par exemple, les points à inspecter :

- situés dans une même partie du système,
- ou concernés par une même technologie : mécanique, électrique, hydraulique,...

FICHE D'INSPECTION		SYSTÈME : Presse	
DATE	: 22/08/92	correct	
NOM DU CONTRÔLEUR	: DURAND	Interv. normale	
POINTS À INSPECTER	Peinture extérieure	X	Interv. urgente Modification Prévoir un emplacement du bac de stockage des moules. (ils gênent le passage) pupitre cassé
	Propreté de la machine	X	
	Éléments de manutention	X	
	Câblage extérieur	X	
	Passage (8 m. mini autour)	X	
	État commande des mouvements	X	
	Dispositif de protection	X	
	Fixation lampe	X	
	Éclairage poste de travail	X	
	Fixation fermeture	X	
	États des annexes	X	
	Niveaux	X	
Vibrations	X		
OBSERVATIONS :			
La fixation de la lampe est à revoir (manque 1 écrou).			

2d. Fiche d'inspection de matériel avec des opérations de maintenance de premier niveau.

## ● RAPPORT D'INTERVENTION CORRECTIVE

Les renseignements qui figurent dans ce rapport doivent contribuer à la définition de la **politique de maintenance**, à la mise au point des **aides au dépannage**, à l'évaluation des critères de **fiabilité**, de **disponibilité** et de **maintenabilité** des matériels. Ces informations concernent (fig. 2e) :

- la nature de l'intervention,
- la nature de l'élément défaillant,
- le mode de défaillance constaté,
- la cause de la défaillance,
- le temps d'indisponibilité du matériel,
- le temps de l'intervention,...

RAPPORT D'INTERVENTION		MATÉRIEL : N° 1.47.A	
INTERVENANT : DUPONT		<b>NATURE DE L'INTERVENTION</b>	
DATE : 23/02/92	Mec.	Esc.	Hyd.
TEMPS PASSÉ : 6 H		Pneu.	
IMMOBILISATION :	<b>L'INTERVENTION A NÉCESSITÉ :</b>		
APPEL : 23/02 - 8 H	Nettoyage <input checked="" type="checkbox"/>	Réglage <input checked="" type="checkbox"/>	
DÉBUT : 23/02 - 10 H	Échange <input checked="" type="checkbox"/>	Rebut <input type="checkbox"/>	
FIN : 23/02 - 18 H	Modification <input type="checkbox"/>	Soudure <input type="checkbox"/>	
	Reprogrammation <input type="checkbox"/>		
	Reconfiguration <input type="checkbox"/>		
<b>MODE DE DÉFAILLANCE</b>	Débit de la pompe insuffisant		
<b>CAUSE DE LA DÉFAILLANCE</b>	Usure des palettes		
<b>OPÉRATION DE MAINTENANCE</b>	Remplacement de la pompe		
<b>PIÈCES DÉTACHÉES</b>	1 Pompe - 1WA12/3		

2e. Rapport d'intervention.

## ● HISTORIQUE

Ce document qui est un document de synthèse regroupe les informations relatives aux travaux de maintenance effectués dans le cadre des interventions préventives et correctives (fig. 2f). Sa consultation qui met en évidence la nature de ces travaux avec leur répétition éventuelle est un guide précieux pour le service des méthodes.

HISTORIQUE DES OPÉRATIONS DE MAINTENANCE					Matériel : 1.47.A Machine de reprise	
Date	NATURE				DÉTAIL DE L'OPÉRATION	CAUSES
	Me	Él.	Hy	Pn		
11/01		X			Échange moteur électrique	Surcharge
1/02		X			Échange voyant	Chocs
23/02	X		X		Échange pompe	Usure palettes

2f. Historique des opérations de maintenance sur un matériel.

## 3. GESTION INFORMATIQUE DU SUIVI DES MATÉRIELS

L'informatique apporte les moyens nécessaires pour un suivi des matériels presque **en temps réel**.

Ce module de gestion s'intègre dans un **logiciel de GMAO** (voir pages 147 et 148).

Sa mise en œuvre impose une **codification** préalable des matériels et de leurs constituants.

### ● EXEMPLES DE SUIVI INFORMATISÉ (progiciel CARL de la Société VALMER)

#### ● Suivi d'un constituant (fig. 3a).

Le constituant est une pompe identifiée par son matricule 755XC125ACFF.

L'état précise qu'elle a été :

- **installée** en deux points d'intervention repérés par leur code TOPOgraphique ou géographique, les 29/01/86 et 12/11/87,
- **réparée** dans l'atelier 1 du 05/05/87 au 13/05/87 ainsi que le 20/09/88,
- **mise en stock** le 01/06/87,
- **mise au rebut** le 01/11/89.

SUIVI MATRICULE 755XC125ACFF					
NUMÉRO BT	CD TOPO/MATR	DT DÉB.	DT FIN	OPÉRATION EFFECTUÉE	
	BOC10101	29-01-86		- POSE SUR CODE TOPO	
1889-01	BOC10101	05-05-87	13-05-87	- MISE EN RÉPARATION ATELIER 1	
		01-06-87	01-06-87	- MISE EN STOCK MAGASIN 1	
	BSP10201	12-11-87	12-11-87	- POSE SUR CODE TOPO	
2108-01	BSP10201	20-09-88	20-09-88	- MISE EN RÉPARATION ATELIER 1	
		01-11-89	01-11-89	- MISE AU REBUT	
F5, F6 LST CD/DT		F8 SUPPR		ESC : FIN	

3a. Exemple d'état de suivi d'un constituant.

#### ● suivi de la maintenance effectuée sur un point d'intervention (fig. 3b).

Ce point est identifié par son code TOPO.

L'état précise en respectant la **chronologie** :

- la date de début et de fin,
- ainsi que la nature, des opérations effectuées.

SUIVI CODE TOPO B0					
NUMÉRO BT	CD TOPO/MATR	DT DÉB.	DT FIN	OPÉRATION EFFECTUÉE	
2148-01	BOC1	04-04-89	04-04-89	VIDANGE MOTEUR	
2226-01	BOC1010101	01-09-89	01-09-89	RÉPARATION	
	BOC2020201	05-10-89	05-10-89	- CODE ARTICLE : TR220/30	
2228-01	BOC20102	07-10-89	07-10-89	GRAISSAGE POMPE	
F1, F2 VS OT/BT		F3, F4 EDT OT/BT		F5, F6 LST CD/DT	
				F8 SUPPR	
				ESC : FIN	

3b. Exemple d'état de suivi des opérations effectuées sur un même point d'intervention.

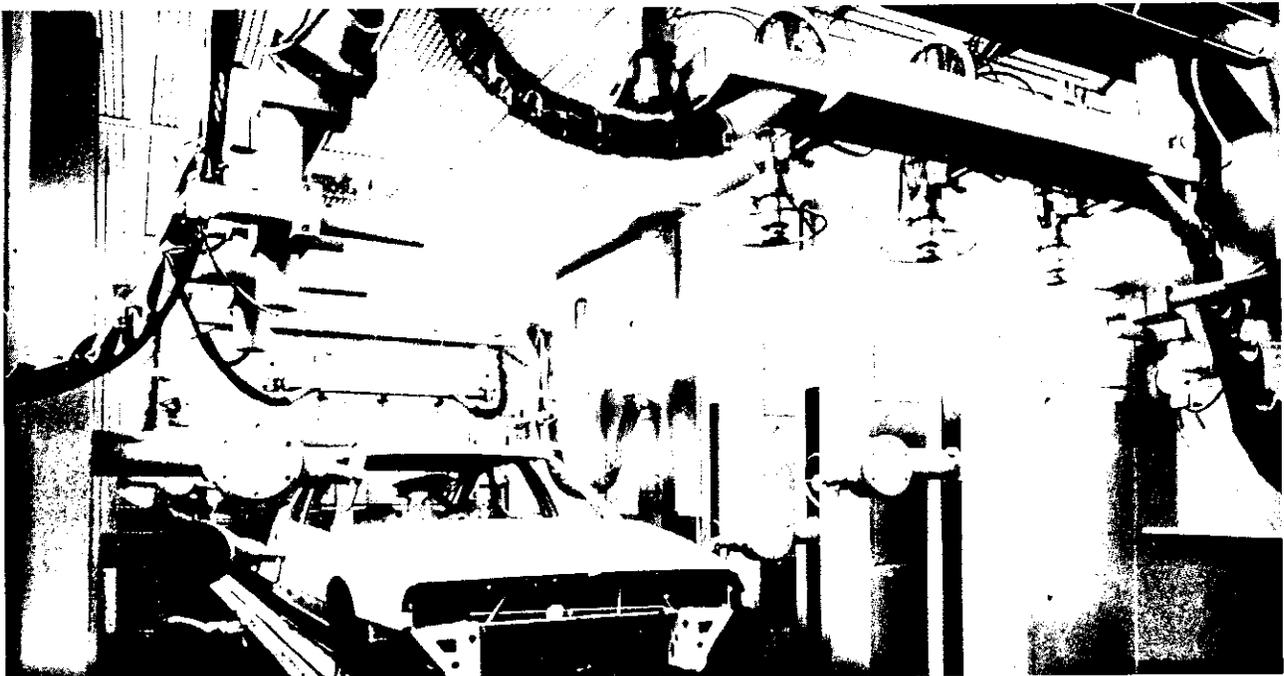
# SEPTIÈME PARTIE

## GESTION DU TRAVAIL

- ORDONNANCEMENT DES INTERVENTIONS DE MAINTENANCE
- CONTRATS DE MAINTENANCE
- GESTION DES STOCKS
- ORGANISATION DU MAGASIN

Les contenus proposés dans cette septième partie représentent les **ressources nécessaires** à l'acquisition des **savoirs et des savoir-faire technologiques** de la maintenance par un développement progressif des **capacités** :

- d'identifier et d'interpréter les **informations** relatives au **dossier technique**, aux **procédures d'intervention**, aux **paramètres de référence**,...
- de **planifier** les travaux,
- de **déterminer** le **processus d'intervention** et de **choisir les moyens**,
- de **justifier** la **coûtabilité** en maintenance,
- de **décoder** un **contrat de maintenance**,
- de **comparer** les **dispositions financières** des différents contrats de maintenance,
- de **justifier** une **méthode de gestion des stocks**,
- d'**estimer** et de **prévoir** les **approvisionnements**,
- de **rechercher la standardisation et la normalisation** des constituants du magasin,
- de **justifier la codification** des constituants en magasin.



Une ligne de fabrication exige une bonne organisation des interventions de maintenance.

# 34

## ORDONNANCEMENT DES INTERVENTIONS DE MAINTENANCE

### 1. FONCTION ORDONNANCEMENT

L'ordonnancement est la fonction qui, responsable de la fixation des délais, prévoit les moyens de réalisation, les affecte en temps opportun et veille à leur mise en œuvre.

Exemple :

Pour la révision d'une ligne de traitement de surface, dans une industrie de galvanoplastie, c'est la fonction ordonnancement qui prévoit :

- une durée de quatre semaines,
- durant les congés annuels de l'entreprise,
- avec deux techniciens de maintenance et les moyens d'une entreprise de sous-traitance.

Pour mener à bien ses activités l'ordonnancement exploite :

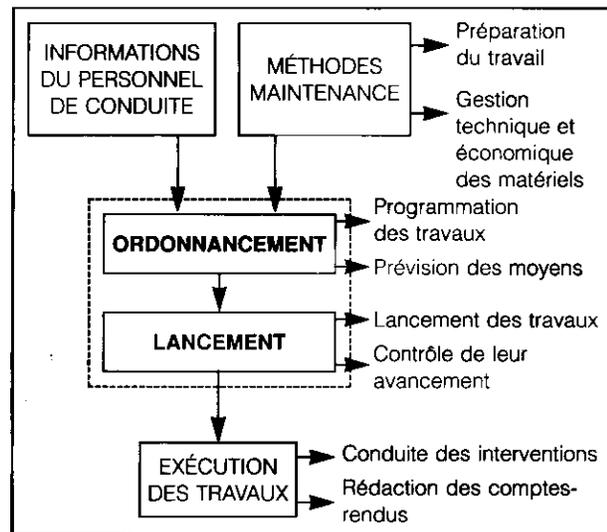
- les documents du **Service Méthodes Maintenance** tels que : dossier matériel, gammes de démontage, instructions de maintenance,...
- ainsi que **toutes les informations** recueillies auprès du personnel de conduite.

Dès le début des travaux c'est la **fonction lancement** qui est concernée.

Dans le cadre des instructions de l'ordonnancement cette fonction **déclenche, en les précisant, les actions de maintenance**. Elle contrôle en permanence l'**état d'avancement des travaux** et informe l'ordonnancement des **écarts éventuels** entre la prévision et la réalisation.

Dans de nombreuses entreprises, et en ce qui concerne la maintenance, les deux fonctions ordonnancement et lancement sont assurées par un même service.

La fig. 1a précise les relations fonctionnelles de l'ordonnancement et du lancement avec les autres fonctions de l'entreprise.



1a. Situation des fonctions ordonnancement et lancement dans la maintenance.

### ● COMPLEXITÉ DES TÂCHES D'ORDONNANCEMENT EN MAINTENANCE

Les activités de l'ordonnancement sont rendues complexes par les caractères particuliers des travaux de maintenance.

Ces derniers présentent en général :

- une **grande diversité** dans leur nature compte-tenu du caractère **pluritechnologique** des matériels,
- un **fractionnement important** du à l'exploitation des matériels, à la diversité et à la disponibilité des intervenants,
- un **caractère d'urgence** justifié par l'objectif de réduction du coût d'indisponibilité,
- l'obligation fréquente de faire un **démontage préalable** avant toute expertise,
- la nécessité de mettre en place un **programme de visites préventives**,...

## 2. PLANIFICATION DES TRAVAUX

### ● ORDRES D'URGENCE

L'ordonnancement doit établir le programme des travaux, il doit les **planifier**.

Ces travaux peuvent être classés en deux grandes familles :

- ceux **prévisibles à l'avance** et qui sont en rapport avec la **maintenance préventive** ou avec des **projets d'amélioration**,
- ceux qui sont **imprévisibles**, en rapport avec la **maintenance corrective**.

La planification de ces travaux se fait en fonction de l'ordre d'urgence qui leur est attribué :

● **travaux en urgence 1**, à effectuer immédiatement ou dans la journée, en général des travaux de **dépannage** exécutés par un personnel qualifié et polyvalent,

● **travaux en urgence 2** à effectuer :

- avant une date limite,
- ou au cours d'une période bien déterminée, période d'arrêt d'un matériel par exemple,

● **travaux en urgence 3** dont le délai d'exécution est dans une large mesure indifférent car ces travaux sont en rapport avec des installations :

- sans lien avec la production,
- sans spécifications particulières de sécurité.

Exemples :

- **dépannage d'une ligne de fabrication en urgence 1**,
- **révision générale de cette même ligne de fabrication durant le mois de fermeture de l'entreprise en urgence 2**,
- **réaménagement d'un magasin de pièces de rechange en urgence 3**.

### ● CONDITIONS POUR RESPECTER LES DÉLAIS

Compte tenu de ses moyens humains et matériels un service de maintenance peut réaliser, dans une période donnée, un certain nombre d'heures d'intervention.

La somme de ces heures possibles d'intervention qui peuvent éventuellement être regroupées par spécialité ou par secteur, représente la **capacité d'intervention** du service maintenance.

Exemple :

Dans une entreprise de mécanique le service maintenance peut assurer, par mois :

- 1 600 heures de travaux de mécanique,
- 800 heures d'entretien électrique,
- 320 heures de travaux de bâtiment,

sa **capacité d'intervention mensuelle totale est de 2 720 heures**.

Pendant cette même période ce service maintenance doit réaliser certains travaux dont la somme traduite en heures de maintenance représente sa **charge**.

**Le respect des délais impose qu'à tout moment la charge soit au plus égale à la capacité d'intervention.**

L'entreprise peut obtenir cet équilibre par :

- une planification différente des travaux d'urgence 3,
- en modifiant sa capacité de production par une modification de l'amplitude du travail journalier, des embauches de personnel,...
- en faisant appel à la sous-traitance,
- en recherchant une amélioration de ses méthodes de maintenance,...

### ● MOYENS DE PLANIFICATION

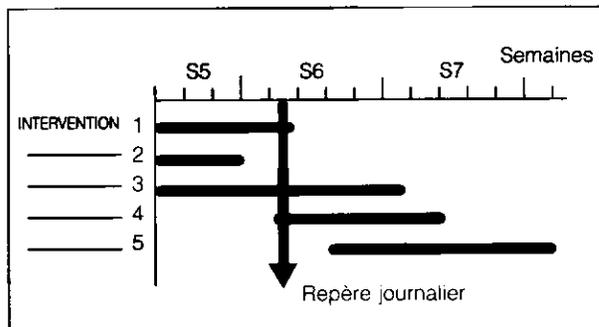
Ces moyens peuvent être :

- des **plannings**,
- des **états informatiques**.

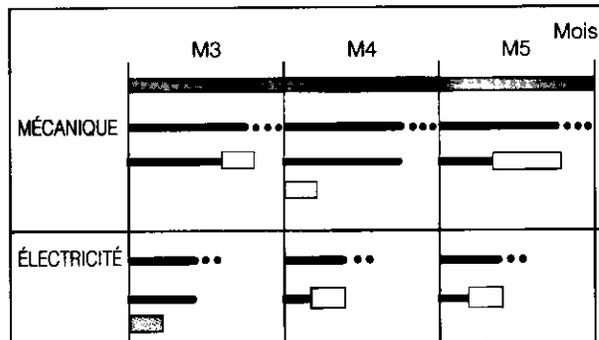
Ils s'appliquent :

● soit à la prévision et au suivi des interventions avec le jalonnement de leur début et de leur fin dans une échelle calendaire suivant le principe du **diagramme de GANTT** (fig. 2a),

● soit à la gestion des charges dans un **planning à bandes** dont les longueurs sont proportionnelles aux charges de bons de travail qu'elles représentent (fig. 2b).



2a. Exemple de planning pour la prévision et le suivi des interventions : du deuxième jour à la sixième semaine les interventions 1, 3 et 4 sont en cours.



2b. Planning de gestion des charges pour deux ateliers.  
 ■ Capacité mensuelle disponible  
 ● ● ● Capacité mensuelle réservée pour les imprévus  
 ■ Charge engagée réalisable  
 □ Charge excédentaire  
 □ Capacité mensuelle disponible.

Les ateliers de mécanique et d'électricité sont respectivement surchargés le quatrième et le troisième mois.

### 3. EXEMPLE DE PROGRAMMATION DE LA MAINTENANCE PRÉVENTIVE : ABACABAD

#### ● PRINCIPE

Cette méthode revient à considérer que tous les points à visiter d'un même matériel ne doivent pas être contrôlés avec la même périodicité.

Cet ensemble de points à contrôler est représentatif de la visite la plus importante, ou visite générale, pour laquelle il est affecté la **périodicité P**. Les visites intermédiaires sont organisées au terme de

périodes **sous-multiples de P**, soit  $\frac{P}{2}$ ,  $\frac{P}{4}$ ,  $\frac{P}{8}$ , ou plus généralement  $\frac{P}{n}$ .

Pour ces différentes périodicités sont établies, en fonction des lois d'usure, de la fiabilité, de la sécurité, des listes de points à contrôler. Aussi chaque type de visite **A, B, C, D,...** sont des **combinaisons de listes types d'interventions** qui correspondent chacune à une même périodicité.

*Exemple de planification :*

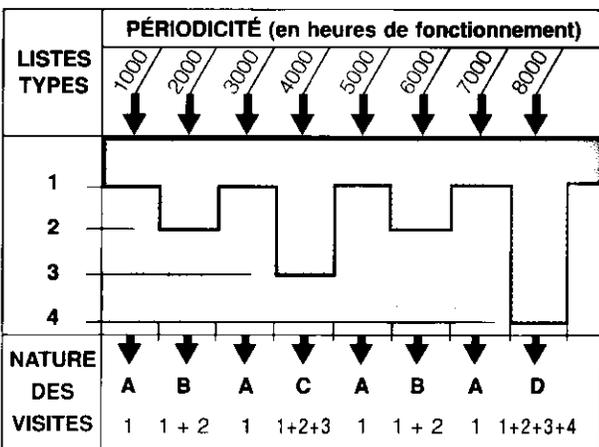
*L'ensemble des points à contrôler d'un matériel a été réparti en quatre listes types d'interventions qui ont chacune une périodicité bien définie (fig. 3a).*

RÉFÉRENCE DE LA LISTE TYPE	PÉRIODICITÉ (en heures de fonctionnement)
1	1 000
2	2 000
3	4 000
4	8 000

3a. Relation entre les listes types d'intervention et la périodicité de la visite.

La combinaison de ces listes types donne les différentes catégories de visites (fig. 3b).

L'enchaînement de ces quatre catégories de visites donne la planification : **A B A C A B A D**.



3b. Planification des visites.

#### ● EXEMPLE D'APPLICATION

L'entretien périodique du moteur diésel d'un groupe de secours, pour la fourniture de l'énergie électrique à une entreprise, se détaille suivant quatre listes types d'interventions (fig. 3c).

LISTES TYPES PÉRIODICITÉ	DESCRIPTION DES INTERVENTIONS
<b>type 1</b> toutes les 100 heures	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Vidanger carter d'huile</li> <li>● Nettoyer ailettes radiateurs</li> <li>● Vérifier : tension courroies niveau batterie niveau d'huile pompe à injection</li> </ul>
<b>type 2</b> toutes les 200 heures	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Nettoyer filtre à huile</li> <li>● Changer filtre carburant</li> <li>● Vidanger huile pompe à injection</li> <li>● Vérifier durite filtre à air - collecteur</li> </ul>
<b>type 3</b> toutes les 1 000 heures	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Vérifier serrage bornes électriques en général</li> <li>● Régler jeu culbuteurs</li> <li>● Nettoyer réservoir carburant</li> <li>● Nettoyer radiateurs</li> <li>● Vérifier les injecteurs</li> </ul>
<b>type 4</b> toutes les 2 000 heures	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Réviser : pompe d'injection</li> <li>● turbo compresseur</li> <li>● Régler avance automatique</li> <li>● Changer les injections</li> </ul>

3c. Répartition des interventions suivant quatre listes types en fonction de leur périodicité.

D'où quatre catégories de visites :

- **catégorie A** : interventions de la **liste 1**,
- **catégorie B** : interventions des **listes 1 + 2**,
- **catégorie C** : interventions des **listes 1 + 2 + 3**,
- **catégorie D** : interventions des **listes 1 + 2 + 3 + 4**.

Avec une périodicité de 100 heures la planification s'écrit : **A B A B A B A C A,...**

Une **fiche de visite** est établie pour chaque catégorie de visite.

Elle peut comporter, ou faire référence, à la liste type des interventions. L'agent de maintenance la complète en indiquant la date de sa visite et ses remarques (fig. 3d).

MOTEUR DIÉSEL MPK 1463 FICHE DE VISITE N° 2	
VISITE CATÉGORIE : B	PÉRIODICITÉ : 200 heures
NATURE DES INTERVENTIONS <i>Liste des interventions</i>	
_____	
_____	
DATE DE VISITE :	REMARQUES
_____	_____

3d. Exemple de fiche de visite catégorie B.

#### 4. PRINCIPE DE LA PLANIFICATION PAR RÉSEAU

##### MÉTHODE DU CHEMIN CRITIQUE

Dans le cas où les travaux de maintenance relatifs à une entité présentent une **grande complexité** en fonction :

- de leur nature,
- de la diversité de la spécialité des intervenants,
- des contraintes de délai,...

leur ordonnancement est étudié par la **méthode du chemin critique**, ou **méthode P.E.R.T.** qui signifie :

- soit, *PROGRAM EVALUATION RESEARCH TASK* ou tâche d'étude de l'évaluation du programme,
- soit, *PROGRAM EVALUATION AND REVIEW TECHNIQUE* ou technique d'évaluation et de mise à jour du programme.

Exemples de travaux à planifier par la méthode PERT :

- révision générale d'une ligne de traitement de surface,
- ensemble des opérations d'entretien d'un engin de levage portuaire,
- construction d'une ligne de peinture automatisée.

Cette planification peut avoir pour objectifs :

- la plus courte durée de réalisation,
  - le moindre coût,
  - le minimum de moyens,
- ou plus généralement une combinaison des trois.

#### ● NOTION DE RÉSEAU

Ces méthodes de planification utilisent, pour représenter le déroulement d'un programme, des **diagrammes** en forme de **réseaux fléchés**.

Dans cette application de **réseaux fléchés** (fig. 4a) :

- les **flèches** sont les **tâches**,
- les **nœuds** sont les **étapes**.

Chaque **tâche** est affectée d'une **durée** car elle consomme du temps, de l'argent, **elle coûte**.

La longueur de la flèche n'a pas de signification particulière et n'est donc pas proportionnelle à la durée de la tâche. Une **étape est un instant où s'achèvent** une ou plusieurs tâches et où **peuvent commencer** une ou plusieurs tâches.

L'**étape est de durée nulle**.

Une tâche est toujours comprise entre deux étapes.

#### ● LECTURE D'UN RÉSEAU

Le réseau de la figure 4a représente l'**enchaînement logique** des neuf tâches **A, B, C, D, E, F, G, H** et **I** nécessaires à la réalisation d'une œuvre.

Ces neuf tâches sont jalonnées par huit étapes numérotées de **1 à 8**.

L'étape **1** est à l'origine ou le **départ**, l'étape **8** est la fin ou le **terminus**.

Le décodage de ce réseau permet de dire :

- qu'à partir de l'origine, **étape 1**, les deux tâches **A** et **B** peuvent commencer simultanément,

- que **E** ne peut que commencer que si **B** est terminée, de même **H** ne peut commencer que si **E** est terminée ce qui s'exprime par :

- l'**antériorité immédiate de E est B**

- de même, que l'**antériorité immédiate de H est E**.

- que la fin de **A** permet le début de **C** et **D**

- que pour commencer **I** il est nécessaire que **F** et **G** soient terminées, les tâches **F** et **G** sont toutes les deux les antériorités immédiates de **I**.

#### ● TRAITEMENT D'UN RÉSEAU

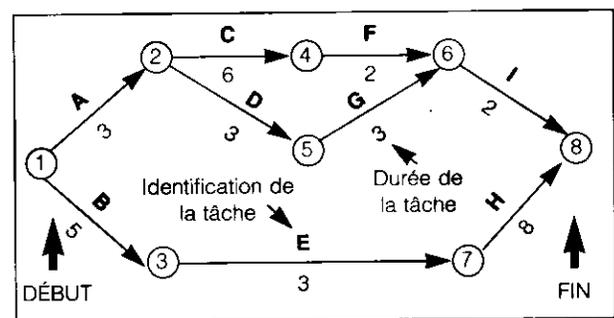
Le traitement d'un réseau comprend trois phases :

- le **traitement des étapes**,
- la **détermination du chemin critique**,
- le **traitement des tâches non critiques**.

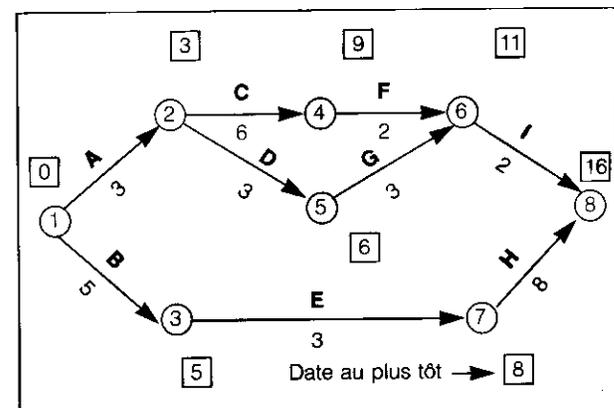
#### ● TRAITEMENT DES ÉTAPES

- **Calcul des dates au plus tôt.** (fig. 4b) À partir de l'**étape initiale** la **date au plus tôt à laquelle une étape peut être atteinte** se calcule par l'addition successive de la durée des tâches. Lorsqu'une même étape peut être atteinte par plusieurs branches du réseau c'est la somme la plus élevée qui est retenue comme date au plus tôt.

La date au plus tôt à laquelle la **dernière étape** peut être atteinte représente la **durée totale de l'œuvre**.



4a. Exemple de réseau. La durée des tâches est en semaines.



4b. Calcul pour chaque étape de la date au plus tôt à laquelle elle peut être atteinte. La durée totale de réalisation de l'œuvre est de 16 semaines.

● **Calcul des dates au plus tard** (fig. 4c) À partir de l'étape finale la date au plus tard à laquelle une étape doit impérativement être atteinte, sans modifier la durée totale de l'œuvre, se calcule en retranchant successivement la durée des tâches.

Si pour une même étape plusieurs dates au plus tard peuvent se calculer il faut retenir celle qui est la plus rapprochée.

Exemples : pour l'étape 2 (fig. 4c).

● par la tâche C :

date au plus tard de l'étape 4 : 12  
moins durée de la tâche C : - 6  
**date au plus tard calculée** : 6

● par la tâche D :

date au plus tard de l'étape 5 : 11  
moins durée de la tâche D : - 3  
**date au plus tard calculée** : 8

La date au plus tard à retenir pour l'étape 2 est : 6.

● DÉTERMINATION DU CHEMIN CRITIQUE

Pour une même étape la différence entre la date au plus tard et la date au plus tôt est le **battement**.

● Étapes critiques.

Les étapes pour lesquelles le **battement est nul** sont des **étapes critiques**.

En plus des étapes de début et de fin c'est le cas des étapes 3 et 7 (fig. 4d).

● Chemin critique.

Les tâches délimitées par des étapes critiques sont des **tâches critiques** pour lesquelles le **respect des délais est impératif**.

L'ensemble des tâches critiques constitue le **chemin critique**.

● TRAITEMENT DES TÂCHES NON CRITQUES

Les tâches non critiques disposent pour leur démarrage ou pour leur durée de certaines **marges**.

● Marge libre (fig. 4e).

La marge libre n'entraîne **aucune modification du calendrier des tâches en aval**.

Pour une tâche donnée elle se calcule :

- Date au plus tôt de l'étape aval,
- moins date au plus tôt de l'étape amont,
- moins durée de la tâche.

Exemple : tâche G : 11 - 6 - 3 = 2 semaines.

● Marge totale (fig. 4e).

La marge totale d'une tâche est égale à la **somme de sa marge libre et du battement de l'étape aval**.

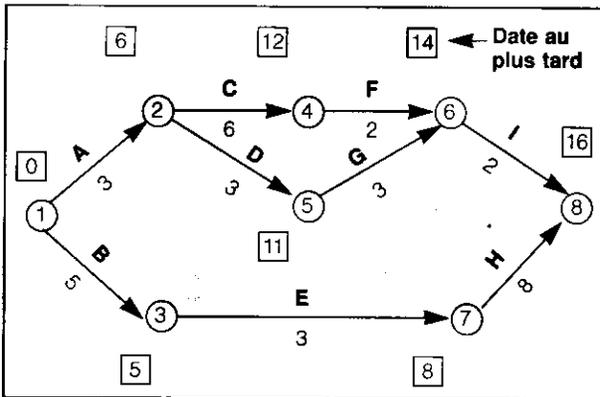
Exemple : tâche G : 2 + 3 = 5 semaines.

● DIAGRAMME DE GANTT

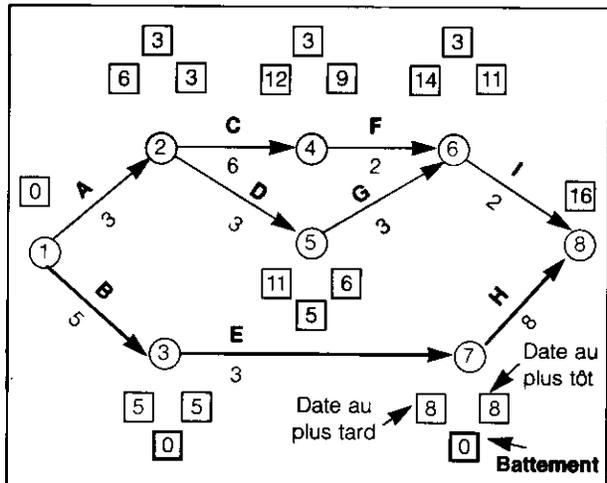
C'est un **diagramme linéaire** qui se construit avec une **échelle de temps** (fig. 4f).

La première bande de tâches à mettre en place est la **bande chemin critique**.

Les autres tâches se calent par rapport à elle et les marges sont ainsi mises en évidence.



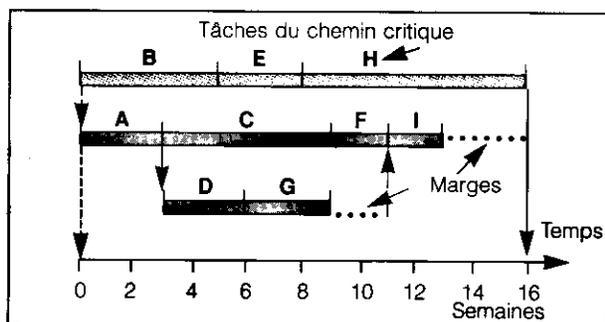
4c. Calcul pour chaque tâche de la date au plus tard à laquelle elle doit être impérativement atteinte.



4d. Calcul du battement pour chaque étape. Détermination des étapes et du chemin critiques.

MARGES	TÂCHES NON CRITQUES					
	A	C	D	F	G	I
MARGE LIBRE	0	0	0	0	2	3
+ BATTEMENT AVA	3	3	5	3	3	0
= MARGE TOTALE	3	3	5	3	5	3

4e. Calcul de la marge libre et de la marge totale.



4f. Exemple de diagramme de GANTT.

# 35

## CONTRATS DE MAINTENANCE

### 1. COTRAITANCE EN MAINTENANCE

La **cotraitance** en matière de maintenance consiste à confier à **un ou plusieurs entreprises extérieures** la maintenance de certains équipements.

La **cotraitance** doit toujours se justifier par rapport à un **problème de rentabilité**.

Elle s'impose en particulier pour les travaux :

- pour lesquels des entreprises de maintenance seront à la fois plus spécialisées ou mieux outillées par exemple, en traitements thermiques, en soudures, en bobinage de moteurs électriques,...
- pour lesquels la charge correspondante crée un dépassement de la capacité de l'entreprise, ce qui lui permet de mieux absorber les variations des activités de maintenance et de se prémunir ainsi, contre le risque d'une chute brutale de ces dernières.

Le recours à la cotraitance en maintenance peut répondre, selon le cas, à des considérations techniques, économiques, sociales ou stratégiques.

#### ● EXEMPLES DE DÉCISIONS DE COTRAITANCE

● **Activités confiées à des entreprises extérieures plus spécialisées :**

- analyse des huiles,
- étude des vibrations,
- entretien des matériels informatiques,
- révision générale des ponts roulants,...

● **Activités nécessitant des équipements particuliers :**

- rénovation des machines-outils,
- rebobinage de moteurs,
- traitements thermiques,...

● **Activités créant des surcharges comptenu :**

- absence de personnel, vacances, stages de formation,
- augmentation des activités d'entretien préventif assurées par l'entreprise.

#### ● NATURE DES TRAVAUX COTRAITÉS

Le personnel d'une entreprise ayant une connaissance approfondie de son outil de production, il lui est conseillé d'assurer avec ses propres moyens la maintenance corrective et préventive des niveaux 1, 2 et 3, et de conserver l'organisation générale de la maintenance.

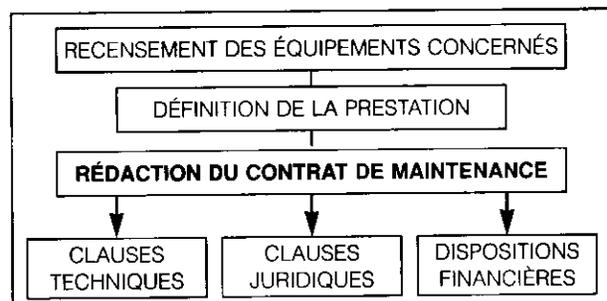
Les **travaux cotraités** peuvent être :

- travaux de maintenance **niveaux 4 et 5** :
  - modification,
  - révision,
  - rénovation, reconstruction,
  - modernisation ;
- travaux d'**entretien général** :
  - plomberie,
  - génie civil,
  - entretien **des espaces** verts ;
- travaux de maintenance préventive et corrective sur des matériels autres que ceux de l'outil de production :
  - parc des matériels informatiques,
  - parc des matériels bureautiques,
  - parc des engins de levage et de manutention.

### 2. CONTRATS DE MAINTENANCE

Le recours à des entreprises extérieures fait l'objet d'un **contrat de maintenance passé entre l'entreprise, utilisatrice des moyens, et l'entreprise de maintenance, prestataire de services**.

Ces contrats, définis par l'AFNOR sont établis suivant la démarche indiquée fig. 2a.



2a. Démarche d'élaboration d'un contrat de maintenance.

## ● CLAUSES TECHNIQUES

Une prestation de maintenance peut être définie :

### ● soit par son contenu :

- nature de l'opération de maintenance,
- niveau d'intervention,
- gammes de travaux prédéterminés,
- qualifications professionnelles requises,
- prévision du volume d'heures et de la durée,...

Exemple (fig. 2b) :

*Prestation de maintenance préventive définie par son contenu et concernant l'entretien de huit robots.*

### ● soit par son résultat ;

Exemples :

- résultat exprimé en unité d'usage du matériel :  
une presse à injecter doit être capable de produire 200 pièces à l'heure,
- résultat exprimé en terme de disponibilité : le matériel informatique d'une banque doit présenter une disponibilité de 0,995.

### CONTRAT DE MAINTENANCE N° A70 92/1001

Le présent contrat s'applique à 8 robots 6A 2001

#### CLAUSES TECHNIQUES

Le présent contrat ne couvre pas la remise en état de matériels détériorés par suite de mauvais traitements ou conditions d'utilisation non conformes aux conditions d'emploi prescrites par le constructeur.

#### Article 1 FRÉQUENCE DES VISITES

Une visite d'entretien sera effectuée toutes les 2 500 heures de fonctionnement avec un minimum de 1 visite pendant la période de validité du contrat.

#### Article 2 DÉFINITION D'UNE VISITE

Est considérée comme visite une intervention de 6 jours sur les 8 robots.

#### CONTENU DE LA VISITE

- Vérification générale du bon fonctionnement.
- Examen des pannes survenues après la visite précédente.
- Vérification de l'armoire de commande :
  - nettoyage de l'armoire,
  - vérification alimentations, faisceaux électriques et connexions,
  - contrôle ventilation,
  - exécution d'un programme test.
- Révision des bras :
  - graissage articulations,
  - contrôle points de serrage,
  - contrôle actionneurs,
  - contrôle position de référence.

#### Article 3 OUTILLAGE

Seuls les outillages spéciaux tels que pont roulant, transpalette ou encore machine-outil seront à fournir par l'utilisateur.

#### Article 4 COMPTE RENDU D'INTERVENTION

À la fin de chaque visite un compte-rendu précisant l'ensemble des travaux effectués et la conduite à tenir pour éviter le renouvellement de pannes survenues entre 2 visites sera fourni à l'utilisateur.

● **CLAUSES JURIDIQUES**

Le cadre juridique d'un contrat de maintenance concerne :

● **l'hygiène et la sécurité ;**

Exemple :

Décret n° 77-1321 du 29 novembre 1977 fixant les prescriptions particulières d'hygiène et de sécurité applicables aux travaux effectués dans un établissement par une entreprise extérieure.

● **la législation sociale ;**

Exemples :

● *limitation de vitesse dans l'enceinte de l'établissement,*

● *règlement intérieur non lié à la sécurité.*

● **la protection des travailleurs ;**

Exemple :

Décret n° 65-405 du 21 mai 1965 portant règlement d'administration publique, relatif à la limitation des charges pouvant être portées par un seul homme.

À ce cadre juridique s'ajoutent des conditions d'assurance relatives aux dommages des biens et des personnes.

La fig. 2c présente un exemple des clauses juridiques pour un contrat de maintenance relatif à des travaux de maçonnerie.

CONTRAT DE MAINTENANCE N° 3207

L'objet du présent contrat concerne l'agrandissement de l'usine 2 (maçonnerie exclusivement).

CLAUSES JURIDIQUES

**Article 1 ARBITRAGE**

En cas de différent ou de litige, la société prestataire de services convient avec son client de s'en remettre à la procédure d'arbitrage.

L'arbitre chargé de régler le différend sera désigné d'un commun accord dans les deux semaines par lettre recommandée.

En cas de désaccord concernant la nomination de l'arbitre, ce dernier sera désigné par le tribunal de grande instance.

Le droit français sera applicable.

**Article 2 RÈGLES DE SÉCURITÉ**

- La société prestataire de services évitera tout dommage matériel et toute atteinte physique au personnel de l'entreprise cliente.

- La société prestataire de services suivra toutes les consignes générales conformément au décret n° 77-612, section 1 du 9 juin 1977, régissant les prescriptions d'hygiène et sécurité des opérations de construction de bâtiment ou de génie civil.

- Toute opération pouvant être cause d'incendie se fera conformément au permis de feu imposé au client par ses assureurs.

**Article 3 Conditions de travail**

- La société prestataire de service prendra toute disposition pour ne pas altérer les conditions du personnel du client (bruit, poussières, etc.).

**Article 4 ASSURANCES**

La société prestataire de services certifie avoir souscrit une police d'assurances couvrant sa responsabilité civile et s'engage à tout moment à présenter l'attestation correspondante.

La responsabilité de la société prestataire de service ne pourra être recherchée qu'en cas de **faute** survenue dans le cadre de l'exécution des prestations définies dans le contrat.

## ● DISPOSITIONS FINANCIÈRES

Le tableau 2d établi suivant la norme *NF X60-103* présente une étude comparée des contrats de maintenance les plus courants en mettant en évidence :

- la relation entre le prix et les moyens mis en œuvre, personnel, fournitures, équipements,...
- ainsi que leurs avantages et inconvénients.

FORMES DE CONTRATS	ÉLÉMENTS DE DÉCISION					
	AVANTAGES		INCONVÉNIENTS		RÉPARTITION DU RISQUE FINANCIER	CAS D'APPLI-CATION
	POUR L'UTILISATEUR	POUR L'ENTREPRISE DE MAINTENANCE	POUR L'UTILISATEUR	POUR L'ENTREPRISE DE MAINTENANCE		
<p><b>MAINTENANCE À FORFAIT</b></p> <p>Le prix est indépendant des moyens mis en œuvre.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Coût total connu à l'avance</li> <li>● Contrôle facile</li> <li>● Évite l'indétermination du prix</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Évite l'indétermination du prix</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Marge de sécurité dans le prix</li> <li>● Coût du risque</li> <li>● Problème des suppléments</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Difficulté à délimiter la prestation</li> <li>● Évaluations difficiles</li> <li>● Coopération difficile</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Entreprise de maintenance</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Urgences</li> <li>● Travail mal délimité</li> <li>● Travail nécessitant une coordination de l'utilisateur pour raison de sécurité</li> </ul>
<p><b>MAINTENANCE EN DÉPENSES CONTRÔLÉES</b></p> <p>Le prix est proportionnel aux moyens mis en œuvre.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Déclenchement rapide</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Pas de risque d'évaluation</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Coût total inconnu à l'avance</li> <li>● Contrôle nécessaire</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Pousse à réduire le niveau technique (même inconvénient pour l'utilisateur)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Utilisateur</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Travail bien défini</li> <li>● Travaux répétitifs</li> <li>● Aléas réduits</li> </ul>
<p><b>MAINTENANCE EN DÉPENSES CONTRÔLÉES PLAFONNÉES</b></p> <p>Combinaison de la maintenance à forfait et de la maintenance en dépenses contrôlées.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Déclenchement rapide</li> <li>● Coût maximal connu à l'avance</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Risque d'évaluation très limité</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Nécessite un contrôle</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Réduction du niveau technique (même inconvénient pour l'utilisateur)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Utilisateur jusqu'au plafond</li> <li>● Entreprise de maintenance au-delà</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Urgences</li> <li>● Travail bien défini mais comportant des aléas</li> </ul>
<p><b>MAINTENANCE À FORFAIT PARTIEL</b></p> <p>Les deux parties forfaitaire et proportionnelle sont des fractions des montants forfaitaires et dépenses contrôlées pour la même prestation.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Intérêt des deux parties à l'efficacité</li> <li>● Gain de temps (diminution du coût total)</li> <li>● Connaissance du coût probable à l'avance</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Contrat précis</li> <li>● Risque limité</li> <li>● Coopération facilitée</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Pas de démarrage rapide</li> <li>● Contrôle impératif des moyens</li> <li>● Coût maximal indéterminé</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Compte rendu précis des moyens utilisés</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Partagé</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Travail bien défini</li> <li>● Collaboration étroite souhaitable</li> </ul>
<p><b>EN FORFAIT PARTIEL PLAFONNÉ</b></p> <p>Maintenance à forfait partiel avec un plafond à ne pas dépasser.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Intérêt des deux parties à l'efficacité</li> <li>● Coût maximal connu à l'avance</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Contrat précis</li> <li>● Risque limité</li> <li>● Coopération facilitée</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Pas de démarrage rapide</li> <li>● Contrôle impératif des moyens</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Une étude plus approfondie pour dépassement</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Partagé jusqu'au plafond</li> <li>● Entreprise de maintenance au-delà</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Travail bien défini</li> <li>● Collaboration étroite souhaitable</li> <li>● Nécessité d'un budget</li> </ul>
<p><b>MAINTENANCE SUR EXPERTISE</b></p> <p>Une expertise précède l'établissement du devis. Certains travaux se chiffrent facilement, d'autres non, d'où des dispositions financières diverses.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Commande de prestations bien déterminées</li> <li>● Engagement de responsabilité de l'entreprise de maintenance</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Risque limité</li> <li>● Contrat précis</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● La décomposition en plusieurs phases allonge le délai</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>● Limitation du risque</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Travail comportant des aléas indétectables avant démontage</li> </ul>

# 36

## GESTION DES STOCKS

### 1. FONCTION APPROVISIONNEMENTS

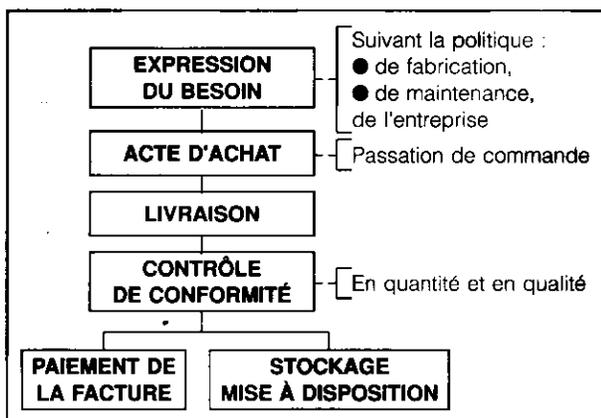
La **fonction approvisionnements** est responsable de la **satisfaction des besoins** exprimés en :

- matières premières,
- composants,
- fournitures ou services divers,

nécessaires pour la réalisation des opérations :

- industrielles de fabrication et de maintenance,
  - ou commerciales,
- de l'entreprise.

Un approvisionnement se déroule suivant le schéma général de la fig. 1a.

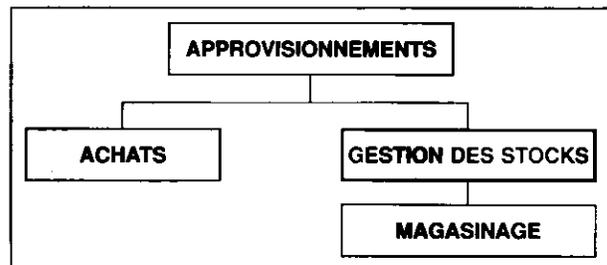


1a. Déroulement d'un approvisionnement.

L'ensemble des activités relatives à un approvisionnement doit être réalisé en **temps opportun** et avec un **coût global minimal**.

La structure générale de la fonction approvisionnements met en évidence deux sous-fonctions (fig. 1b) :

- les **achats**,
- la **gestion des stocks avec le magasinage**.



1b. Structure générale de la fonction approvisionnements.

### 2. STOCK MAINTENANCE

#### ● CONSTITUTION

*Suivant la norme NF X60-000*

**C'est l'ensemble des articles stockés, nécessaires à la réalisation optimale de la fonction maintenance, c'est-à-dire dans les meilleures conditions de délais, de coûts et de sécurité.**

Le stock maintenance est constitué, selon la politique de maintenance de l'entreprise :

- par des **articles appartenant à la nomenclature des biens** à maintenir selon le niveau de maintenance défini par l'entreprise,
- et par les **articles tels qu'outils ou équipements** nécessaires à la réalisation des travaux de maintenance.

*Exemple d'articles du stock maintenance :*

*Ils peuvent être classés, suivant leur nature :*

- en **consommables** : fusibles, joints, visserie, huiles, ...
- en **pièces de rechanges** : capteurs, distributeurs, moteurs, pompes, ...
- en **outillage classique** : outillage courant du mécanicien-monteur, mesureurs divers, pompes de graissage, ...
- en **outillages spéciaux** : engins de levage, détecteur à ultrasons, caméra à infrarouge, ...

Pour ce qui concerne les **pièces de rechange** il faut distinguer :

- celles qui sont **spécifiques** à un matériel, et qui ne peuvent s'acquérir que chez le constructeur de ce matériel,
- et celles qui sont **banalisées**, qui se montent sur plusieurs matériels, et qui peuvent s'acquérir auprès de divers fournisseurs.

De plus les pièces spécifiques qui assurent la sécurité des personnes et des matériels doivent être parfaitement identifiées pour un suivi très rigoureux.

● **ÉLÉMENTS DU COÛT DE GESTION**

Ces éléments sont au nombre de trois :

- **valeurs de consommation, Vco**, qui est pour un article donné, égale au produit de la quantité consommée en une année par le coût unitaire d'achat de l'article,
- **coût d'acquisition ou coût de passation des commandes, Cpa**, qui est la somme des frais engagés pour acquérir un stock,
- **coût de possession, Cpo**, qui est la somme des frais engagés pour détenir un stock.

La gestion du stock doit être telle que la somme de ces trois éléments de coûts soit minimale :

$$Vco + Cpa + Cpo \rightarrow \text{Valeur minimale}$$

● **ÉLÉMENTS DU COÛT DE PASSATION DES COMMANDES**

Un coût de passation des commandes regroupe :

- les salaires et les charges des sections :
  - achats,
  - contrôle-réception magasin,
  - comptabilité fournisseurs,
- les frais des acheteurs,
- les frais de timbres, télex, téléphone,
- les amortissements des mobiliers, matériels de bureau, moyens informatiques, mis en œuvre,
- les loyers et l'amortissement des locaux des différents services concernés,
- la consommation d'énergie, chauffage, éclairage,...

**Le coût total annuel est réparti entre l'ensemble des commandes.**

Dans le cas de commande annuelle unique avec des demandes de livraison étalées dans le temps il est préférable de calculer ce coût par ordre de livraison.

Unitairement ce coût varie entre 150 et 250 francs.

● **ÉLÉMENTS DU COÛT DE POSSESSION**

Un coût de possession regroupe :

- le loyer de l'argent immobilisé dans le stock,

- les salaires et les charges des sections :
  - gestion des stocks,
  - magasinage;
- la consommation d'énergie pour éclairer et chauffer les locaux,
- les frais d'assurances,
- les loyers et l'amortissement des locaux utilisés,
- les pertes par détérioration, coulage,
- les pertes par obsolescence qui rendent un matériel périmé du seul fait de l'évolution technique,...

**Le coût de possession s'exprime par un pourcentage du stock moyen en valeur.**

Il est caractérisé par le taux de possession du stock qui peut être compris entre 20 % et 40 % de la valeur du stock moyen.

● **JUSTIFICATION DU STOCK-MAINTENANCE**

L'existence d'un stock coûte de l'argent à l'entreprise.

Mais l'hypothèse de supprimer le stock dans un objectif de **zéro stock n'est pas réaliste** dans les activités de maintenance.

Cela supposerait :

- que toutes les défaillances entraînant le remplacement de constituants se présenteraient avec une périodicité régulière,
- que tout réapprovisionnement de constituants défectueux s'effectuerait par une rapide livraison des fournisseurs,
- que toute indisponibilité de matériel due à un constituant défaillant, non remplacé, rapidement, ne coûterait rien.

En réalité, cette indisponibilité entraîne un coût d'indisponibilité (fig. 2a).

Le stock maintenance est justifié si

**COÛT D'INDISPONIBILITÉ > COÛT TOTAL DE GESTION DU STOCK**

FRÉQUENCE DE L'INDISPONIBILITÉ	CONSÉQUENCES	
	DANS L'ENTREPRISE	CHEZ LES CLIENTS
<b>CAS PEU FRÉQUENT</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● perte</li> <li>● désorganisation des activités</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● acceptation d'un délai plus long</li> <li>● perte de ventes</li> </ul>
<b>CAS TRÈS FRÉQUENT</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● perte de confiance dans la gestion des stocks</li> <li>● stocks occultes</li> <li>● prévisions faussées</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● perte de clientèle</li> <li>● création d'une brèche pour la concurrence</li> </ul>

2a. Conséquences d'une indisponibilité de matériel.

### 3. MÉTHODES DE RÉAPPROVISIONNEMENT

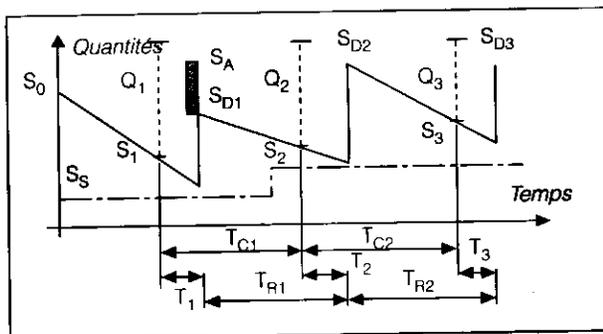
#### ● CHOIX DES PARAMÈTRES DE GESTION

Pour gérer le stock-maintenance il convient de choisir la méthode de réapprovisionnement qui :

- minimise la somme des coûts de gestion,
- en tenant compte du coût d'indisponibilité qui serait dû à une rupture de stock.

La méthode de réapprovisionnement retenue doit privilégier l'application de paramètres de gestion. Pour un article donné, ces derniers peuvent être (fig. 3a) :

- **liés au temps**, tels que :
  - **délai de réapprovisionnement ou délai de livraison** : intervalle de temps entre la date de passation de la commande et la date de réception de la fourniture ( $T_1, T_2, T_3$ ),
  - **intervalle de commande** : intervalle compris entre deux commandes successives ( $T_{C1}, T_{C2}$ ),
  - **intervalle de réapprovisionnement** : intervalle compris entre deux livraisons successives ( $T_{R1}, T_{R2}$ ),
- **liés aux quantités**, tels que :
  - **stock disponible** : différence entre le stock réel en magasin, stock physique, et le stock affecté ( $S_{D1}, S_{D2}, S_{D3}$ ),
  - **stock affecté** : quantité approvisionnée en fonction d'un besoin et qui ne peut être prélevée que pour la satisfaction de ce besoin ( $S_A$ ),
  - **niveau de réapprovisionnement** : quantité en-dessous de laquelle on ne peut descendre sans risque et qui doit entraîner la passation d'une commande ( $S_1, S_2, S_3$ ),
  - **niveau du stock de sécurité** : quantité prélevée sur le stock et destinée à pallier les aléas des approvisionnements et des consommations, afin d'éviter la rupture du stock ( $S_S$ ),
  - **quantité économique à commander** : quantité à commander dont l'importance est établie en fonction de critères économiques.



- 3a. Paramètres de gestion d'un stock.
- $T_1, T_2, T_3$  : délais de réapprovisionnement ou de livraison.
  - $T_{C1}, T_{C2}$  : intervalles de commandes.
  - $T_{R1}, T_{R2}$  : intervalles de réapprovisionnements.
  - $Q_1, Q_2, Q_3$  : quantités commandées aux niveaux de réapprovisionnements respectifs  $S_1, S_2$  et  $S_3$ .
  - $S_A$  : stock affecté (partie de  $Q_2$ ).
  - $S_{D1}$  : stock disponible après l'affectation de  $S_A$ .
  - $S_{D2}, S_{D3}$  : stocks disponibles après livraison de  $Q_2$  et  $Q_3$ .
  - $S_S$  : stock de sécurité.
  - $S_0$  : stock initial.

#### ● MÉTHODE DE RÉAPPROVISIONNEMENT AVEC :

##### ● INTERVALLE DE RÉAPPROVISIONNEMENT CONSTANT

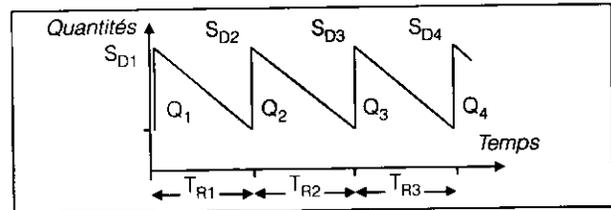
##### ● QUANTITÉ CONSTANTE OU VARIABLE

Cette méthode se traduit par (fig. 3b) :

- un réapprovisionnement périodique  $T_R = \text{Constante}$
- et une **quantité  $Q = \text{Constante ou variable}$ .**

La passation de commande peut se faire :

- avant chaque livraison,
- ou en une seule fois en début d'année en prévoyant l'échelonnement des livraisons.

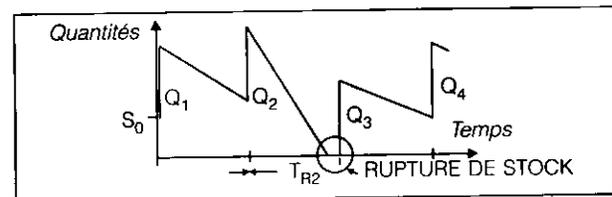


3b. La période de réapprovisionnement et la quantité livrée sont constantes.

L'avantage de cette méthode est sa **simplicité, pas de suivi au niveau du stock**, d'où un **coût de gestion réduit**.

Son inconvénient est de **ne pas couvrir** :

- le **risque de rupture de stock**,
- ou le **risque du stock trop important**, si la loi de la consommation varie durant une période de réapprovisionnement (fig. 3c).



3c. Cas d'une consommation irrégulière avec une rupture de stock à la fin de la deuxième période de réapprovisionnement  $T_{R2}$ .

Cette méthode de gestion convient pour gérer le stock d'articles, dont la consommation est régulière et pour lesquels le risque de rupture de stock n'a que des conséquences limitées.

#### ● MÉTHODE DE RÉAPPROVISIONNEMENT AVEC :

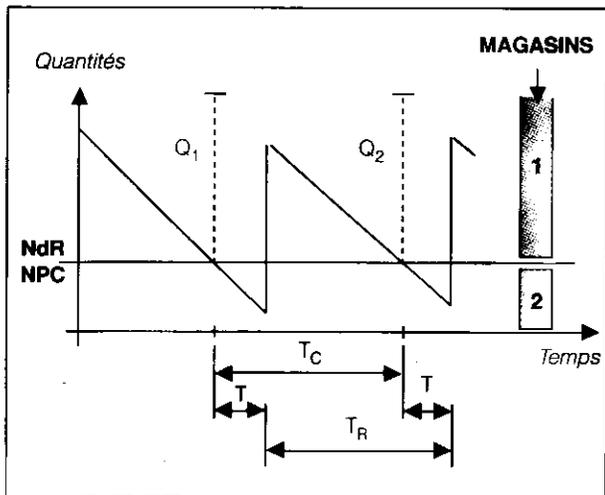
##### ● NIVEAU DE RÉAPPROVISIONNEMENT PRÉDÉTERMINÉ

##### ● QUANTITÉ CONSTANTE OU VARIABLE

Cette méthode se traduit par une passation de commande **dès que le niveau du stock atteint une valeur prédéterminée dite de réapprovisionnement,  $NdR$** , ou de **passation de commande, NPC** (fig. 3d).

Le niveau de ce stock peut être considéré comme un **stock d'alerte**.

Cette méthode est simple à gérer, elle est aussi désignée par **méthode des deux magasins**. Dès que le magasinier satisfait les besoins en prélevant des articles dans le deuxième magasin il doit déclencher la passation de commande (fig. 3d).



3d. Méthode avec niveau de réapprovisionnement prédéterminé.

Cette méthode ne peut exclure totalement le risque de rupture de stock. Ce risque est fonction du **niveau prédéterminé du NdR**. Ce dernier doit au moins être **égal à la consommation moyenne durant le délai de livraison**. Toute valeur supérieure à ce niveau diminue le risque de rupture de stock mais augmente la valeur du stock moyen d'où le coût de possession.

Les garanties commandées peuvent être :

- égales,
- en rapport avec une consommation moyenne,
- déterminées pour atteindre un niveau maximal après réapprovisionnement,
- calculées en fonction de critères économiques.

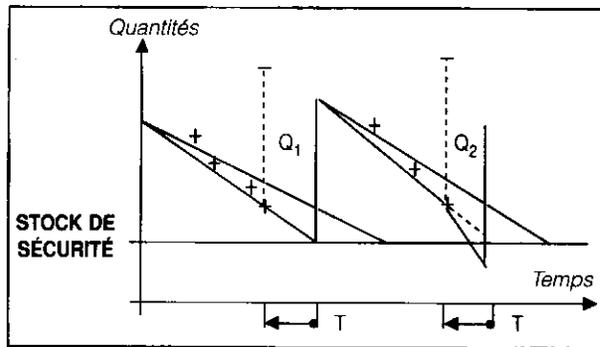
● **MÉTHODE DE RÉAPPROVISIONNEMENT AVEC :**

- NIVEAU D'UN STOCK MINIMAL OU STOCK DE SÉCURITÉ
- QUANTITÉ CONSTANTE OU VARIABLE

Dans cette méthode la commande est passée à un montant tel que, au moment de la livraison le niveau du stock soit au moins égal à un **niveau minimal prédéterminé désigné par stock de sécurité** (fig. 3e).

Par un suivi constant de la variation du stock il est possible :

- d'**extrapoler l'instant** où le niveau du stock de sécurité sera atteint;
- de prendre en compte le délai de livraison pour déterminer la date de passation de commande.



3e. Méthode avec niveau de stock de sécurité.

Dans la fig. 3e la passation de la commande de  $Q_2$  est faite à temps, mais l'augmentation de la consommation durant le délai de livraison fait qu'à la livraison de  $Q_2$ , le stock de sécurité est partiellement consommé. Néanmoins, il n'y a pas de rupture de stock.

**Le calcul du stock de sécurité est lié à l'étude des consommations antérieures.**

C'est un problème qui relève des **statistiques** et qui se traite en trois parties :

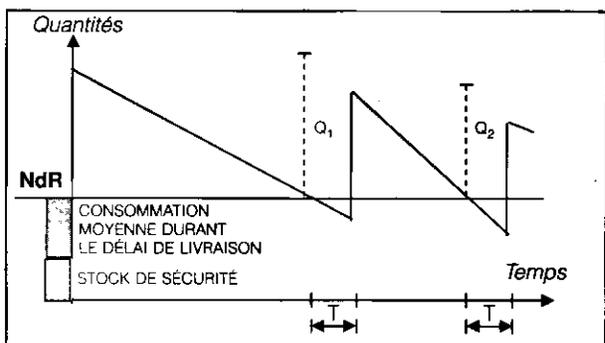
- calcul de la **variation aléatoire de la consommation**,
- adaptation de ce résultat au **délai de réapprovisionnement**,
- choix d'un **risque de rupture de stock**.

Le suivi permanent du stock et les contraintes des calculs font que cette méthode est d'une application lourde et de ce fait onéreuse. Dans la pratique, **le stock de sécurité est pris en compte dans le niveau de réapprovisionnement**, et la gestion se fait par une passation de commande lorsque ce niveau du stock est atteint (fig. 3f).

**NIVEAU DE RÉAPPROVISIONNEMENT = STOCK DE SÉCURITÉ + CONSOMMATION MOYENNE PENDANT LE DÉLAI D'APPROVISIONNEMENT**

**NdR ou NPC ou STOCK D'ALERTE =  $S_s + C_m \times T$**

- avec :  $S_s$  : stock de sécurité  
 $C_m$  : consommation moyenne dans une période donnée.  
 $T$  : délai de livraison exprimé dans la même unité période.



3f. Prise en compte d'un stock de sécurité dans le niveau de réapprovisionnement NdR.

● CALCUL DU STOCK D'ALERTE

Pour les articles dont la pénurie peut entraîner un coût élevé d'indisponibilité du matériel et qui présente un coût de possession non négligeable, il faut déterminer le meilleur compromis entre ces deux coûts.

Ce compromis est caractérisé par le **niveau de service** de l'article  $N_S$  en % :

$$N_S = \left(1 - \frac{t \cdot Pu}{N \cdot C_R}\right) \times 100$$

avec : **t** : taux de possession annuel en %  
**Pu** : prix unitaire de l'article  
**N** : nombre annuel de commandes  
**C<sub>R</sub>** : coût entraîné par une rupture de stock ou coût d'indisponibilité du matériel.

Dans cette expression :

**t·Pu** est le coût de possession annuel de l'article : **C<sub>po</sub>**.

**N·C<sub>R</sub>** est le coût maximal annuel de rupture de stock, une par commande.

À ce niveau de service en % correspond une constante de **niveau de service K** (fig. 3g).

Niveau de service en %	K
50	0
55	0,13
60	0,25
65	0,39
70	0,52
75	0,67
80	0,84
85	1,04
90	1,28
95	1,65
96	1,75
97	1,88
98	2,05
99	2,33
99,5	2,58
99,6	2,65
99,7	2,75
99,8	2,88
99,9	3,09
99,99	3,75
100	3,95

3g. Correspondance entre le niveau de service exprimé en % et sa constante K.

Exemple :

Pour un article :

$Pu = 1\ 000$

$t = 20\ %$

$N = 2$  commandes par an

$C_R = 5\ 000$

$$N_S = \left(1 - \frac{0,2 \times 1000}{2 \times 5000}\right) \times 100 = 98\ %$$

La constante K de service est 2,05.

Si, sur une période antérieure considérée comme représentative, les consommations varient autour d'une **valeur moyenne** il est possible de considérer que la **loi de cette consommation est une loi dite normale**, ou loi de **Laplace-gauss**.

Dans ce cas deux valeurs la caractérisent :

- sa **valeur moyenne  $\bar{m}$**  (se lit m barre),
- son **écart type  $\sigma$**  (se lit sigma).

Suivant la nature de l'article ces deux valeurs  $\bar{m}$  et  $\sigma$  sont calculées sur des consommations qui peuvent être relatives :

- à la journée, consommations journalières,
- à la semaine, hebdomadaire,
- au mois, mensuelles,...

Le tableau 3h donne la valeur du stock de sécurité **S<sub>S</sub>**.

VALEUR DU DÉLAI DE LIVRAISON T	VALEUR DU STOCK DE SÉCURITÉ S <sub>S</sub>
T = période de calcul de $\sigma$	$S_S = K\sigma$
T = n x période de calcul de $\sigma$	$S_S = K\sigma \sqrt{n}$

3h. Valeur du S<sub>S</sub> en fonction de  $\sigma$  et de T.

Exemple :

Pour un article avec  $K = 2,05$  et  $\sigma = 4$  calculé sur des consommations hebdomadaires

si T = 1 semaine :  $S_S = 2,05 \times 4 = 9$  articles

si T = 9 semaines :  $S_S = 2,05 \times 4 \times \sqrt{9} = 25$  articles.

Le stock d'alerte ou niveau de réapprovisionnement doit comprendre, en plus du stock de sécurité la **consommation moyenne** durant le délai de livraison (voir fig. 3f). Cette consommation prend en compte la **valeur de  $\bar{m}$** .

Le tableau 3i donne la valeur du stock d'alerte.

VALEUR DU DÉLAI DE LIVRAISON T	VALEUR DU STOCK D'ALERTE S <sub>A</sub>
T = période de calcul de $\sigma$ et de $\bar{m}$	$S_A = \bar{m} + K\sigma$
T = n x période de calcul de $\sigma$	$S_A = \bar{m}n + K\sigma \sqrt{n}$

3i. Valeur de S<sub>A</sub> en fonction de  $\sigma$ , de  $\bar{m}$  et de T.

Exemple :

Pour un article avec  $K = 2,65$ ,  $\sigma = 3$  et  $\bar{m} = 12$  calculés sur des consommations mensuelles.

si T = 1 mois :  $S_A = 12 + (2,65 \times 3) = 20$  articles

si T = 4 mois :  $S_A = (12 + 4) + (2,65 \times 3\sqrt{4}) = 64$  articles

La passation de commande doit se faire dès que le niveau du stock atteint :

- 20 articles, lorsque le délai de livraison est de 1 mois;
- 64 articles, lorsque le délai de livraison est de 4 mois.

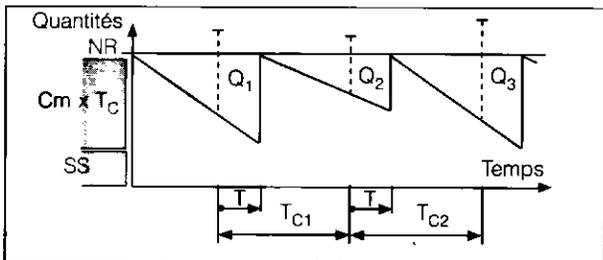
● **MÉTHODE DE RÉAPPROVISIONNEMENT AVEC :**

- INTERVALLE DE COMMANDE CONSTANT
- MAINTIEN DU STOCK À UN NIVEAU PRÉDÉTERMINÉ APRÈS CHAQUE RÉAPPROVISIONNEMENT

Dans cette méthode il faut définir ce niveau de stock après réapprovisionnement ou **niveau de recouvrement NR** (fig. 3j) :

**NR = Consommation moyenne durant l'intervalle de commande + Stock de sécurité.**

$$NR = (T_C \times C_m) + S_S$$



3j. Méthode avec intervalle de commande  $T_C =$  Constante et un niveau de recouvrement NR prédéterminé.

À chaque passation de commande la **quantité Q** est égale à **NR - niveau du stock**.

Cette méthode permet des groupages de commandes, transports, réceptions,... à des dates prédéterminées.

● **MÉTHODE DE RÉAPPROVISIONNEMENT PAR QUANTITÉ ÉCONOMIQUE**

Dans cette méthode la quantité à commander dépend essentiellement de **critères économiques**, c'est une **quantité économique**.

Dans une gestion de stock les éléments économiques sont :

- la consommation annuelle de l'article : **N**
- le coût unitaire de l'article à l'achat : **Pu**
- le coût de passation d'une commande : **Cpa**
- le coût de possession annuel d'un article : **Cpo**
- le taux de possession annuel : **t %**

● **ÉTUDE DU MODÈLE SÉRIE ÉCONOMIQUE : MODÈLE DE WILSON**

Le modèle étudié prend en compte certaines **hypothèses simplificatrices** :

- le prix unitaire d'un article est fixé : il n'y a pas de remise pour quantités,
- la pénurie est exclue, il n'y a pas de rupture de stock,
- la consommation est constante par unité de temps,
- le coût d'acquisition est constant,
- le coût de possession annuel d'un article est constant.

CALCUL DU COÛT DE PASSATION ANNUEL DES COMMANDES D'UN MÊME ARTICLE

$$CPA = Cpa \times \text{Nombre annuel de Commandes}$$

$$= Cpa \times \frac{N}{Q_E}$$

avec  $Q_E$  : **Quantité économique**

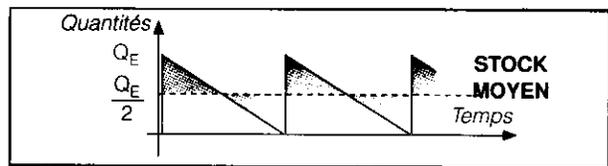
**N** : **consommation annuelle de cet article.**

CALCUL DU COÛT DE POSSESSION ANNUEL D'UN ARTICLE APPROVISIONNÉ PAR DES COMMANDES ÉGALES À  $Q_E$

$$CPO = Cpo \times \text{Stock moyen}$$

Suivant la fig. 3k le stock moyen est égal à  $\frac{Q_E}{2}$

$$\text{d'où } CPO = Cpo \times \frac{Q_E}{2}$$



3k Le stock moyen est égal à  $\frac{Q_E}{2}$ .

**EXPRESSION DU COÛT TOTAL ANNUEL DE GESTION, CT :**

$$CT = CPA + CPO \Rightarrow \text{Valeur minimale}$$

$$CT = \left( Cpa \times \frac{N}{Q_E} \right) + \left( Cpo \times \frac{Q_E}{2} \right)$$

**Remarque** : Cette somme doit être minimale or le produit CPA x CPO qui est égal à :

$$\left( Cpa \times \frac{N}{Q_E} \right) \times \left( Cpo \times \frac{Q_E}{2} \right) = \frac{Cpa \times Cpo \times N}{2}$$

est constant.

**Si le produit de deux termes est constant leur somme est minimale lorsque ces deux termes sont égaux.**

$$\text{D'où : } Cpa \times \frac{N}{Q_E} = Cpo \times \frac{Q_E}{2}$$

$$Q_E^2 = \frac{2 \cdot N \cdot Cpa}{Cpo}$$

$$\text{quantité économique } Q_E = \sqrt{\frac{2 \cdot N \cdot Cpa}{Cpo}}$$

et en remplaçant Cpo par  $t \cdot Pu$  :

$$Q_E = \sqrt{\frac{2 \cdot N \cdot Cpa}{t \cdot Pu}}$$

**Exemple :**

Quantité économique de fluide hydraulique.

**N = 5 300 litres; Cpa = 50 F; Pu = 21,60 F; t % = 20**

$$Q_E = \sqrt{\frac{2 \times 5300 \times 50}{0,2 \times 21,60}} = 350 \text{ litres}$$

Malgré les hypothèses simplificatrices le **modèle de WILSON fournit toujours un ordre de grandeur de la quantité à commander** qui rend minimale la somme des coûts annuels de passation de commande et de possession relatifs à un article.

● REPRÉSENTATION GRAPHIQUE DES COÛTS DE GESTION (fig. 3l)

● coût annuel de possession

$$CPO = C_{po} \times \frac{Q_E}{2}$$

d'où fonction linéaire de la forme  $y = ax$

● coût annuel de passation des commandes

$$CPA = C_{pa} \times \frac{N}{Q_E}$$

d'où hyperbole équilatère de la forme  $y = \frac{a}{x}$

● coût total de gestion

$$C_T = CPO + CPA$$

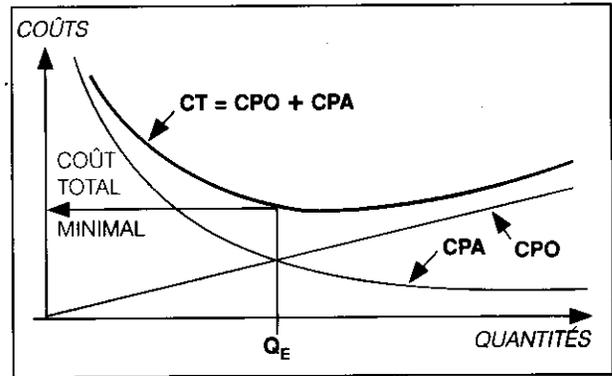
il passe par une valeur minimale pour

**CPA = CPO**, à cette valeur correspond la **quantité économique  $Q_E$** .

4. CAS DE PIÈCES SPÉCIFIQUES TRÈS ONÉREUSES

Ces pièces présentent les caractéristiques suivantes :

- elles ne concernent qu'un type de machine,
- elles coûtent cher,
- leur manque peut entraîner un coût de défaillance important.



3l. Variation des coûts de gestion en fonction de la quantité commandée.

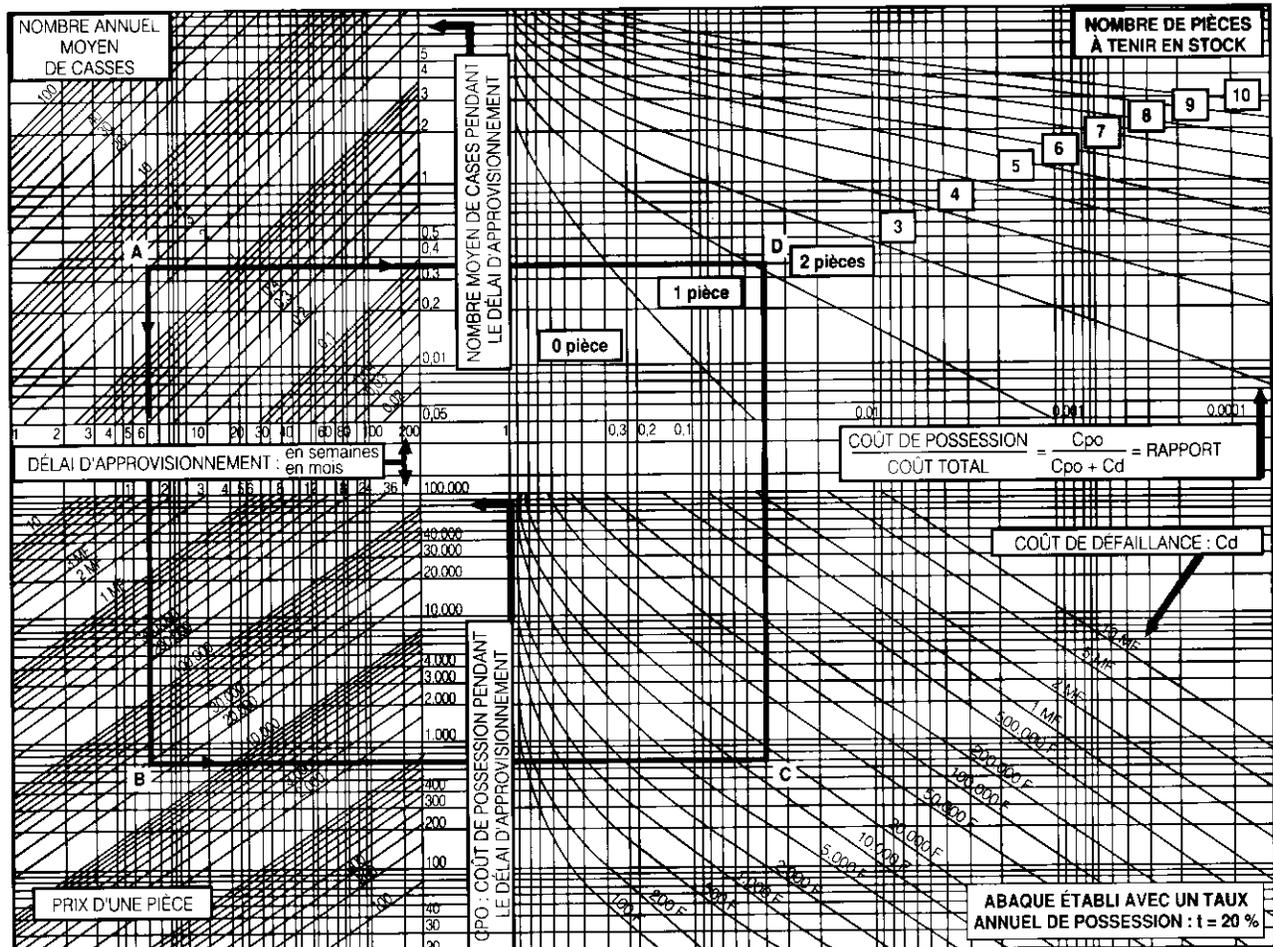
D'où la justification de l'étude détaillée du nombre de pièces à maintenir en stock.

Exemple :

Suivant l'abaque de la fig. 4a avec les hypothèses suivantes :

- nombre annuel moyen de casses : 3,
- délai d'approvisionnement : 6 semaines,
- prix de la pièce : 30 000 F,
- coût de la défaillance : 18 000 F qui représente l'ensemble des frais résultant du manque de pièce durant le délai d'approvisionnement de 6 semaines,

sa lecture avec les points **A, B, C** et **D**, indique qu'il est souhaitable d'avoir deux pièces en stocks.



4a. Abaque applicable aux pièces spécifiques très onéreuses.

# 37

## ORGANISATION DU MAGASIN

### 1. CONDITIONS DU MAGASINAGE

Le magasinage concerne les moyens à mettre en œuvre pour **pouvoir physiquement entreposer les différents articles du stock maintenance.**

Ce magasinage :

- doit permettre de **repérer** facilement les articles entreposés ;
- doit offrir une **capacité suffisante à chaque article** compte-tenu de sa nature et de la quantité maximale à entreposer ;
- doit être conçu pour **faciliter les opérations** de stockage et de déstockage des articles ;
- doit **éviter la dégradation** des articles par des phénomènes de corrosion, ou des caractéristiques d'ambiance, température et hygrométrie, non compatibles avec leur bonne conservation.

Exemples :

- *casiers adaptés à la nature des articles à entreposer ;*
- *identification des zones de stockage par un repérage des allées, casiers, emplacements,...* ;
- *protection par un film de graisse des surfaces métalliques risquant d'être corrodées.*

### 2. NORMALISATION ET STANDARDISATION

**Le stock maintenance coûte cher.**

Le choix d'une bonne méthode de réapprovisionnement permet de réduire le coût total de sa gestion. Mais il est possible, aussi, de réduire ce coût en diminuant le nombre des variétés des articles qui le constituent.

Exemple :

**Choisir, dans une gamme de puissance, une marque de matériel électrique :**

- **l'imposer** aux fournisseurs des machines et équipements,
- **substituer** à tout composant défectueux d'une autre marque le composant de la marque choisie,

permet à l'entreprise :

- de **réduire le nombre des variétés** de composants électriques de rechange,
- d'**augmenter les quantités commandées** pour les composants retenus,
- d'**obtenir de meilleures conditions d'achat,**
- de **réduire globalement le coût** de sa gestion de stock.

Cette démarche qui consiste à :

- **spécifier** le choix des constituants retenus,
  - **unifier** les équipements en montant ces constituants,
  - **simplifier** la gestion de leur stock,
- est représentative d'un **objectif de normalisation d'entreprise ou standardisation.**

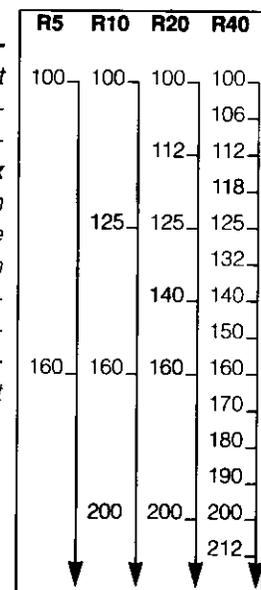
Cette même démarche pourrait utiliser les outils de la **normalisation nationale et internationale** que sont :

- les normes,
- les fascicules de documentation,
- les recueils de règlements,...

Exemple :

La **normalisation dimensionnelle** propose l'échelonnement des valeurs des critères qualitatifs et dimensionnels des articles. Ces **nombres normaux** ou **séries RENARD**, du nom de l'officier ingénieur militaire français qui les proposa en 1879 pour normaliser les diamètres des câbles de dirigeables, sont des **séries géométriques** dont les raisons sont des **racines de 10** (fig. 1a) :

- **série R5, raison  $\sqrt[5]{10} = 1,6$**
- **série R10, raison  $\sqrt[10]{10} = 1,25$**
- **série R20, raison  $\sqrt[20]{10} = 1,12$**
- **série R40, raison  $\sqrt[40]{10} = 1,06$ .**



1a. Principe d'échelonnement des nombres normaux.

### 3. NOMENCLATURE ET CODIFICATION

#### ● NOMENCLATURE

La nomenclature d'un produit est la liste de ses composants ordonnée selon une décomposition logique.

C'est ainsi :

- que pour la fabrication d'un produit la nomenclature regroupe l'ensemble de ses constituants,
- que pour la maintenance la nomenclature d'un matériel ne regroupe que les constituants qui supportent les interventions de maintenance.

Une nomenclature s'établit toujours après l'**inventaire complet des constituants** concernés. Cet inventaire doit surtout permettre d'éliminer des constituants excédentaires qui ne représentent que des **variétés apparentes ou réelles mais superflues**.

À partir des constituants bien représentatifs d'une **variété réelle justifiée** il est possible d'adopter une **classification** qui doit permettre :

- de trouver un constituant qui existe, ou d'être sûr qu'il n'existe pas,
- de disposer d'une place unique prête à la recevoir,
- de trouver tous les constituants susceptibles de satisfaire un besoin donné,
- de trouver tous les besoins que satisfait un constituant donné.

Ces deux derniers objectifs ne peuvent être satisfaits que par une **classification idéologique** conçue suivant les objectifs d'exploitation de la nomenclature.

#### ● CODIFICATION IDÉOLOGIQUE

Cette classification idéologique se traduit par une **codification** elle-même **idéologique** caractérisée :

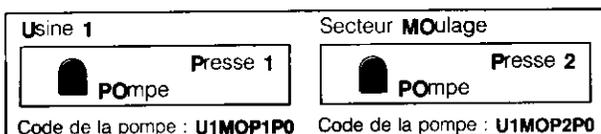
- par le **choix de critères**, nécessaires et suffisants pour l'identification des constituants, communs au plus grand nombre, adaptés aux besoins d'exploitation de la nomenclature,
- par leur **définition**,
- par leur **hiérarchisation**.

● **CRITÈRE TOPOGRAPHIQUE** (ou géographique)  
Ce critère répond au besoin de localisation du constituant :

- par rapport à son lieu d'emploi dans le matériel ;

Exemple (fig. 3a) :

Un même constituant, une pompe, aura des codes différents ce qui peut être intéressant dans des études de fiabilité dans le cas où les conditions d'utilisation des matériels seraient différentes (pression, cadence, ...).

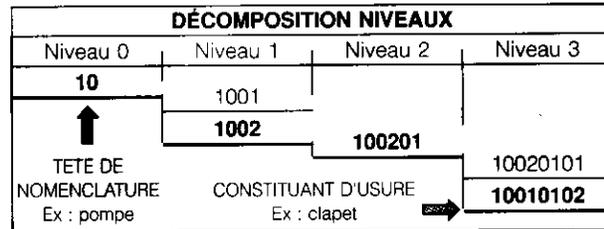


3a. Codification topographique d'un même constituant.

- par rapport à son niveau de montage dans le matériel ;

Exemple (fig. 3b) :

Le clapet, pièce d'usure de la pompe, à pour code **10 02 01 02** qui traduit la décomposition par niveaux de démontage du matériel pompe qui est la tête de la nomenclature, c'est aussi une codification en **cascade**.

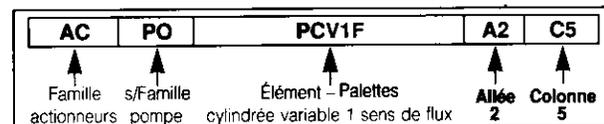


3b. Codification en fonction du niveau de montage.

- par rapport à son lieu de stockage en magasin ;

Exemple (fig. 3c) :

Les palettes sont stockées dans l'allée 2 à la colonne 5, d'où une partie de code qui donne la localisation.



3c. Codification en rapport avec le lieu de stockage.

#### ● CRITÈRE GESTION DES STOCKS

Pour un constituant donné la **gestion des stocks** impose un **code unique**. Les codes topographiques deviennent des cas d'emploi.

#### ● CRITÈRE BUDGÉTAIRE

Ce code, ou partie de code, rappelle le **numéro des comptes** des sections comptables de la maintenance, ou le numéro des affaires, ou le numéro de l'entreprise prestataire de services.

### 4. DOCUMENTS DE GESTION DES STOCKS

La norme **NF X 60-000** définit :

- le **catalogue des articles du stock maintenance** qui permet aux utilisateurs de contrôler l'ensemble des articles stockés avec leur disponibilité ;
- le **fichier du stock maintenance** qui comporte les données :

- d'identification des articles,
- relatives à la gestion du stock,
- relatives aux mouvements du stock,
- relatives à l'approvisionnement,
- relatives à l'exploitation de statistiques.

Suivant l'importance du service maintenance et des moyens de gestion dont il dispose. Ces documents peuvent être gérés :

- manuellement,
- ou par l'informatique (voir exemples page 148).

# CONDITIONS D'EMPLOI D'UN MULTIMÈTRE

La mesure électrique impose :

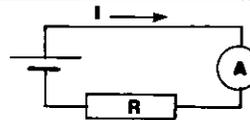
- un **choix** correct des **appareils de mesure** et leurs conditions d'utilisation,
- ainsi que le **respect de méthodes de mesure précises**.

Le non-respect de ces conditions peut :

- détruire les composants et les circuits de l'objet technique,
- endommager les mesureurs,
- provoquer des accidents corporels.

## ● MESURE D'UNE INTENSITÉ

Pour mesurer l'intensité du courant dans un circuit le multimètre, utilisé dans sa fonction ampèremètre, se branche toujours en série dans le circuit.

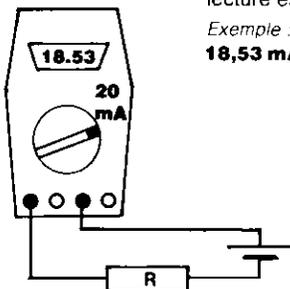


**Le même courant traverse la résistance et l'ampèremètre.**

### ● MULTIMÈTRE NUMÉRIQUE

Pour un choix correct du calibre, dépassement non signalé, la lecture est directe.

Exemple : **18,53 mA**



### ● MULTIMÈTRE ANALOGIQUE

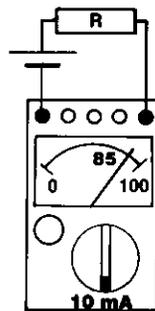
- Choisir le calibre, en commençant par le plus grand, qui permet la plus grande amplitude de déplacement de l'aiguille sans dépasser les limites du cadran.
- Lire sur l'échelle repérée par rapport au calibre le nombre de divisions correspondant à la position de l'aiguille.
- Calculer :

**Valeur mesurée =**

$$\frac{\text{calibre choisi}}{\text{nombre de divisions de l'échelle de lecture}} \times \text{nombre de divisions lues}$$

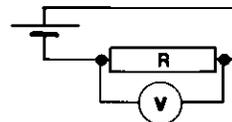
Exemple : Calibre choisi 10 mA. Échelle de lecture 100 divisions. Position de l'aiguille 85.

Valeur mesurée :  $\frac{10}{100} \times 85 = 8,5 \text{ mA}$



## ● MESURE D'UNE TENSION

Pour mesurer la tension aux bornes d'un circuit le multimètre, utilisé dans sa fonction voltmètre, se branche toujours en parallèle, ou en dérivation avec le circuit.

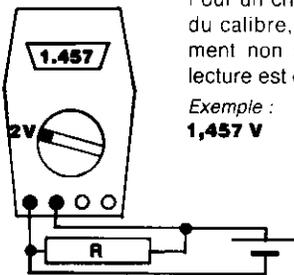


**La même tension est appliquée à la résistance et au voltmètre.**

### ● MULTIMÈTRE NUMÉRIQUE

Pour un choix correct du calibre, dépassement non signalé, la lecture est directe.

Exemple : **1,457 V**



### ● MULTIMÈTRE ANALOGIQUE

- La méthode de la lecture et le calcul reste la même que celle décrite pour la mesure d'une intensité.

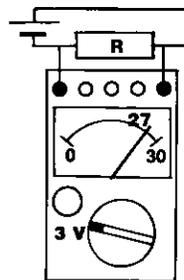
Exemples :

● Calibre choisi 100 V. Échelle de lecture 100 divisions. Position de l'aiguille 63.

Valeur mesurée :  $\frac{100}{100} \times 63 = 63 \text{ V}$

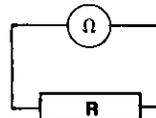
● Calibre choisi 3 volts. Échelle de lecture 30 divisions. Position de l'aiguille 27.

Valeur mesurée :  $\frac{3}{30} \times 27 = 2,7 \text{ V}$



## ● MESURE D'UNE RÉSISTANCE

Pour mesurer avec un multimètre, utilisé dans sa fonction ohmmètre, la résistance d'un composant, ce dernier est branché directement aux bornes de l'appareil.

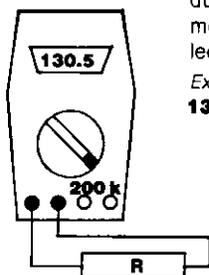


**ATTENTION : La mesure d'une résistance doit se faire hors tension.**

### ● MULTIMÈTRE NUMÉRIQUE

Pour un choix correct du calibre, dépassement non signalé, la lecture est directe.

Exemple : **130,5 kΩ**



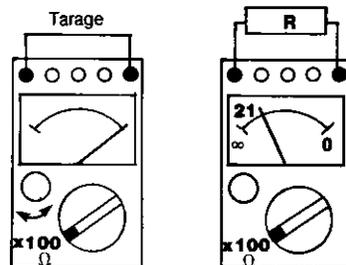
### ● MULTIMÈTRE ANALOGIQUE (avec dispositif de tarage)

- Choisir le calibre
- L'appareil en court-circuit, agir sur le dispositif de tarage pour amener l'aiguille sur le zéro.
- Brancher le composant.
- Lire sur l'échelle Ω la position de l'aiguille.
- Calculer :

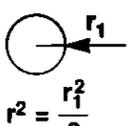
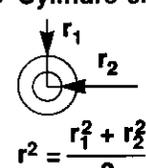
**Valeur mesurée = valeur lue × coefficient du calibre**

Exemple : Coefficient du calibre 100. Valeur lue 21.

Valeur mesurée :  $21 \times 100 = 2100 \Omega$



# FORMULAIRE

MÉCANIQUE	ÉLECTROTECHNIQUE
<p><b>VITESSE ANGULAIRE</b> : <math>\omega = 2 \pi n</math> avec : <math>\omega</math> en radians/seconde, rad/s. n en tours/seconde, tr/s.</p> $\omega = \frac{2 \pi N}{60}$ <p>avec : N en tours/minute, tr/min.</p> <p><b>FRÉQUENCE DE ROTATION SYNCHRONÉ</b> (sensiblement égale à la vitesse à vide d'un moteur asynchrone) :</p> $\omega = \frac{2 \pi f}{60}$ <p>avec : <math>\omega</math> vitesse angulaire en rad/s. f fréquence du réseau en hertz, Hz.</p> $n = \frac{f}{p}$ <p>avec : n vitesse de rotation en tr/s. p nombre de paires de pôles du moteur.</p> <p><b>COUPLE NOMINAL</b> : <math>T_n = \frac{P_n}{\omega_n}</math> avec : <math>T_n</math> couple nominale en newtons-mètres, N•m. <math>P_n</math> puissance nominale en watts, W. <math>\omega_n</math> vitesse angulaire nominale en rad/s.</p> <p><b>COUPLE ACCÉLÉRATEUR</b> : <math>T_a = T_m - T_r</math> avec : <math>T_a</math> couple accélérateur en newtons-mètres. <math>T_m</math> couple moteur en newtons-mètres. <math>T_r</math> couple résistant en newtons-mètres.</p> <p><b>DURÉE DE DÉMARRAGE</b> (de la vitesse 0 à la vitesse <math>\omega_n</math> avec un couple accélérateur constant <math>T_a</math>) :</p> $t = \frac{J \omega_n}{T_a}$ <p>avec : t temps de démarrage en secondes, s. J moment d'inertie total des masses en mouvement (moteur + charge) en kilogrammes-mètres carrés. <math>\omega</math> vitesse angulaire nominale en rad/s. <math>T_a</math> couple accélérateur en newtons-mètres.</p> <p><b>RAYON DE GIRATION</b> :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Cylindre plein.</li> <li>● Cylindre creux.</li> </ul> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">  <math display="block">r^2 = \frac{r_1^2}{2}</math> </div> <div style="text-align: center;">  <math display="block">r^2 = \frac{r_1^2 + r_2^2}{2}</math> </div> </div> <p><b>MOMENT D'INERTIE D'UN CORPS DE MASSE m</b> :</p> $J : mr^2$ <p>avec : J moment d'inertie en kilogrammes-mètres carrés. m masse en kilogrammes. r rayon de giration en mètres.</p>	<p><b>LOI DE JOULE</b> : <math>W = RI^2t</math> (en monophasé) avec : W énergie dissipée en Joules, J. R résistance du circuit en ohms, <math>\Omega</math>. I intensité du courant en ampères, A. t temps de passage du courant en secondes.</p> <p><b>LOI D'OHM</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Circuit à résistance seule : <math>U = RI</math></li> <li>● Circuit à réactance seule : <math>U = XI</math></li> <li>● Circuit à résistance et réactance : <math>U = ZI</math></li> </ul> <p>avec : U tension aux bornes du circuit en volts, V. I intensité du courant en ampères, A. R résistance du circuit en ohms, <math>\Omega</math>. X = <math>X_L</math> ou <math>X_C</math> réactance du circuit en ohms. Z impédance du circuit en ohms.</p> <p><b>PUISSANCE ACTIVE</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● en continu : <math>P = UI</math></li> <li>● en monophasé : <math>P = UI \cos \phi</math></li> <li>● en triphasé : <math>P = UI \sqrt{3} \cos \phi</math></li> </ul> <p>avec : P puissance active en watts, W. U tension en volts (en triphasé tension entre phases). I intensité du courant en ampères. <math>\cos \phi</math> facteur de puissance du circuit.</p> <p><b>COURANT ABSORBÉ PAR UN MOTEUR</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● en monophasé : <math>I = \frac{P}{U \eta \cos \phi}</math></li> <li>● en triphasé : <math>I = \frac{P}{U \sqrt{3} \eta \cos \phi}</math></li> <li>● en continu : <math>I = \frac{P}{U \eta}</math></li> </ul> <p>avec : I courant absorbé par le moteur en A. P puissance active en W. <math>\eta</math> rendement du moteur. <math>\cos \phi</math> facteur de puissance du moteur. U tension en V (entre phases pour le triphasé).</p>
	<p style="text-align: center;"><b>FLUIDIQUE</b></p> <p><b>DÉBIT VOLUMIQUE</b> : <math>D_v = Sv</math> avec : <math>D_v</math> débit volumique en <math>m^3</math>. S section en <math>m^2</math>. v vitesse en mètre par seconde.</p> <p><b>DÉBIT MASSIQUE</b> : <math>D_m = \rho S v</math> avec : <math>D_m</math> débit massique en kilogramme par seconde. <math>\rho</math> masse volumique du fluide en kg.</p> <p><b>PUISSANCE MÉCANIQUE DE TRANSLATION</b> :</p> $P = Fv$ <p>avec : P puissance en W. F force en newtons. v vitesse d'écoulement du fluide en m/s.</p> <p>si : <math>F = pS</math> avec p pression en pascals, Pa S section en <math>m^2</math></p> $P = pSv$ <p style="text-align: center;"><b>P = px Débit volumique.</b></p>

## INDEX

<b>A</b>		Degré de liaison	28
ABACABAD ( <i>Méthode</i> )	172	Degré de liberté	28
ABC ( <i>Courbe</i> )	139	Démarrage moteurs asynchrones à cage	63
Accumulateur	107	Démontage, remontage	136
Actionneur	115	Dépannage	130
Algèbre logique	93	Détecteur	112
AMDEC	154	Détection	131
Amélioration	8	Diagnostic	133
Analyse arborescente	26	Dialogue de programmation	89
Annuaire ( <i>Liaison</i> )	29	Dialogue de supervision	89
Antériorités ( <i>Matrice des</i> )	137	Dialogue d'exploitation	89
Appui plan ( <i>Liaison</i> )	30	Disponibilité	156
Arbre des défaillances	135	Dossier historique	166
Auto-maintien	67	Dossier technique	166
Automate programmable industriel	79		
Automatisation	15	<b>E</b>	
Automatismes	74	EAROM ( <i>Mémoire</i> )	80
		Échelles	52
<b>B</b>		EEPROM ( <i>Mémoire</i> )	80
Baignoire ( <i>Courbe en</i> )	163	Effecteur	28
Bielle manivelle ( <i>Système</i> )	42	Emmanchement conique	36
Bon de travail	125	Encastrement ( <i>Liaison</i> )	32
Booléennes ( <i>Opérations</i> )	93	Engrenage	41
Bus	79	Entrée tout ou rien	83
		EPROM ( <i>Mémoire</i> )	80
<b>C</b>		Étanchéité	43
Came	42	Étape	97
CAO	48		
Capacité mémoire	80	<b>F</b>	
Capteur	109	Faisabilité	21
Causes de défaillance	151	Fiabilité	162
Causes et effets ( <i>Diagramme</i> )	24	Filetées ( <i>Pièces</i> )	54
Cellule pneumatique	94	Flexibilité	18
Cercle de qualité	23	Flux de production	19
Chaînes	41	FMAP	164
Codeur	113	FMED	156
Codification	187	Frettage	36
Collage	36		
Compétitivité	13	<b>G</b>	
Compteur ordinal	79	Gantt ( <i>Diagramme de</i> )	174
Compteur programme	79	Glissière ( <i>Liaison</i> )	31
Consignation	132	Glissière hélicoïdale ( <i>Liaison</i> )	32
Contrats de maintenance	175	GMAO	147
Contrôle	123	GRAFCET	98
Corrosion	153	Graissage	127
Coupe	52	Goupilles	36
Courroies	40	Guidage	38
Coût de défaillance	142		
Coût de maintenance	141	<b>I</b>	
Coût de passation de commande	180	Indisponibilité	142
Coût de possession	180	Innovation	13
Coût d'indisponibilité	142	Inspection	123
Coût global	144	Interface d'entrée	82
Cycle de vie d'un produit	14	Interface de sortie	85
		Ishikawa ( <i>Diagramme</i> )	24
<b>D</b>			
Décodeur d'instructions	7		
Défaillance	150		

<b>J</b>		<b>R</b>	
Juste à temps ( <i>Méthode</i> )	19	RAM ( <i>Mémoire</i> )	80
<b>K</b>		Ratio	143
Kanban	19	Réceptivité	98
<b>L</b>		Reconstruction	10
LCC	144	Rectiligne ( <i>Liaison</i> )	29
Liaison mécanique	28	Registre d'instructions	79
Localisation	131	Rénovation	10
Logique ( <i>Fonction</i> )	91	Réparation	130
Lubrification	127	Représentation éclatée	53
<b>M</b>		Rotule ( <i>Liaison</i> )	30
Macro-étape	103	Rotule à doigt ( <i>Liaison</i> )	31
Magasin	186	Roulement	39
Maintenabilité	164	<b>S</b>	
Maintenance	8	Schéma cinématique	33
Maintenance conditionnelle	126	Schéma électronique	57
Maintenance corrective	130	Schéma électrotechnique	57
Maintenance préventive	122	Schéma fonctionnel	58
Maintenance systématique	125	Schéma hydraulique	70
Matrice de classement	26	Schéma pneumatique	70
Mémoire ( <i>Fonction</i> )	95	Schéma structurel	59
Mode de défaillance	151	Section	62
Moteur pas à pas	119	Sécurité	132
Moteurs électriques	120	Séquenceur pneumatique	72
MTBF	157	Service maintenance	11
MTTR	165	Soudage	35
<b>N</b>		Stocks ( <i>Gestion des</i> )	179
Niveau de maintenance	10	Supervision	90
Non-qualité	22	Système de production	16
<b>O</b>		Système expert	165
Opérateur logique	170	<b>T</b>	
Ordonnancement	91	Tâche	103
<b>P</b>		Taux de défaillance	163
Palier	39	Thermographie	129
Pareto ( <i>Loi de</i> )	138	TMRS	165
Partie commande	75	Totale Productive Maintenance (TPM)	129
Partie opérative	75	Traits ( <i>Nature des</i> )	52
Perspective	53	Transition	98
PERT ( <i>Réseau</i> )	173	TRS	129
Pivot ( <i>Liaison</i> )	31	<b>U</b>	
Pivot glissant ( <i>Liaison</i> )	30	Unité arithmétique et logique	79
Plannification	171	Unité centrale	81
Planning	125	Usure	153
Ponctuelle ( <i>Liaison</i> )	29	<b>V</b>	
Préactionneur	86	Vérin	118
Processeur	78	Vibratoire ( <i>Surveillance</i> )	126
Processus de production	16	Vis-écrou ( <i>Système</i> )	42
Productivité	13	Visite	123
<b>Q</b>		Vissage	36
QOQOC ( <i>Méthode du</i> )	26	Vitesse de traitement	81
Qualité	20	Vue éclatée	53
Qualité totale	23	<b>Z</b>	
		Zéros ( <i>Les cinq</i> )	20

### CRÉDITS PHOTOS

**Couverture** : RENAULT AUTOMATION ; p. 7, 40, 42, 43 : RNUR ; p. 8, 116 : SANDRETTO ; p. 16 : RTC-COMPELEC ; p. 22, 25, 63, 66, 82, 89, 112, 113, 150, 192 : TÉLÉMÉCANIQUE ; p. 24 : BERGER S.A. ; p. 30 : WEEK-CHARLY-ROBOT ; p. 109 : SEDEME ; p. 110 : SOMFY ; p. 115 : FESTO ; p. 121, 122, 129 : GEC-ALSTHOM ; p. 121 : FRANCE-TRANSFO ; p. 141 : WST DEVCO ; p. 147, 149 : BRÜEL ET KJAER.

*Les auteurs remercient les Entreprises qui ont permis d'illustrer cet ouvrage.*



*Pour la surveillance et le contrôle du bon fonctionnement des installations automatisées la maintenance doit disposer d'outils modernes et performants.*