

Génie Electrique

Réseaux
Production, Transport & Distribution
de l'énergie électrique

Document Préparer à l'intension des étudiants de BTS Maintenance Industrielle

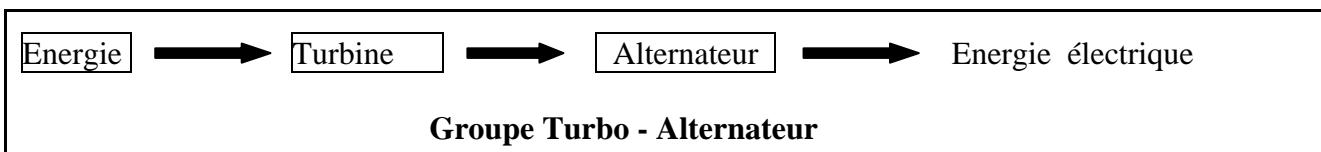
Production Transport & Distribution De l'Energie Electrique

I. Généralités

Notre civilisation est fondée sur l'utilisation de l'énergie. Sans elle, on ne peut plus vivre dans son foyer, travailler, se déplacer, s'informer. L'énergie électrique, présente à chaque instant, est produite à partir des sources d'énergies primaires rencontrées dans la nature. Cette énergie électrique doit être produite à l'instant même où elle est consommée. La production de l'électricité est réalisée au Maroc sous le contrôle de l'ONE (Office National d'Electricité).

II. Production de l'énergie électrique

Toute l'énergie électrique que nous utilisons provient de la conversion d'énergie mécanique par des machines tournantes. Cette conversion est effectuée dans les centrales de production par des groupes de deux machines selon le schéma suivant :

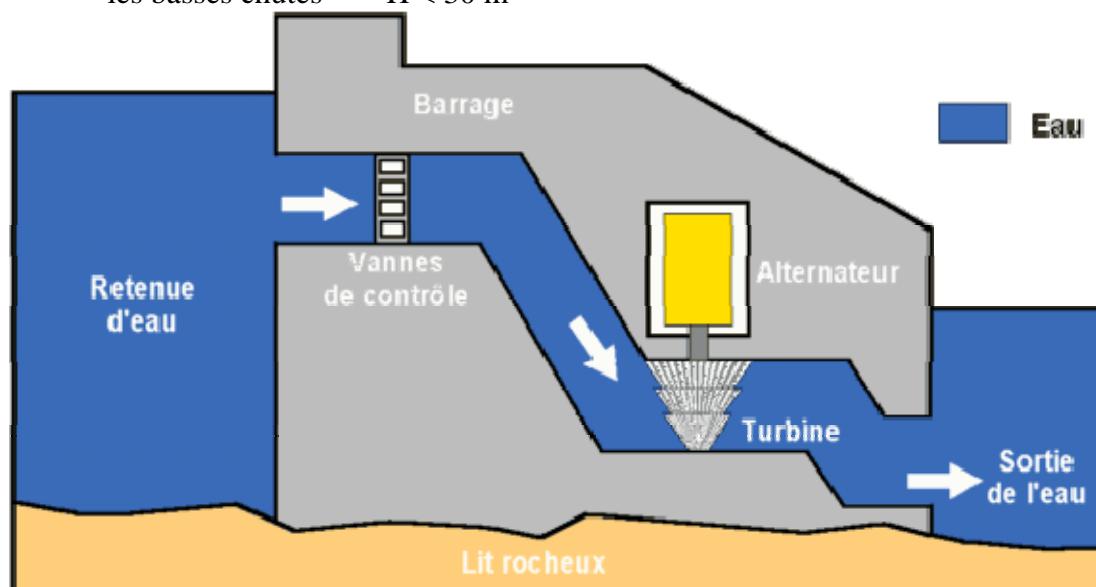


Une turbine reçoit de l'énergie mécanique, elle tourne et entraîne, à la même vitesse qu'elle, un alternateur qui fournit de l'énergie électrique. Seule l'origine de l'énergie utilisée différencie les centrales.

1. Centrales hydrauliques

L'énergie cinétique de l'eau en mouvement est fournie à une turbine hydraulique qui fait tourner un alternateur. On classe les centrales hydrauliques en trois catégories :

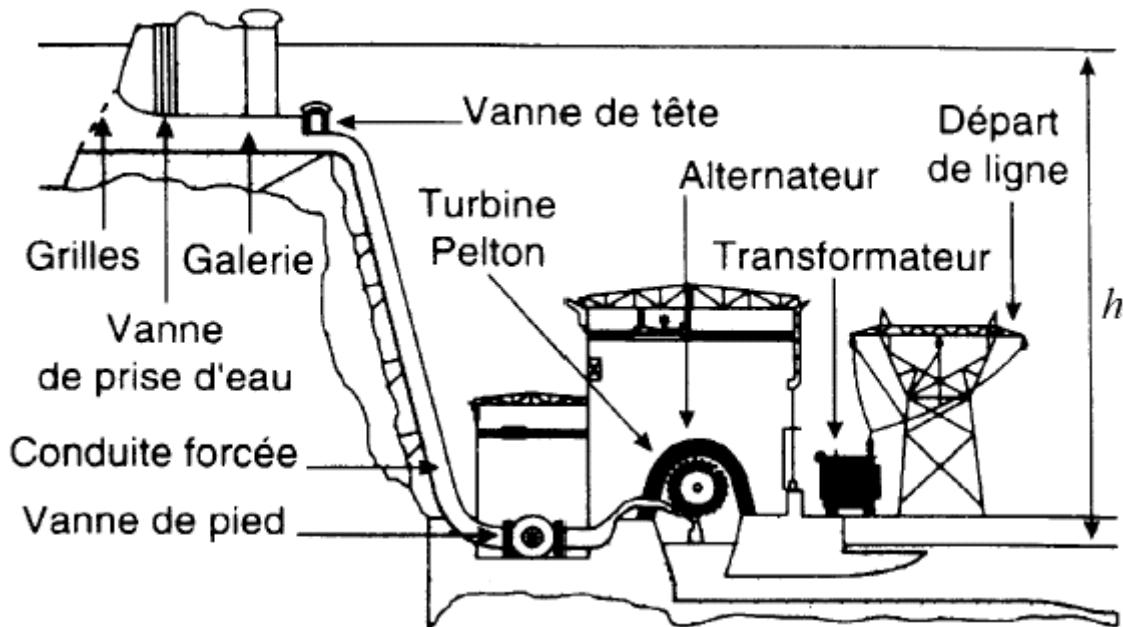
- les hautes chutes $H > 200 \text{ m}$
- les moyennes chutes $30 \text{ m} < H < 200 \text{ m}$
- les basses chutes $H < 30 \text{ m}$



1-1 Centrales de hautes chutes

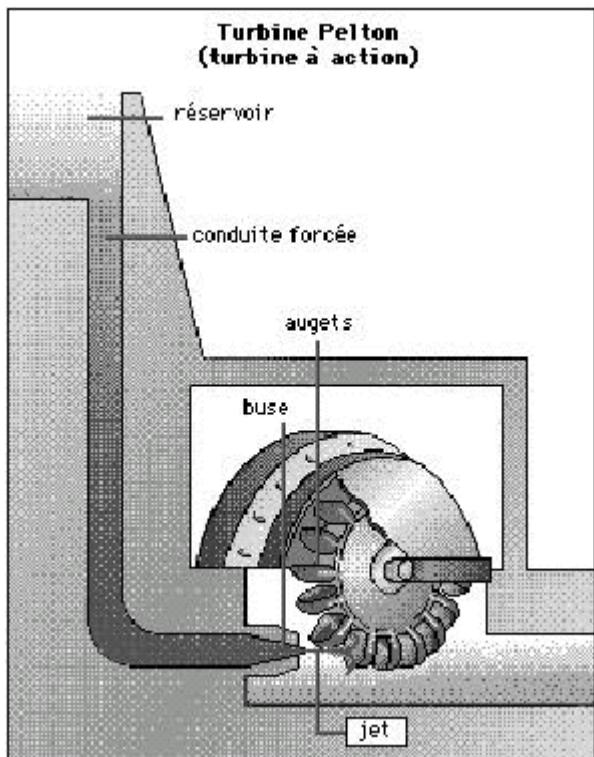
Elles sont caractérisées par une hauteur de chute ($h > 200\text{m}$). L'usine est toujours située à une distance importante de la prise d'eau (parfois plusieurs kilomètres).

a. Disposition



b. Turbine Pelton

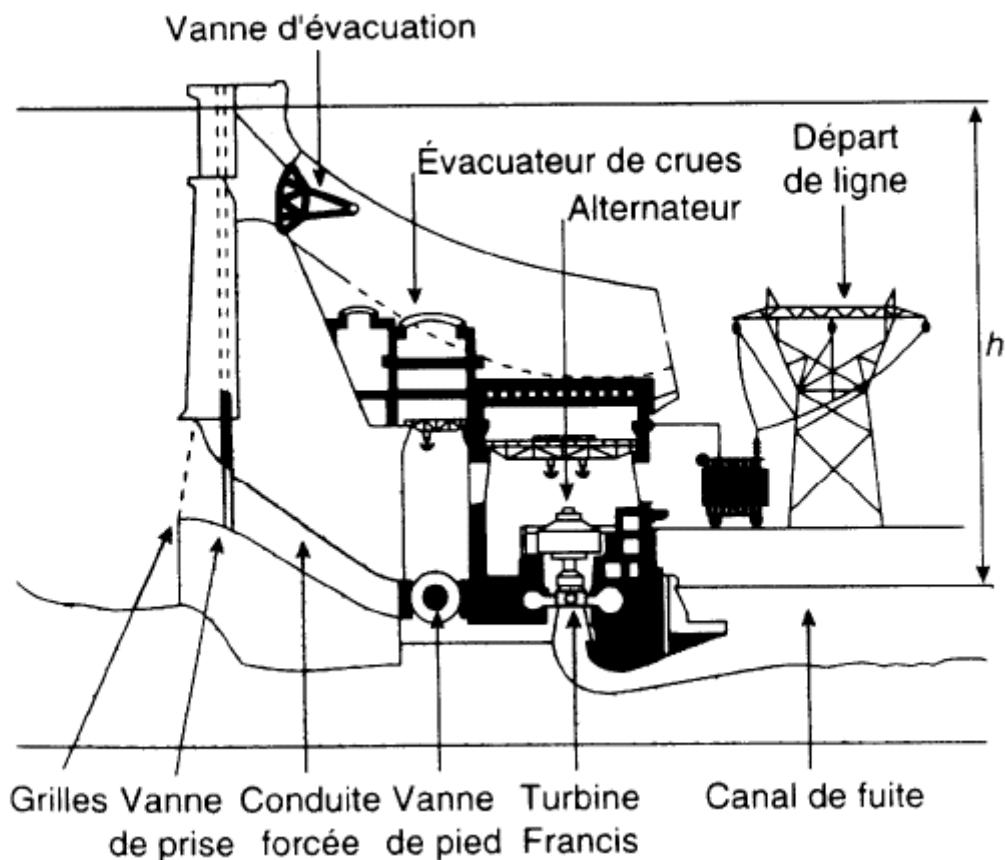
Ce type de turbine convient très bien aux très hautes chutes (entre 200 et 2000) la turbine Pelton est en général alimentée par des conduites forcées.



1-2 Centrales de moyenne chute.

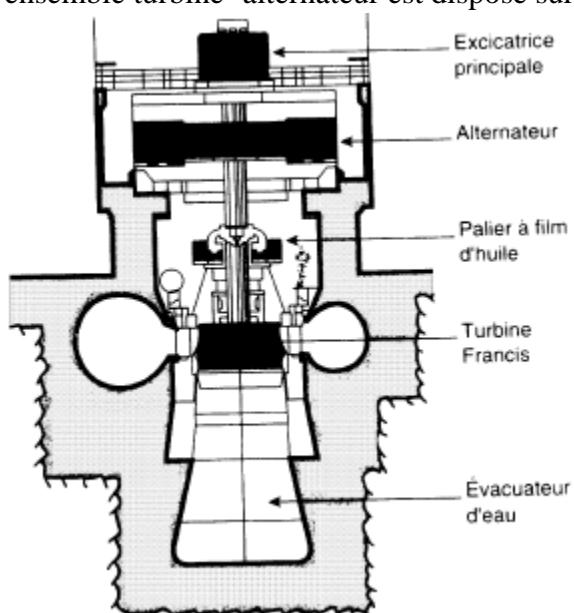
Elles sont caractérisées par une hauteur de chute comprise entre 30 et 200 m. Le bâtiment de l'usine est, soit distinct du barrage, soit dans le barrage.

a. Disposition.



b. Turbine francis.

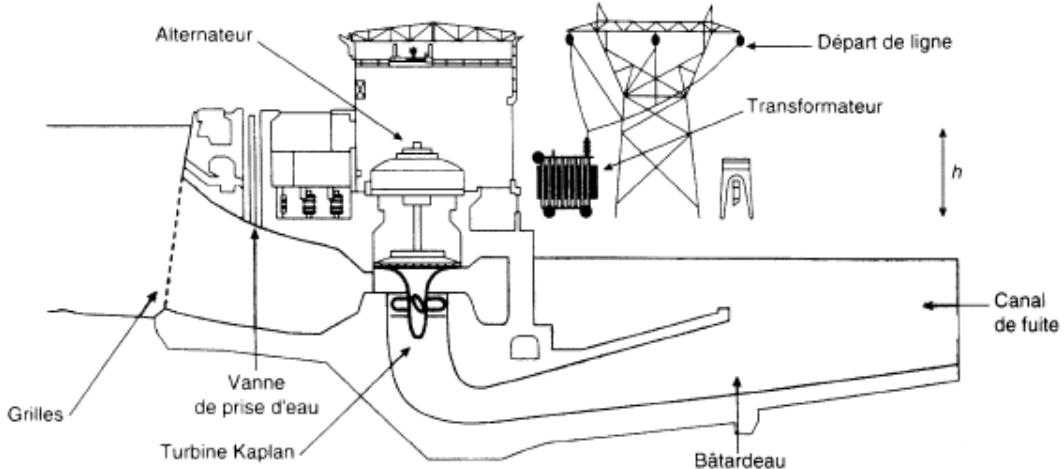
C'est une turbine à réaction c.a.d que le dispositif d'injection d'eau sur le rotor de la turbine et la forme de ce rotor sont réalisés de façon que, l'eau pénétrant dans la turbine à vitesse réduit, on utilise, à la fois, l'énergie cinétique due à la vitesse et l'énergie potentielle due à la pression de l'eau. Cette turbine est très répandue dans les chutes comprises entre 20 et 350 m. L'ensemble turbine- alternateur est disposé sur un axe vertical.



1-3 Centrales de basse chute.

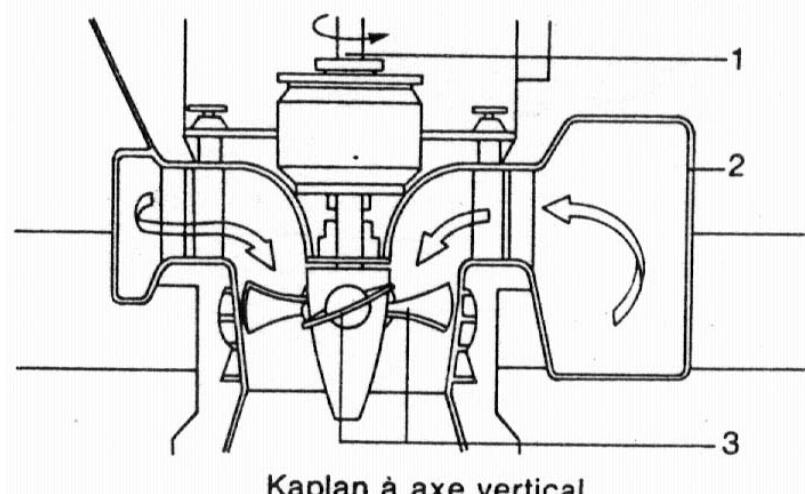
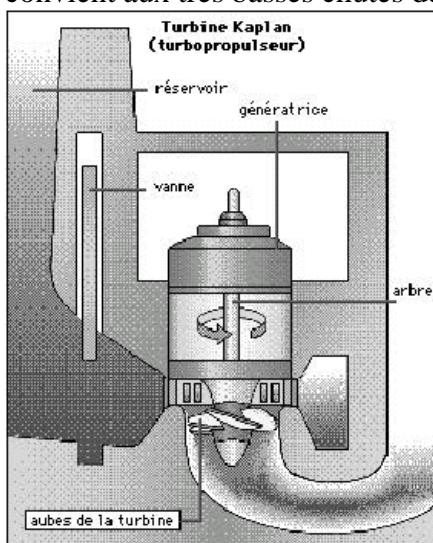
On les appelle aussi centrales au fit de l'eau. Elles peuvent être construites sur un canal de dérivation ou dans le lit d'un cours d'eau. Elles sont caractérisées par un débit très important mais avec une faible hauteur de chute.

a. Disposition.



b. Turbine kaplan.

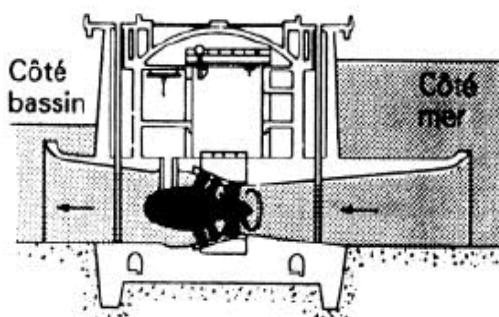
C'est une roue en forme d'hélice, avec des pales orientables, pour améliorer le rendement. Elle convient aux très basses chutes de 5 à 30m.



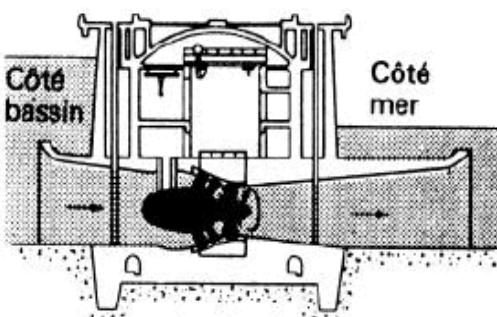
1-4 Usine marémotrice.

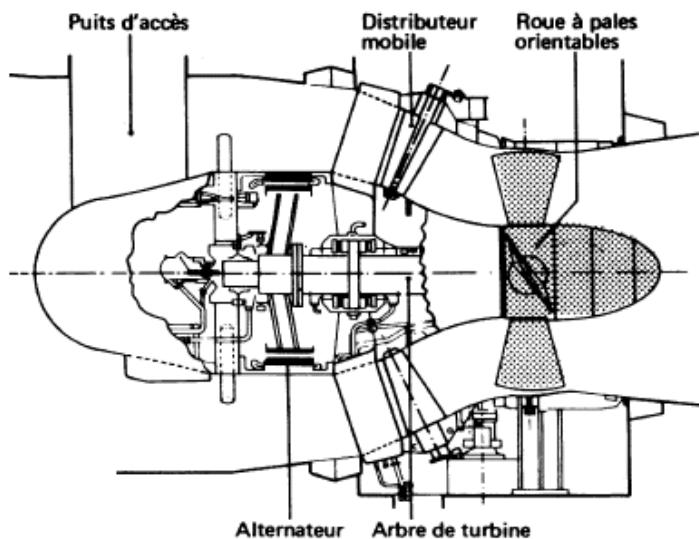
Elle utilise l'énergie des marées. Un barrage situé à l'entrée estuaire de rivière laisse passer l'eau à marée montante ; puis est fermé pendant la marée descendante et retient l'eau en amont. Enfin de marée basse on dispose d'une hauteur d'eau qui peut aller jusqu'à 13m aux fortes marées.

MARÉE MONTANTE



MARÉE DESCENDANTE

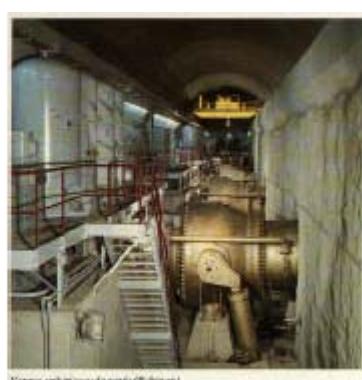
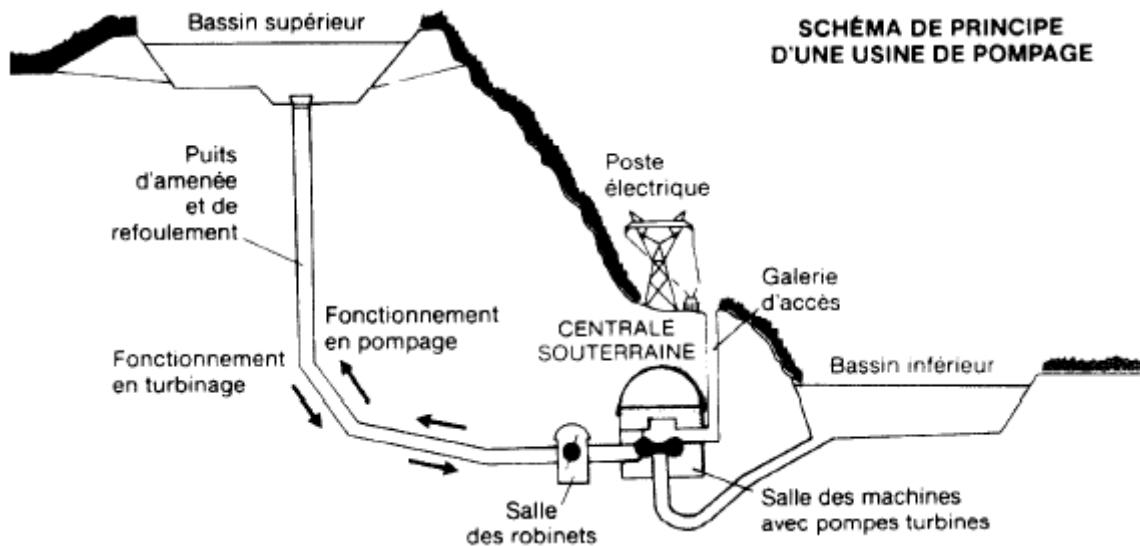




L'utilisation d'un groupe bulbe permet de turbines dans les deux eus d'écoulement de l'eau. Le groupe bulbe comporte dans une même coque, immergée dans un conduit hydraulique, d'alternateur et la turbine.

1-5 Les centrales de pompage.

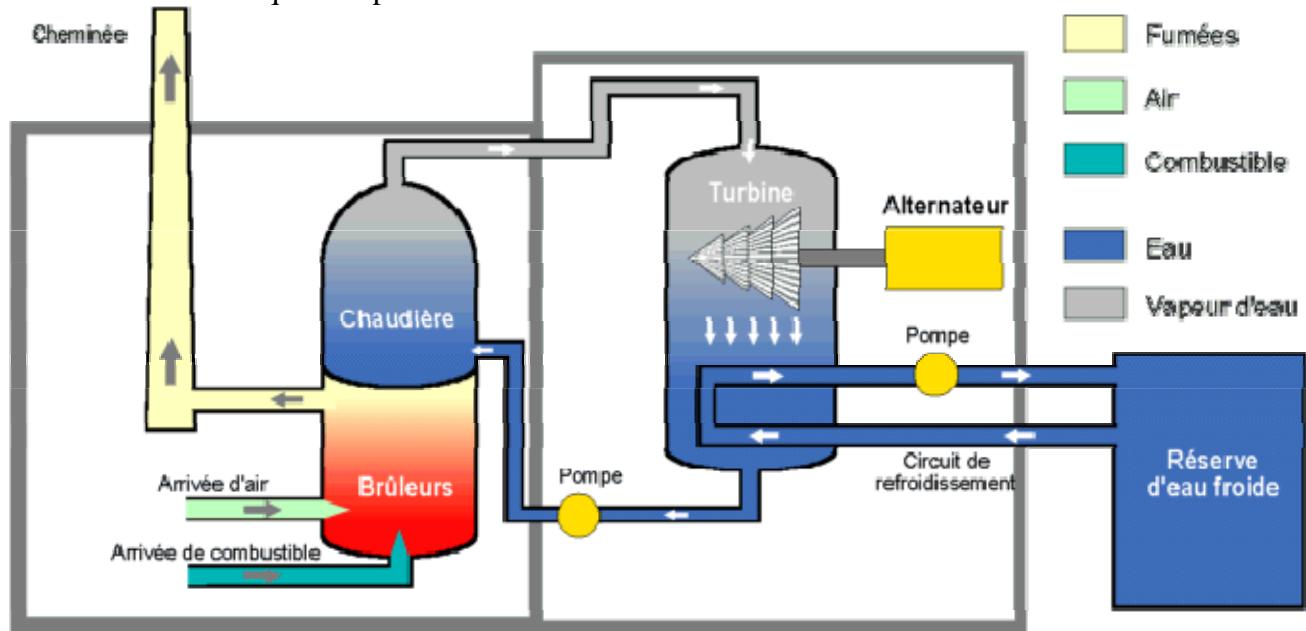
Etant donné que l'hydraulique joue un rôle essentiel aux heures de pointes et que l'énergie électrique ne pouvant être stockée, l'ONE s'est orientée vers l'installation de centrales comprenant un système de pompage permettant un recyclage perpétuel de l'eau.



2. Les centrales thermiques

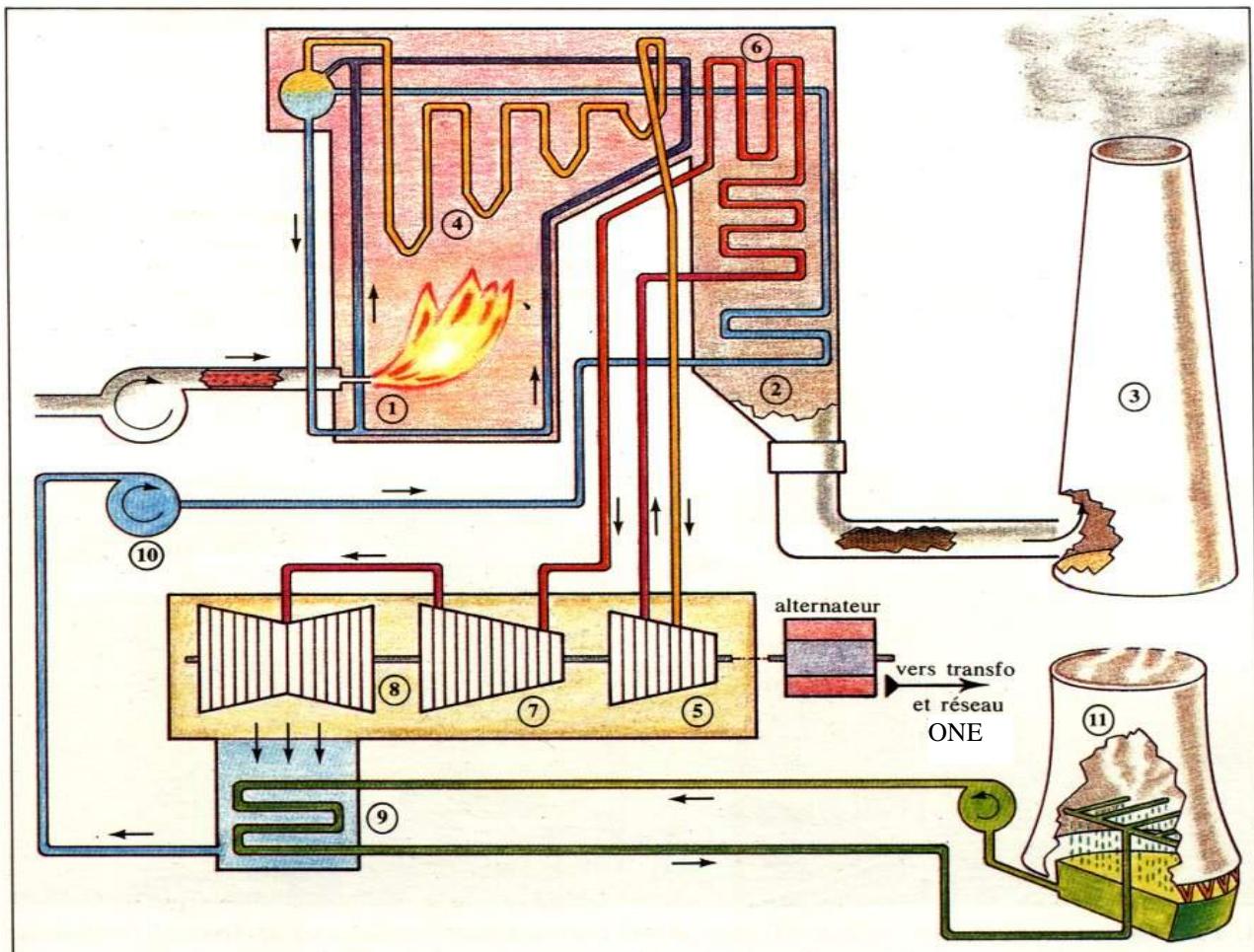
La centrale thermique produit l'énergie électrique à partir de l'énergie calorifique obtenue en brûlant un combustible. Tel que le charbon, gaz ou fuel.

Une centrale thermique comprend :



2-1 Générateur de vapeur

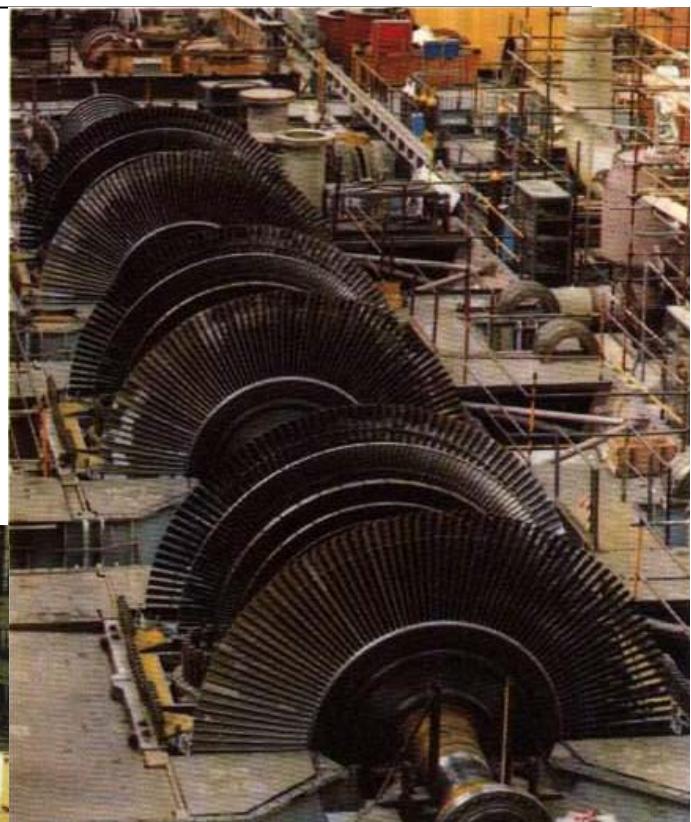
L'eau circule dans les tubes tapissant les parois de la chambre de combustion et se transforme en vapeur sous l'action de la chaleur dégagée par le combustible.



2-2 Turbine.

Elle comprend sur une même ligne d'arbre :

- **Corps haute pression (H.P.)** : Pression d'admission : 163 bars, température : 565°C.
- **Corps moyenne pression (M.P.)** : Pression d'admission : 36 bars, température : 565°C
- **Corps basse pression (B.P.)**



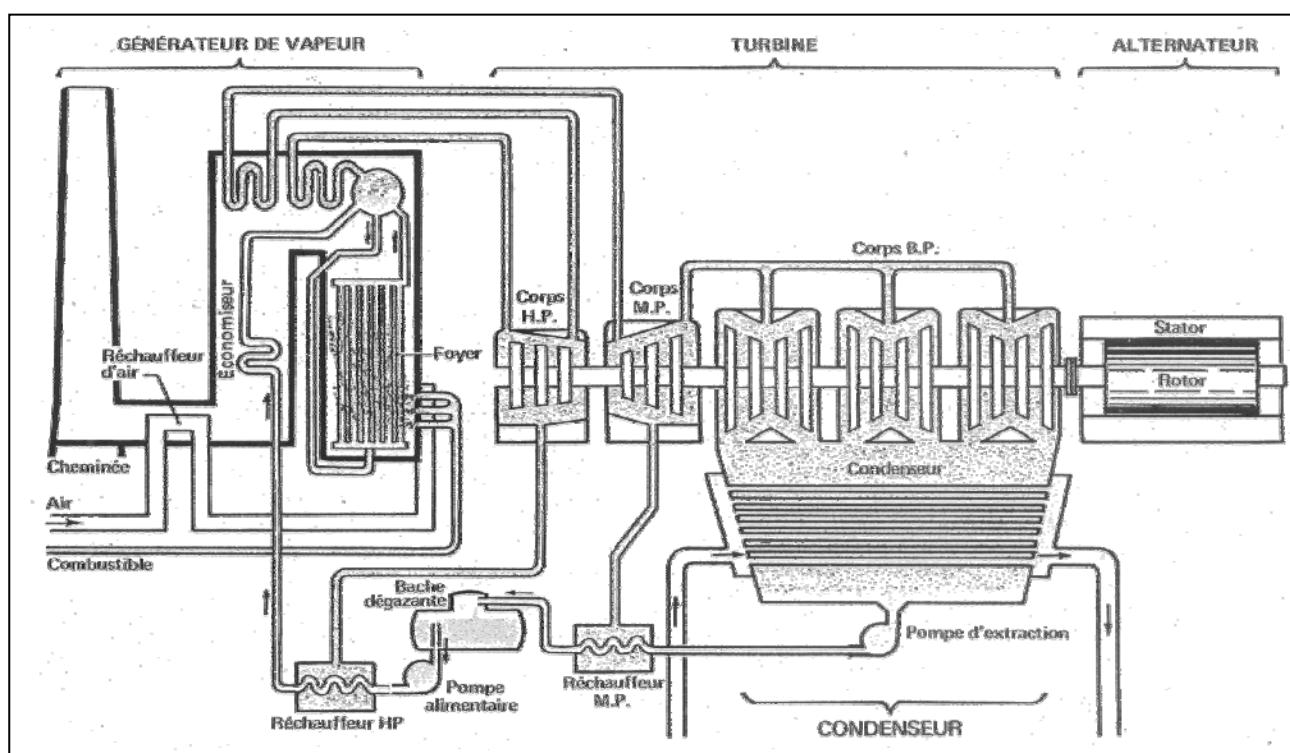
2-3 Le condenseur :

Dans lequel la vapeur redevient de l'eau liquide.



2-4 l'Alternateur

En bout d'arbre de la turbine, est responsable de la production de l'énergie électrique.

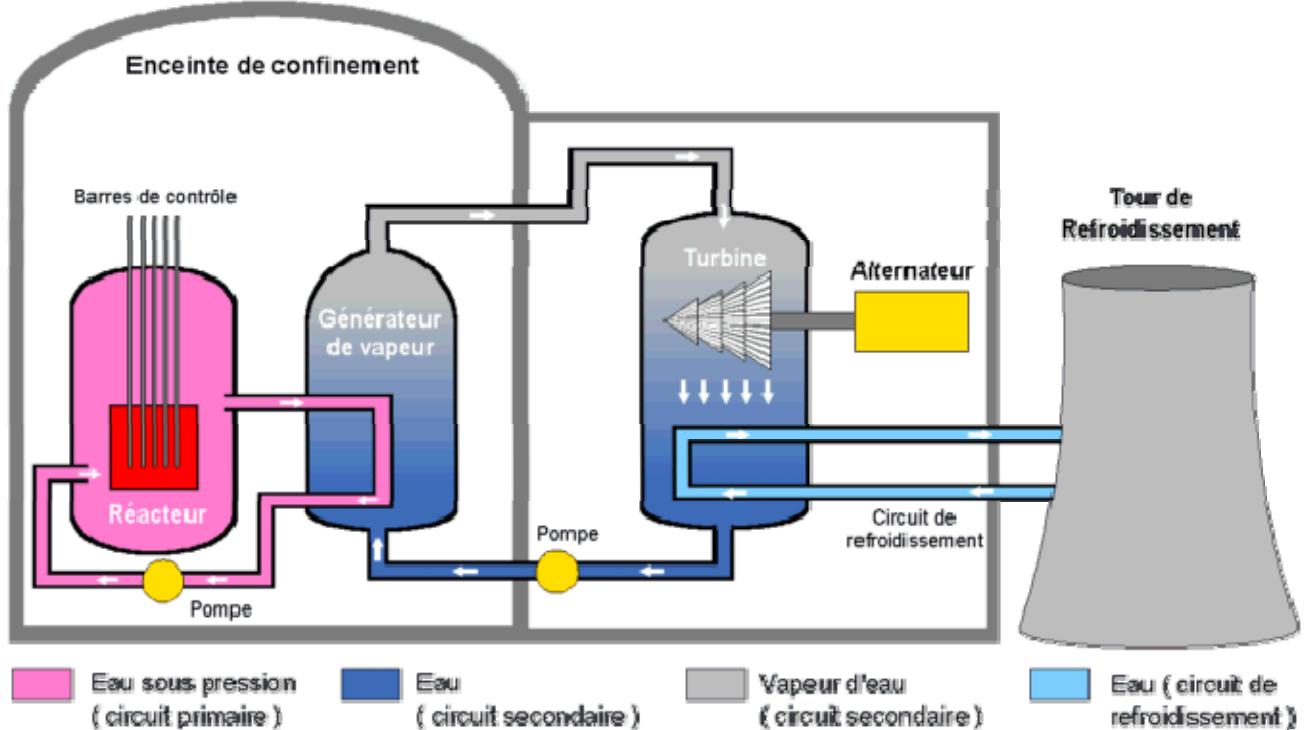


3. Les centrales Nucléaires

Les progrès scientifiques réalisés au niveau de la structure de la matière, la demande importante énergie, primaire ont contribué au développement de l'énergie nucléaire.

3-1 schéma d'une centrale nucléaire

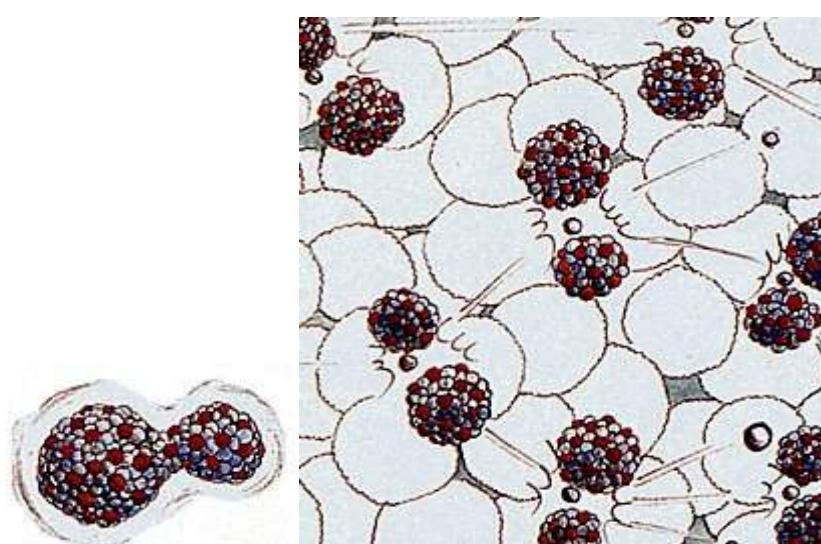
A l'image d'une centrale thermique, une centrale nucléaire est une usine qui doit produire de la vapeur, seul change le moyen de production de la chaleur nécessaire à la vaporisation de l'eau.



3-2 production de la chaleur

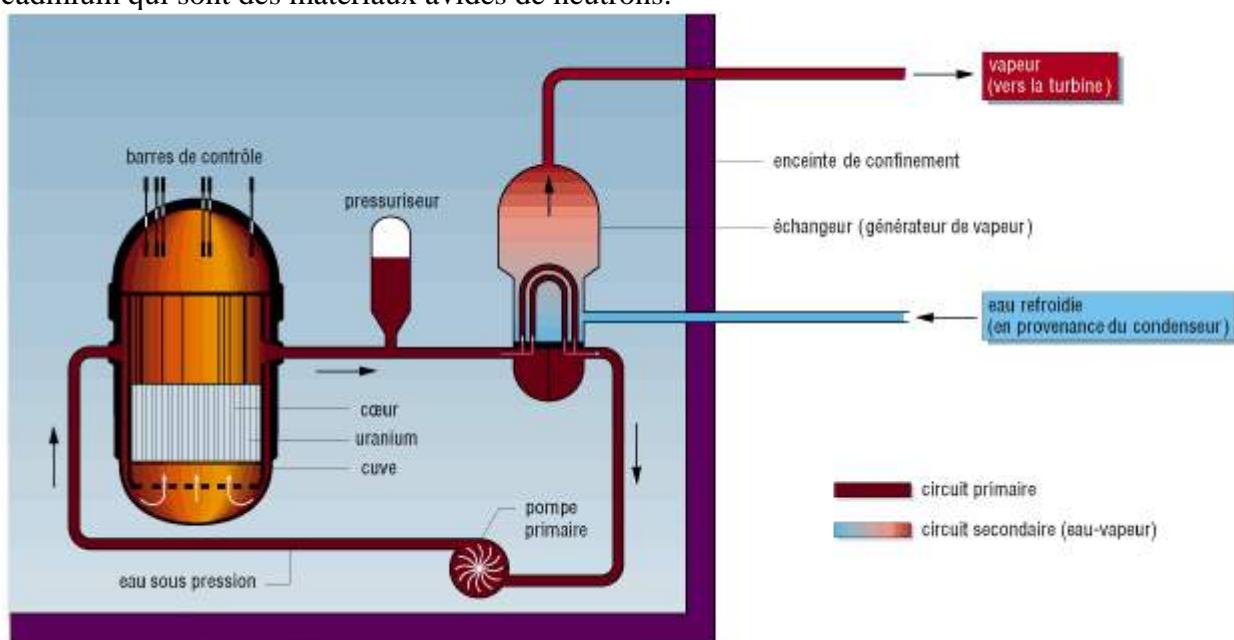
Sous le choc d'un neutron, le moyen d'un atome (qui comporte un nombre élève de neutron et proton) se scinde en deux noyaux plus petits.

Il perd en même temps une partie de sa masse qui se transforme en énergie calorifique. Au cours de la fission du moyen, quelques neutrons sont libérés, ils provoquent à leur tour la fission d'autre moyen, c'est ainsi qui s'établit **la réaction en chaîne**.



3-3 contrôle de la réaction

Chaque fission s'accompagne d'un dégagement important de la chaleur.
Le contrôle de la réaction de fission s'effectue à l'aide de barres de contrôle, en bore ou en cadmium qui sont des matériaux avides de neutrons.



3-4 Différents types de centrales nucléaires

Quelque soit le modèle de centrale, on trouve toujours :

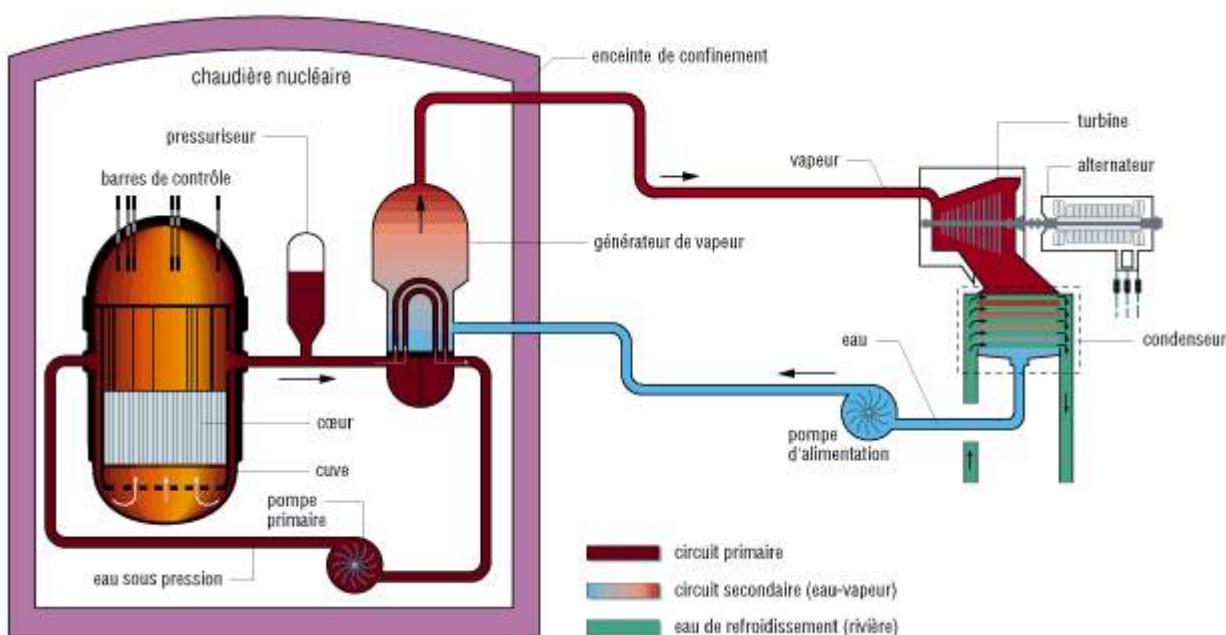
- Un combustible à base d'uranium
 - Un modérateur
 - Un fluide caloporteur.
- } cet ensemble constitue une filière.

Les principales filières sont utilisées sont données dans le tableau suivant :

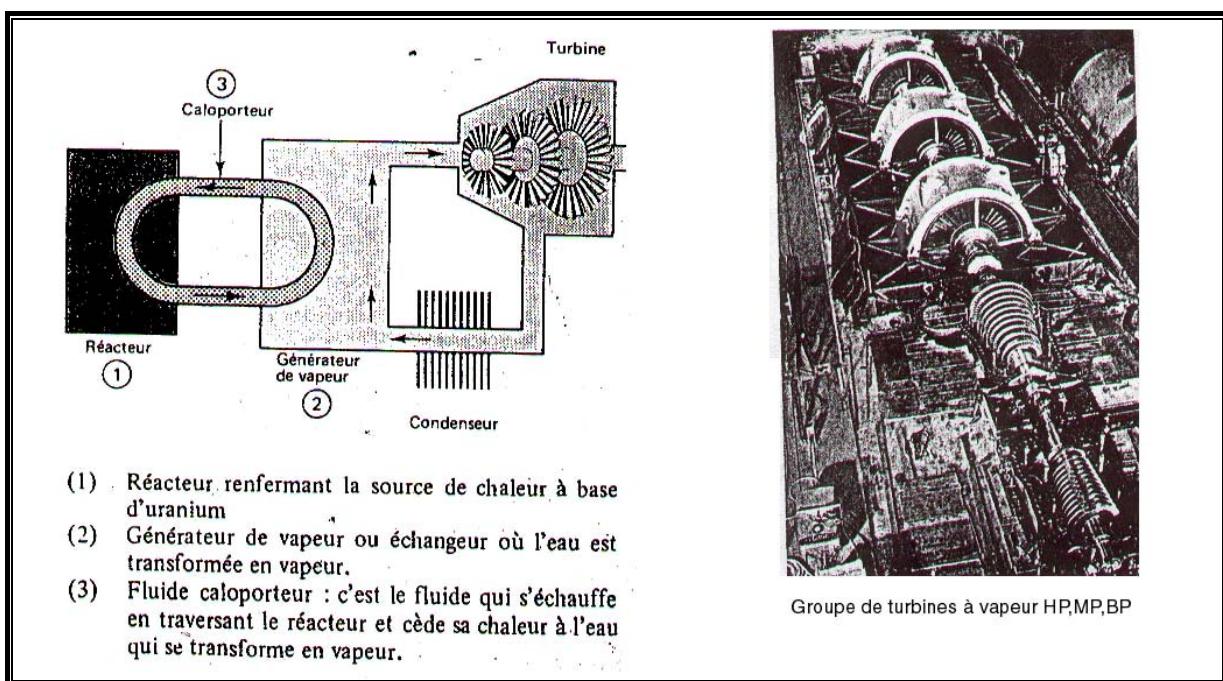
Filières	combustible	Modérateur*	Fluide caloporteur
Graphite - gaz	Uranium naturel 0.7%	GRAPHITE	GAZ CARBONIQUE
Eau lourde	Uranium naturel 97%	Eau lourde	Eau lourde
Eau ordinaire (PWR) (pressurized water reactor) (réacteur à eau sous pression)	Uranium enrichi 2-3%	Eau ordinaire	Eau ordinaire
Neutrons rapides Sur générateur	Plutonium 15-20% +uranium		sodium

(*)Elément qui permet de freiner la vitesse des neutrons

3-5 composition d'une centrale nucléaire



- **Le cœur** : qui comprend le combustible, le modérateur et le fluide caloporteur.
- **Un dispositif de réglage et de sécurité** : servant à maintenir la réaction en chaîne à un niveau déterminé, et à l'arrêter en cas d'incidents.
- **Une enveloppe étanche** : cuve métallique ou caisson en béton précontraint conçu pour résister à la pression interne du fluide caloporteur.
- **Une enceinte de confinement** : qui dans le réacteur à eau constitue le bâtiment extérieur de la chaudière
- **Un circuit de transmission de la chaleur** qui assure la transmission des calories du fluide caloporteur au circuit eau vapeur.
- **Un système de réfrigérateur** : pour refroidissement des condensateurs



4. Les énergies nouvelles

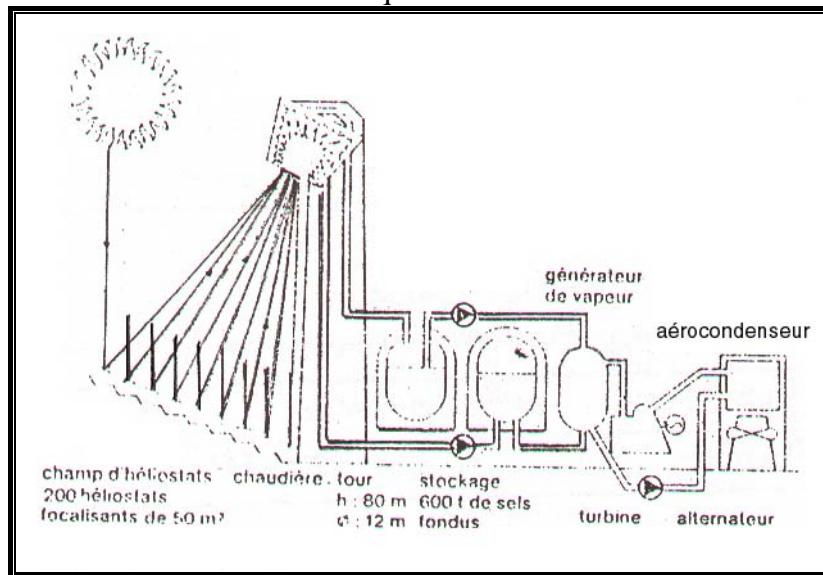
Le pétrole et l'uranium ne sont pas des sources d'énergie inépuisables. De plus leur utilisation pollue notre atmosphère et la solution nucléaire peut faire courir des risques graves à notre société. D'importantes recherches sur les possibilités offertes par le vent, la mer, la géothermie, le soleil et la biomasse font apparaître un potentiel énergétique riche et inépuisable.

A Marrakech, il existe un centre de développement des énergies renouvelables (CDER).

4-1 Energie solaire

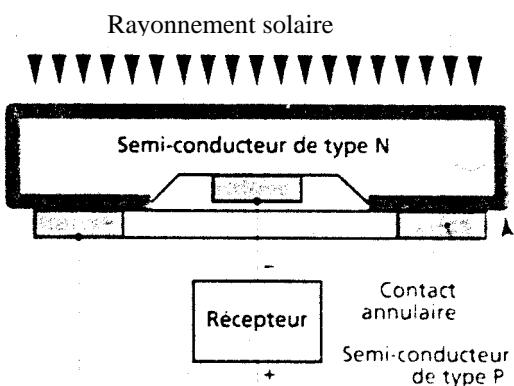
a. Les centrales thermodynamiques

On concentre le rayonnement solaire par des miroirs et on peut obtenir des températures de 300°C. Ces centrales ressemblent aux centrales thermiques.

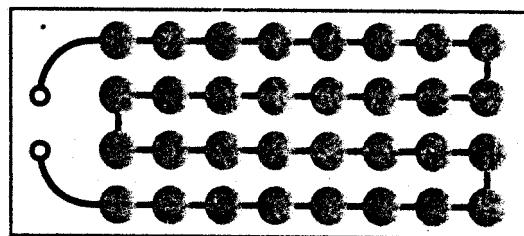


b. Les centrales photovoltaïques ou photopiles

Quand la lumière frappe un corps semi-conducteur comme le silicium, elle provoque un déplacement d'électron et donne naissance à un courant électrique. Les puissances fournies et le rendement de ces centrales sont assez faibles et leurs coûts sont élevés. Elles sont surtout utilisées en aérospatiale, en mer et dans certains pays où l'énergie solaire est grande et l'énergie hydraulique pratiquement inexiste.



Cellule photovoltaïque constituée d'une plaque semi-conductrice de type N recouverte d'une mince couche semi-conductrice de type P

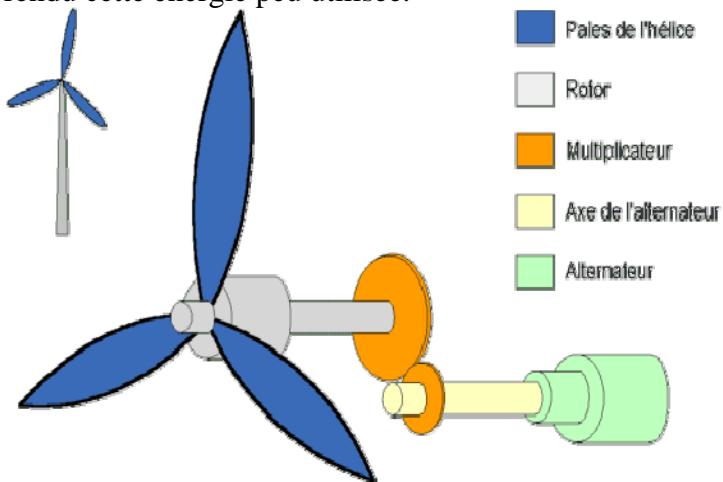


Structure d'une photopile (association de cellules photovoltaïques).

4-2 Energie éolienne

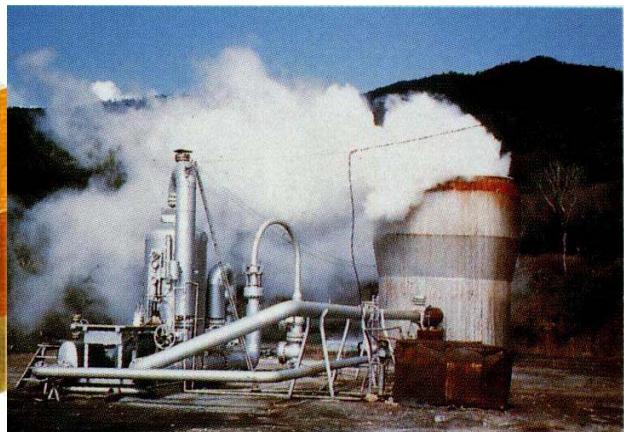
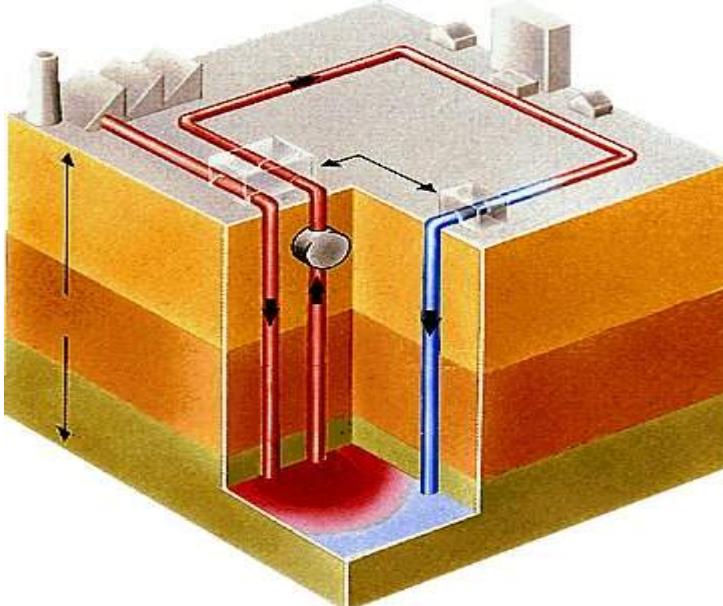
L'éolienne est une sorte de grand moulin. L'énergie cinétique du vent produit la rotation des hélices accouplées à des alternateurs que l'on appelle des aérogénérateurs. Les ressources du vent sont considérables mais trop irrégulières entre la nuit et le jour, l'hiver et l'été.

Le manque de fiabilité, le bruit et l'esthétique ont rendu cette énergie peu utilisée.



4-3 Energie géothermique

Le noyau central de notre planète est le siège de hautes températures, plus on fonce dans le sol, plus celle-ci augmente. Cette chaleur peut être utilisée directement pour produire de l'électricité.



Centrale de Bouillante en Gouadéloup

4-4 Biomasse

C'est la matière première végétale ou la déjection animale utilisable à des fins énergétiques. Les biomasses peuvent être grossièrement réparties en catégories selon leur nature :

- Les biomasses lignocellulosiques relativement sèches (le bois, la paille).
- Les biomasses facilement fermentescibles en alcool (la canne à sucre, le maïs).
- Les biomasses indifférenciées, à forte teneur en eau, sources potentielles de Méthane (les déjections, les algues)
- Les biomasses riches en huiles végétales ou en hydrocarbure (le palmier à huile).

5. Quelles Chiffres sur la Production de l'énergie électrique au Maroc

Les Chiffres donner à la suite sont extrait du site Internet de l'ONE et ne sont exposer qu'à titre informatif

Parc de production

Le parc de production de l'ONE à fin Décembre 2003 se compose de :

	Puissance installée en MW
26 usines hydrauliques	1 265
5 centrales thermiques vapeur	2 505
charbon	1785
fioul	720
6 centrales turbines à gaz	615
Thermique diesel	69
Total Thermique	3 189
Eolien (dont 50 MW de la CED*)	53,9
Total ONE	4 507,9

Mise en service des usines hydrauliques d'Al Hansali (92 MW) et Aït Messaoud (6 MW).

Production thermique (Année 2003) :

Combustible	Production nette en (GWH)	Part (%) *
Charbon	11 750,7	85,8
Jorf Lasfar	9 375,1	68,5
Mohammedia	1 495,5	10,9
Jérada	880,1	6,4
Fioul	1 928,8	14,1
Mohammedia	1 064,6	7,8
Kénitra	753,1	5,5
Turbines à gaz	74,7	0,5
Laâyoune + Dakhla	36,4	0,3
Gasoil	16,1	0,1
Total thermique	13 695,6	100

(*) par rapport à la production thermique totale

Production hydraulique (Année 2003)

Satisfaction de l'énergie appelée en 2003 :

L'énergie totale appelée en 2003 a été de **16 779 GWH** et se répartit comme suit :

	(GWH)	Part (%)
Thermique ONE	4 320,5	25,7
Hydraulique	1 441,1	8,6
Eolien	14,8	0,1
Concession	9 563,2	57,0
JLEC CED(Eolien)	9 375,2 188,0	55,9 1,1
Apports des tiers	44,9	0,3
Solde des échanges	1 437,9	8,6
Maroc-Espagne	1 454,8	8,7
Maroc-Algérie	- 16,9	- 0,1
Consommations auxiliaires et compensatrices	- 43,4	- 0,3
Totale énergie appelée	16 779	100

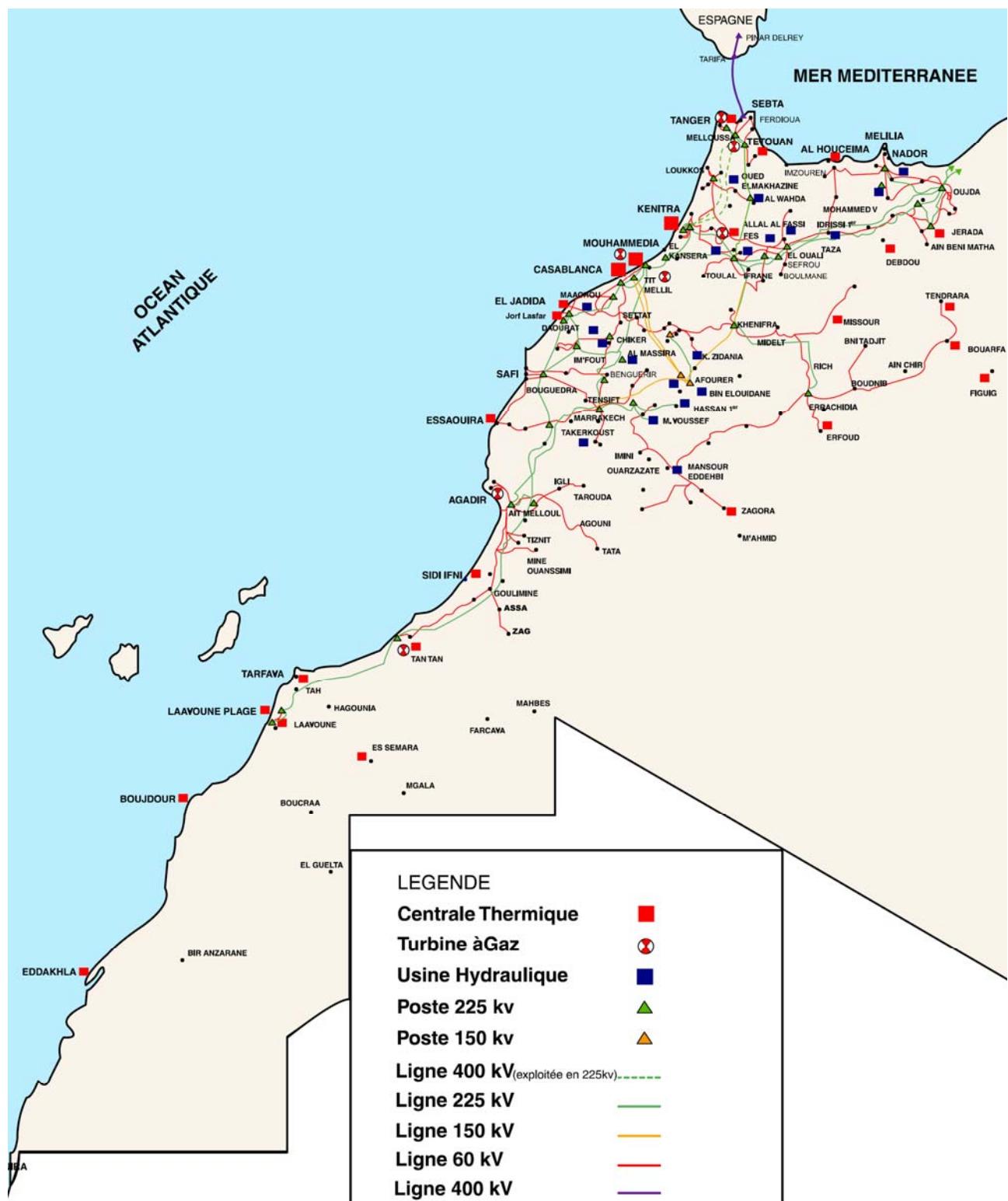
(*) CED : Compagnie Eolienne de Détroit

	Puissance installée * en (MW)	Production nette	
		GWH	Part (%)**
BINE EL OUIDANE	135	94	6,5
AFOURER	93,6	255	17,7
HASSAN 1er	67	41	2,8
MOULAY YOUSSEF	24	16	1,1
AL MASSIRA	128	76	5,3
LALLA TAKERKOUST	12	7	0,5
M. EDDAHBI	10	8	0,6
EL KANSERA	14,4	25	1,7
OUED EL MAKHAZINE	36	79	5,5
IDRISS 1er	40,6	65	4,5
ALLAL EL FASSI	240	151	10,5
AL WAHDA	240	483	33,5
MOHAMMED EL KHAMIS	23,2	41	2,8
AHMED EL HANSALI	98	38	2,6
Divers	103,5	62	4,3
Total hydraulique	1 167,3	842,0	100

(*) A la côte maximale des retenues

(**) Par rapport à la production hydraulique totale

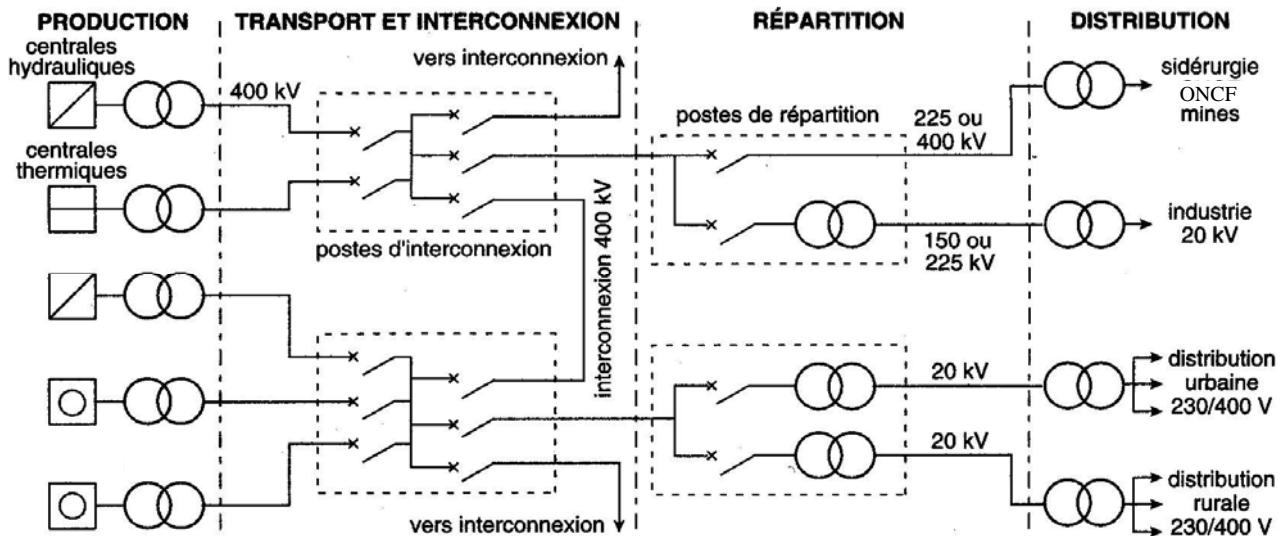
6. Réseau de Production & de transport de l'énergie électrique au Maroc



III. Transport de l'énergie électrique

1. Introduction

Les centrales qui produisent l'énergie électrique sont implantées selon des conditions géographiques (centrales hydrauliques) ou selon des conditions d'approvisionnement en combustible (centrales thermiques). Quant aux consommateurs d'énergie électrique, ils sont répartis sur l'ensemble du territoire. D'où la nécessité du transport d'énergie.

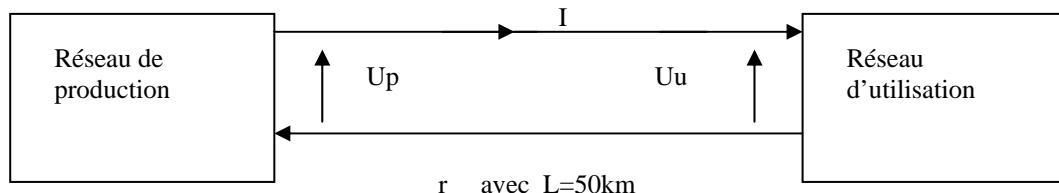


La consommation totale de l'énergie électrique varie en fonction :

- des heures de la journée
- du jour de la semaine
- du type de clientèle : abonnés en HTA, en HTB, en BTA.

2. Nécessité de la haute tension

L'énergie électrique présente le grand avantage de se transporter toute seule et sans bruit. Par contre une partie de l'énergie transportée se dissipe en chaleur, par effet joule, dans la résistance de la ligne.



On a la puissance consommée par le réseau d'utilisation $P = U * I$

$$\text{Donc : } I = P/U$$

Or les pertes joules dans les lignes de transport

$$p_j = R * I^2 \quad \text{d'où}$$

$$p_j = R * P^2/U^2$$

$$\begin{aligned} R &: \text{résistance totale de ligne} \\ (R &= r + r = 2r) \end{aligned}$$

On voit que, pour une puissance transportée donnée, les pertes sont inversement proportionnelles au carré de la tension, ce qui explique les tensions de plus en plus élevées utilisées pour le transport de l'énergie électrique.

La densité du courant normalisé pour les lignes de transport est :

$$\delta = 5 \text{ A.mm}^{-2} \quad \text{or} \quad \delta = I / S \Leftrightarrow S = I / \delta$$

$$\Leftrightarrow S = P / \delta U$$

Donc on constate aussi que la section du câble dépend en utilisant les hautes tensions (donc le volume aussi diminué).

→ *En basse tension, il est impossible de transporter l'énergie électrique à grande distance.*

Exemple :

Soit a transporté une puissance $P = 2 \text{ MW}$ à une distance de 50 KM (100 KM de fil). Fixons-nous une tension ou lieu de distribution

- **Premier choix : Tension d'arrivée $U = 200 \text{ kv.}$**

- Le courant $I = P/U = 2000000/200000 = 10 \text{ A.}$
- La section de fil $(s = 5 \text{ A.mm}^{-2})$. $S = I/\delta = 2 \text{ mm}^2$
- La résistance du fil $(\rho = 2.10^{-8} \Omega \cdot \text{m})$ $R = 2 \cdot \rho \cdot L/s = 1000 \Omega$
- La chute de tension $\Delta U = R \cdot I = 10000 \text{ V}$
- Pertes joules $p_j = R \cdot I^2 = 100 \text{ KW.}$

Soit 5% de la puissance distribuée

- **Deuxième choix : Tension d'arrivée $U' = 200 \text{ v.}$**

- Le courant $I' = P/U' = 2000000/200 = 10000 \text{ A.}$
- La section de fil $(\delta = 5 \text{ A.mm}^{-2})$. $S' = I'/\delta = 10000/5 = 2000 \text{ mm}^2$
- La résistance du fil $R' = \rho \cdot L/s' = (2 \cdot 10^{-8} \cdot 2 \cdot 50 \cdot 10^3) / (2000 \cdot 10^{-6}) = 1 \Omega$
- La chute de tension $\Delta U' = R' \cdot I' = 10000 \text{ V}$
- Pertes joules $p_j = R' \cdot I'^2 = 100000 \text{ KW.}$

Les pertes joule seraient donc égales à 50 fois la consommation et la tension au départ 10 200 v.

3. Comparaison des réseaux de transport monophasé et triphasé

Sur le plan économique, il est souhaitable d'utiliser des tensions élevées et le moins de cuivre possible, il y a donc lieu de comparer les deux systèmes de transport et de déterminer la masse du cuivre nécessaire à chacun d'eux pour transporter une même puissance P avec les mêmes pertes p . On considère, afin de simplifier les calculs, que le $\cos \phi$, encore appelé facteur de puissance est égal à 1.

a. Volume de cuivre sur une ligne monophasée (2 fils)

Soit r la résistance d'un conducteur.

- | | |
|---|--|
| $p_j = 2rI^2$ | représente les pertes par effet joule dans les deux conducteurs |
| $p_j = (2\rho \cdot L/S) * (P^2 / U^2)$ | avec $P = U \cdot I$ (U, I tension et courant efficace) et $r = \rho \cdot L/S$ |
| $S = (2\rho \cdot L/U^2) * (P^2 / p_j)$ | représente la section d'un conducteur. |
| $V = 2 \cdot L \cdot S$ | représente le volume du cuivre utilisé pour le transport monophasé |

$$V = 4 \rho \cdot (L^2 \cdot P^2) / (p_j \cdot U^2)$$

b. Volume de cuivre sur une ligne triphasée (3 fils)

Soit r la résistance d'un conducteur.

$$\begin{aligned} p_j &= 3r*I^2 && \text{représente les pertes par effet joule dans les trois conducteurs} \\ p_j &= 3(\rho*L/S')*(P^2/3U^2) && \text{avec } P = \sqrt{3} * U*I \text{ (U, I tension composée et courant efficaces).} \\ S' &= \rho(L*P^2)/(U^2*p_j) && \text{représente la section d'un conducteur de ligne.} \\ V' &= 3*L*S' && \text{représente le volume de cuivre utilisé pour le transport triphasée.} \end{aligned}$$

$$V' = 3\rho(L^2*P^2)/(p_j*U^2)$$

Soit

$$V' = \frac{3}{4} V$$

c. Conclusions

Pour une même puissance fournie à l'utilisateur et en considérant les mêmes pertes en ligne par effet joule, on réduit des quart le volume (et donc la masse) de cuivre nécessaire, en utilisant une ligne triphasée au lieu d'une ligne monophasée.

Signalons enfin que l'emploi d'un transport monophasé, toutes chose étant égales par ailleurs, ne permet pas l'usage de machines triphasées utilisées dans la plus part des installations industrielles.

4. L'interconnexion

a. Définition

Toutes les centrales sont reliées à un réseau d'interconnexion cela leur permet de transférer l'énergie en cas de besoin et de limiter la capacité total de production.

L'interconnexion permet :

- Des échanges d'énergie entre les régions.
- En cas de défaut sur une ligne de pouvoir alimenter par une autre ligne
- Une meilleure répartition des puissances
- Une meilleure stabilité en fréquence et en tension
- Une meilleure rentabilité des équipements

Ce sont les « Dispatching » qui assurent l'interconnexion du réseau.

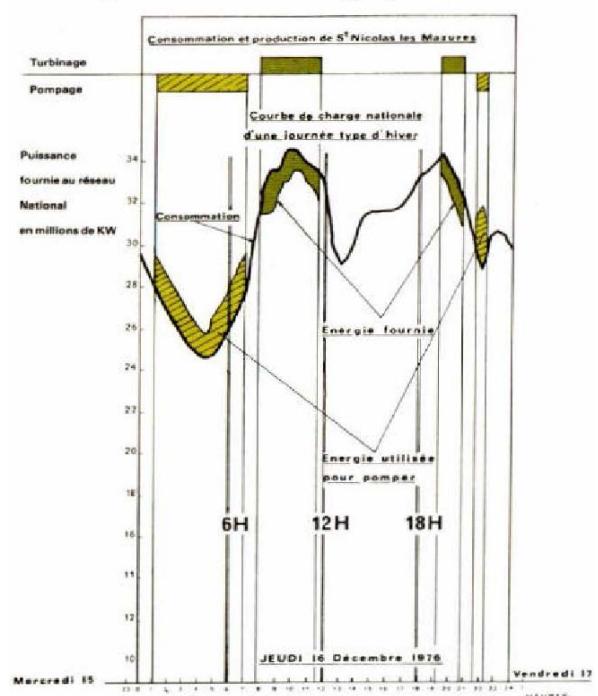
b. Dispatching

Les dispatchings assurent les fonctions principales suivantes :

- Fixation des programmes de production des centrales.
- Contrôle des échanges avec les centrales.
- Surveillance et commande du fonctionnement du réseau de transport.
- Transmission des instructions de démarrage ou d'arrêt des centrales.

Les dispatchings travaillent sur des prévision annuelles, hebdomadaires et journalières et ils établissent la courbe de charge prévisionnelle, heure par heure pour le lendemain. Un ordinateur central, relié à des terminaux dans les régions, permet d'optimiser, en permanence, l'exploitation du réseau national.

Diagramme de charge journalier



c. Postes d'interconnexion

Ils sont généralement établis en plein air ils assurent la liaison entre les centrales de production d'énergie électrique et le réseau de transport et d'interconnexion. Des transformateurs de puissance permettent des échanges d'énergie entre réseau et différentes tensions.



* Schéma de principe

Chaque arrivée est reliée, sur deux ou trois jeux de barre, par un ensemble comprenant :

- S : Sectionneur de ligne
- Tc : Transformateur de courant
- D1 : Disjoncteur
- S2, S3 : Sectionneur de liaison avec les deux jeux de barres

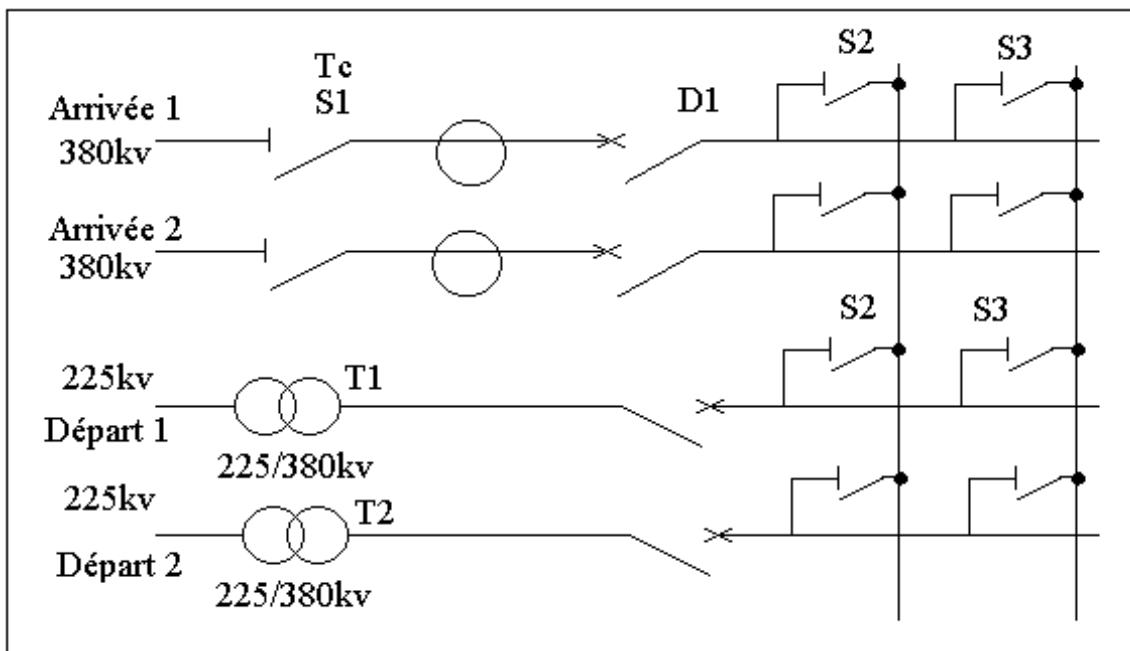
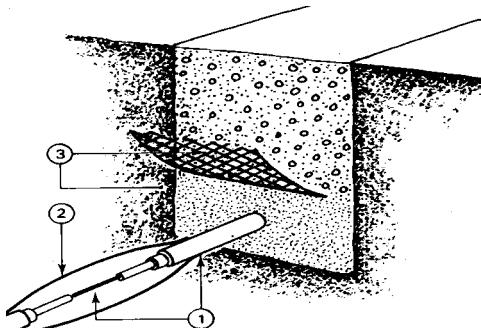


schéma de principe d'un poste d'interconnexion

Les départs peuvent d'effectuer soit directement, soit dans d'autres tensions par l'intermédiaire des transformateurs de puissance : T₁-T₂.

5. Canalisations souterraines

Le passage des canalisations en souterrain s'impose, en particulier dans les villes, à proximité des aérodromes et surtout chaque, fois que, pour des raisons de sécurité ou d'esthétique, il n'est pas possible d'installer d'autres types de canalisations.



- 1 : Câble (conducteurs isolés électriquement et avec une protection mécanique).
- 2 : Accessoires de raccordement permettant de réaliser les jonctions dérivation, etc
- 3 : Mode de pose comprenant la tranchée, le

Ce pendant plusieurs facteurs font obstacles à cette solution :

Facteur technique :

- Un câble souterrain se comporte comme un condensateur, d'où création d'un courant parasite qui accroît l'échauffement des câbles.
- Au delà d'une « distance critique » le câble ne peut assurer aucun transport d'énergie.

Exemple : **100km pour 63kv, 40km pour 400kv.**

Facteur de sécurité :

- La fiabilité est faible comparée à une ligne aérienne
- Impossibilité d'une surveillance constante et d'un entretien préventif régulier ;
- Risque d'arrachement par des engins de terrassement ;
- Remise en service, très longue en cas d'avarie.

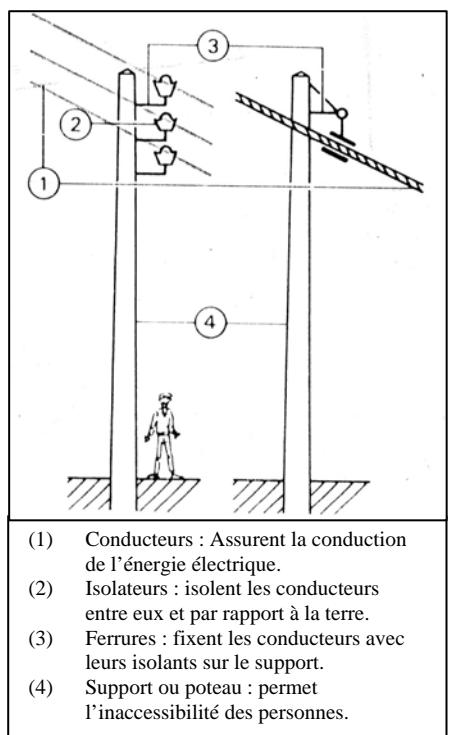
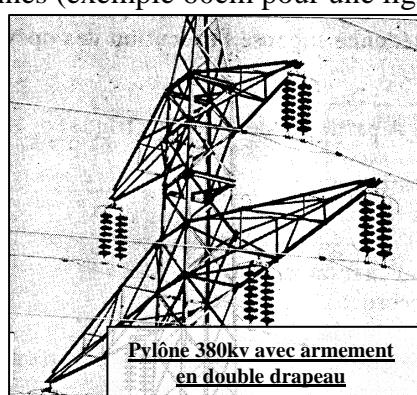
Facteur économique :

Le coût d'une installation souterraine, et selon la distance **12 à 20** fois plus onéreux que celle d'une installation aérienne.

6. Canalisations aériennes

Ils sont beaucoup plus économiques que les canalisations souterraines ; Les lignes doivent répondre aux impératifs suivants :

- Solidité des ouvrages électriques qui doivent supporter des contraintes propres à l'installation (mécanique : poids neige, effet de vent.. thermique : échauffement des câbles variation atmosphériques)
- Isolation des lignes de leur environnement, pour ne pas causer des dommages ni par contact ni à distance. Car au-delà d'une distance dite d'amorçage variable suivant la tension, un arc électrique peut se former avec des objets ou des personnes (exemple 60cm pour une ligne de 400Kv).



a. Les conducteurs

La construction et l'exploitation des canalisations aériennes doivent être effectuées dans les meilleures conditions de sécurité pour ce faire, les lignes (conducteurs) doivent répondre aux deux impératrices suivantes :

- Solidité des ouvrages.
- Isolation des lignes et de leur environnement.

Les conducteurs peuvent être nus ou isolés :

- En cuivre.
- En alliage de cuivre.
- En alliage d'aluminium (Almétac).
- En aluminium avec âme acier.
- En alliage d'aluminium avec âme en acier.

b. Les isolateurs

Ils servent à amarrer les conducteurs et à les isoler des supports. Ils sont réalisés en verre (silice + calcaire + soude) ou en porcelaine (Kaolin et Quartz). Ils doivent supporter à la fois des contraintes mécanique et diélectriques.

On distingue les isolateurs rigides pour les BTA et BTB et les isolateurs suspendus et montés en chaîne pour les HTA et HTB.

c. Armement des supports

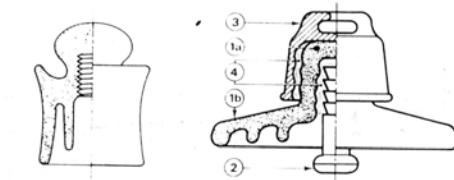
C'est l'ensemble constitué par les ferrures et les isolateurs avec vis de fixation.

d. Les poteaux ou supports

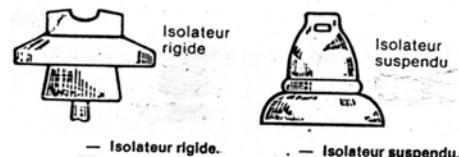
Ils assurent l'inaccessibilité aux conducteurs. Ils sont :

- En bois : régions froides ou risque de givre
- En béton armé, surtout en BTA et BTB
- Métalliques, surtout en HTA et HTB.

L'ONE dispose de plusieurs types de pylônes métalliques qui satisfont aux contraintes techniques exigées. De plus le paramètre esthétique est pris en compte dans le choix des pylônes



(1) Isolateur en porcelaine ou en verre composé d'une tête (1a) et d'une jupe (1b) en une seule pièce.
(2) Axe de suspension en acier assurant la liaison avec l'isolateur inférieur.
(3) Capot permettant d'assurer la fixation de l'axe de l'isolateur supérieur par un gouffrage.
(4) Scellement des pièces métalliques avec l'isolateur.



— Isolateur rigide. — Isolateur suspendu.

d.1. Hauteur des poteaux :

La hauteur des poteaux en BTA et BTB est comprise entre 10 et 12 m en HTA et HTB, les hauteurs sont de 20 à 30 m et peuvent atteindre 100m.

d.2. Distance entre supports :

La distance normale est de 45m ; elle peut atteindre jusqu'à 100m selon le relief du terrain, en BTB et BTA. Pour la HTA et la HTB, les portées peuvent être de 500m à 1500m.

d.3. Sécurité des pylônes

Chaque support doit être muni d'un dispositif avertisseur de danger, fil de fer barbelé ou piquants ainsi que de l'inscription : « défense absolue de toucher aux conducteurs même tombés à terre. Danger de mort »

Les supports métalliques doivent être reliés à la terre. Cette protection est souvent complétée par un ou deux conducteurs placés au sommet des portiques qui relient tous les pylônes, ce conducteur est appelé fil de garde il assure une protection de ligne contre la foudre et le retour du courant en cas de court-circuit phase-masse.

d.4. Marquage

- Plaque de numérotage en 1^{er}, 2^{ème} et 3^{ème} catégories
- Plaque « Danger de mort » en 2^{ème} et 3^{ème} catégories
- Plaque « Adresse » en 3^{ème} catégories. Cette plaque indique nom, l'adresse, le numéro d'appel téléphonique de l'exploitant, des pompiers, de la gendarmerie ou de la police à **prévenir en cas d'accident**.

e. Réalisation d'une ligne aérienne

La construction d'une ligne aérienne suppose l'exécution des opérations suivantes :

e.1. Le projet :

- A partir des données électriques :
 - Tension
 - Puissance à transporter
 - Nature du courant
- Des données d'environnement
 - Lieu à raccorder
 - Obstacles naturels
 - Lignes existantes, routes, rivières, voies ferrées
 - Milieu urbain ou rural
- On détermine :
 - Le type de conducteurs et les sections
 - Les supports utilisés et leurs accessoires
 - Le tracé de la ligne sur une carte

Une étude sur le terrain est nécessaire. A la suite de cela les démarches administratives avec les propriétaires sont entreprises.

e.2. piquetage :

Il consiste à reporter l'emplacement des poteaux sur le terrain

e.3. Préparation :

Il s'agit de commander le matériel : poteaux, ferrures, câbles et de faire exécuter les travaux préparatoires, : abatage d'arbres, fondations.

e.4. Pose des supports :

Selon les types de poteaux et les emplacements, on effectue des travaux de levage, réglage et de fixation des ferrures et isolateurs.

e.5. Montage des câbles :

Il comprend le déroulage, le tirage et de la tension des câbles.

IV. Distribution de l'énergie électrique

1 Différents types d'alimentation HTA

a- Alimentation en simple dérivation, réseau radial

À partir d'un poste- source alimenté par le réseau de transport d'énergie, une artère principale dessert des postes de transformation disposés en multiples dérivations comme une grappe (figure 11-a).

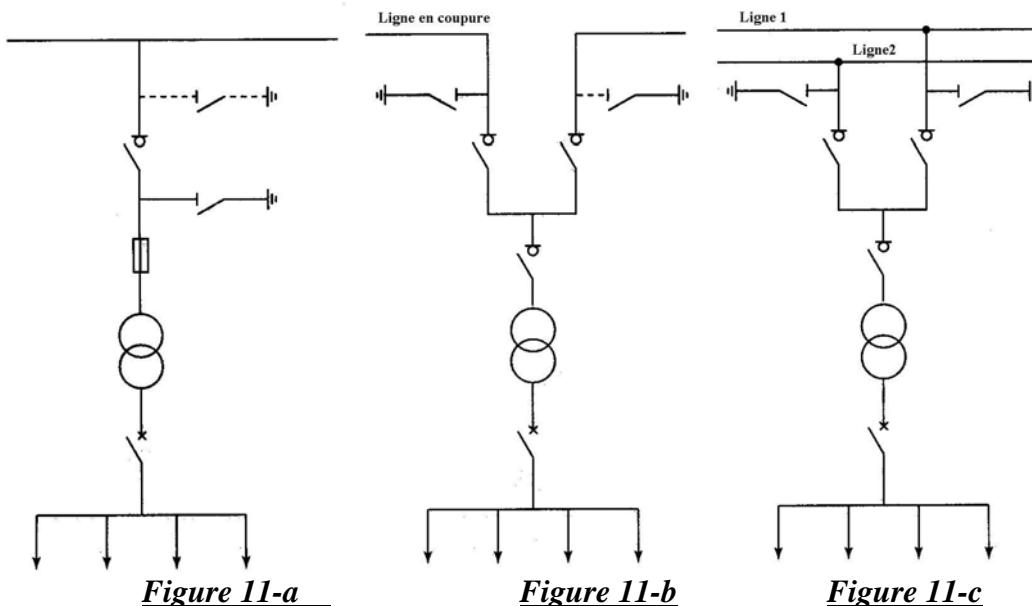
Remarque: Un défaut sur le réseau peut provoquer une coupure de courant chez tous les abonnés alimentés par l'artère principale.

b- Alimentation en coupure d'artère

On l'appelle aussi réseau en boucle (Figure 11-b). L'alimentation de poste est insérée en série sur la ligne du réseau HTA qui passe dans le poste. En cas de défaut sur une partie de la boucle, on peut isoler cette partie, et alimenter tous les postes. Ce type de réseau est surtout réalisé en souterrain.

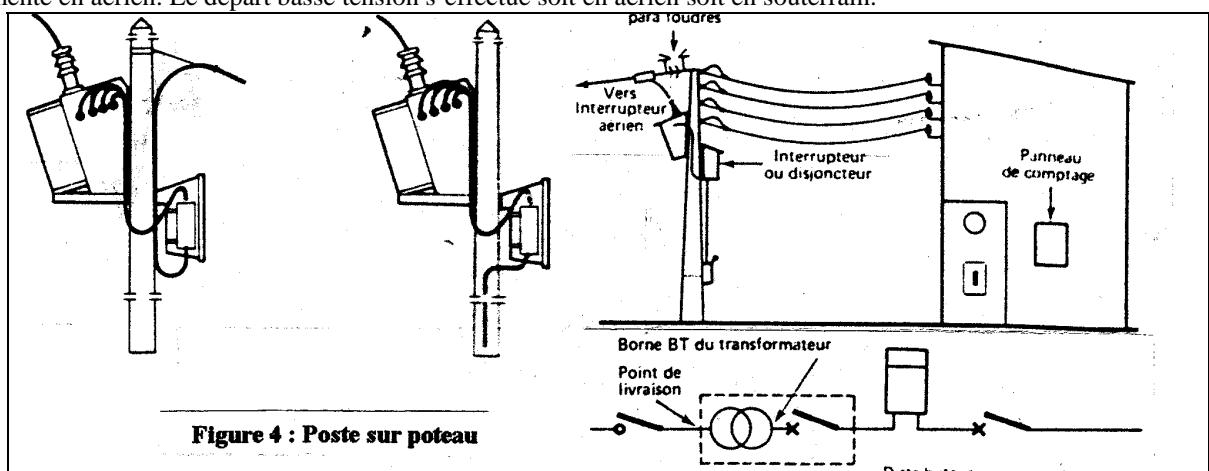
c- Alimentation en double dérivation

Chaque poste est alimenté par deux câbles avec permutation automatique en cas de manque de tension sur l'une des deux arrivées, ce qui permet d'assurer une grande continuité de l'alimentation. Cette disposition est surtout utilisée en souterrain et dans les grandes villes. (Figure 11-c)



IV-2 Les postes de transformation

Poste sur poteau : Lorsque les besoins d'énergie ne dépassent pas 100kv et se situant en zone rurale, le poste est alimenté en aérien. Le départ basse tension s'effectue soit en aérien soit en souterrain.



Le poste comprend :

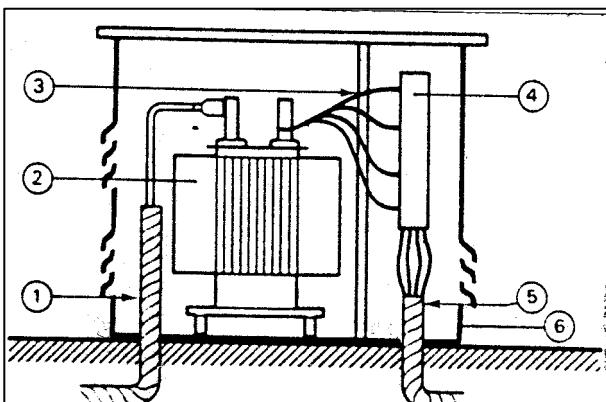
- Des éclateurs à cornes (ou parafoudres) pour la protection contre la surtension ;
- Un disjoncteur basse tension pour la protection contre la surintensité, puissance normalisée : 25-50- 100kVA .



Poste simplifié (ou à cabine basse) : Il s'agit d'un poste préfabriqué posé sur une dalle. Le raccordement s'effectue par câble soit au réseau aérien soit au réseau souterrain ; Il ne comporte aucun appareillage HTA, la puissance varie entre 160 et 250KVA.



- (1) Arrivée HTB souterraine par câble sec ;
- (2) Transformateur HTB/BT de puissance 160 ou 250kVA-20kv-400v ;
- (3) Liaison BT ;
- (4) Tableau BT qui comprend :
 - Un interrupteur avec fusibles
 - Ou un disjoncteur avec coupure visible ;
- (5) Câble de départ BT ;
- (6) Enveloppe métallique avec portes munies de serrures.



Appareillage Electrique

*Cours synthétiser par Mr Chaker Berrahal Pour les étudiants BTS
Maintenance Industrielle*

SOMMAIRE



A- GENERALITES

I. Installations Electriques : Notion de Systèmes Technique

Un système est un ensemble d'éléments matériels ou non, en relation les uns les autres et formant un tout.

Un système technique a été voulu, conçu, organisé, par l'homme pour la satisfaction d'un besoin individuel ou collectif. Ce système technique doit être la solution apportée aux spécifications et aux contraintes qui figurent dans le cahier des charges fonctionnel. Il doit satisfaire la fonction d'usage souhaitée par l'utilisateur.

Exemple :

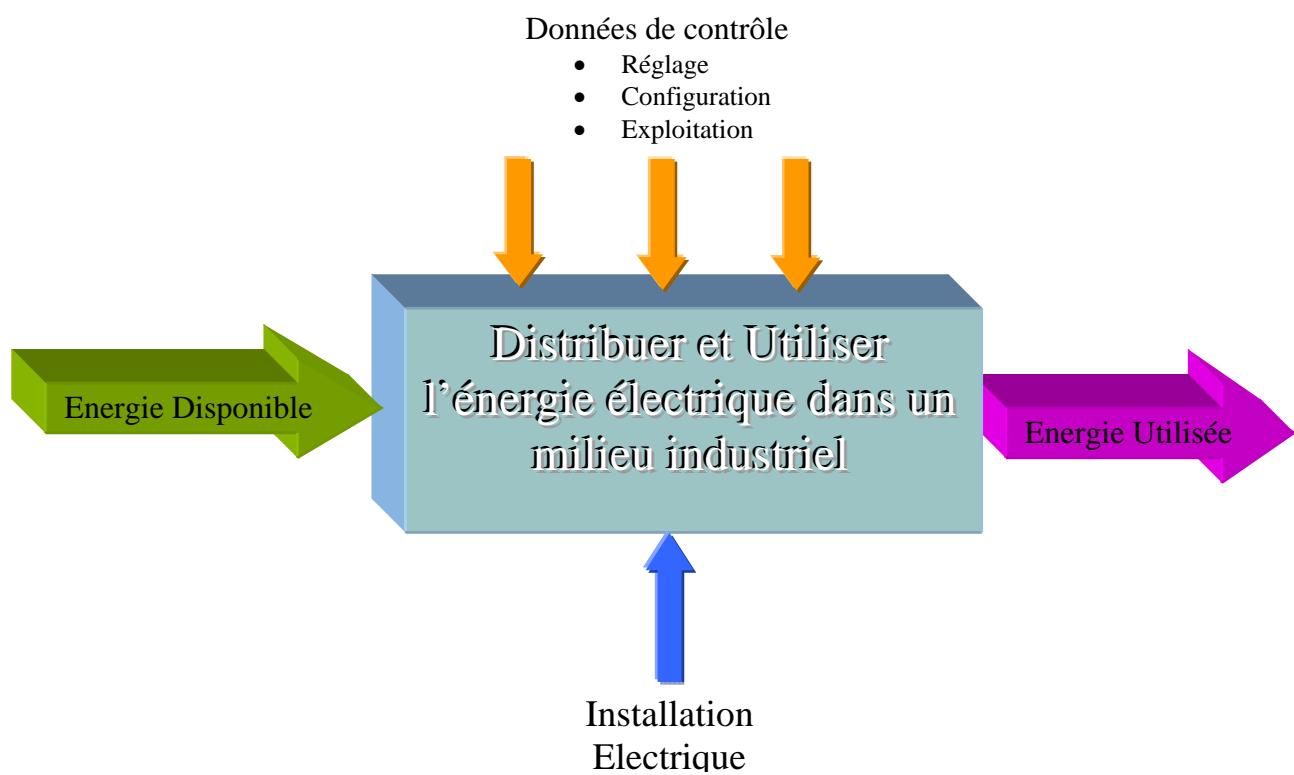
Pour les systèmes technique suivants :

- Réseau de distribution de l'énergie électrique,
- Four à micro-ondes,
- Lave-linge

L'énoncé de leurs fonctions d'usages respectifs :

- Alimenter en énergie électrique,
- Décongeler et cuire des aliments,
- Laver des lots de linge,

Exemple de fonction d'usage d'une installation électrique



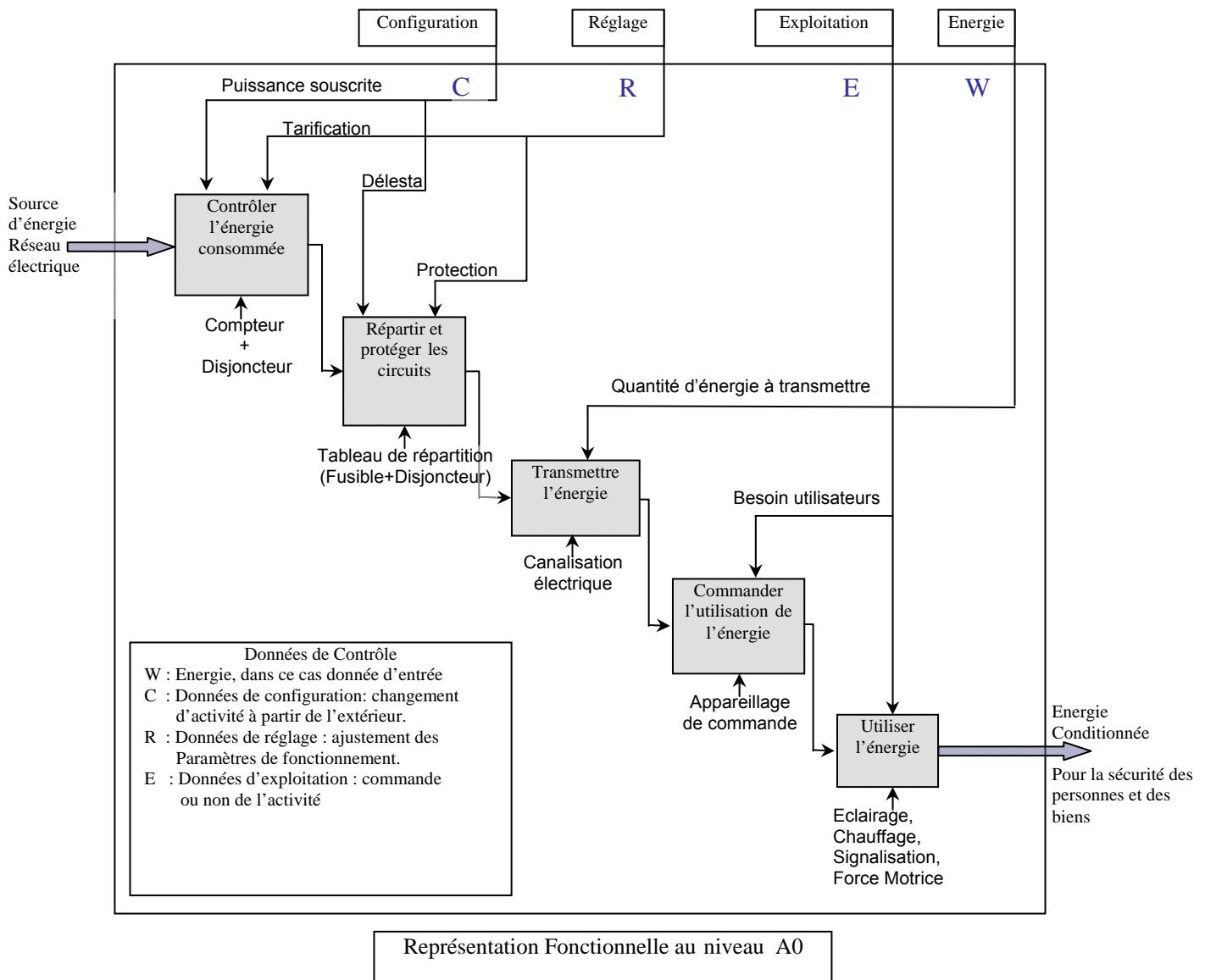
- A partir de l'énergie électrique distribuée par le réseau ONE le système, installation électrique, doit conférer une valeur ajoutée
- Pour qu'à l'état final cette énergie soit utilisable à des fins industrielles : éclairage, chauffage, signalisation, force motrice

L'installation électrique est le support de cette activité qui consiste à distribuer et à utiliser l'énergie électrique dans le milieu industriel. Elle doit être réalisée pour satisfaire des données de contrôle, de réglage, configuration, exploitation conformément aux normes et règlements en vigueur.

Toute installation électrique comporte :

- Une source d'énergie.
- De l'appareillage électrique de commande, de protection et de mesures ;
- Des appareils d'utilisation pour l'éclairage, le chauffage, la force motrice... ;
- Les canalisations électriques qui relient les éléments précédents.

La représentation fonctionnelle du système de distribution et d'utilisation de l'énergie électrique est présentée selon le modèle SADT suivant :



II. Les Fonctions de l'appareillage

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

Les constituants de l'appareillage électrique sont présents dans :

- *La distribution industrielle et domestique* ;
- *Les systèmes automatisés* ;
- *Les départs moteurs* ;
- *Les postes de livraison...*

La fonction d'un appareillage sera donc de :

- *Distribuer* ;
- *Protéger* ;
- *Isoler* ;
- *Commander* ;
- *Convertir* ;
- *régler, contrôler, mesurer les grandeurs électriques...*

On peut regrouper ces appareillages en plusieurs fonctions principales en signalant au passage qu'un appareillage peut assurer plusieurs fonction à la fois

Fonction	Définition	Exemples
Appareillage de protection	Assure la protection des installations électrique ainsi que des biens	Fusible, disjoncteur, relais thermique...
Appareillage de commande	Assure, en service normal, la mise "en" et "hors" tension d'une partie de l'installation.	Interrupteur, contacteur, disjoncteur commandé
Appareillage de raccordement	Assure la liaison électrique entre deux ou plusieurs systèmes	Conducteurs, Bornes de raccordement, prise de courant, douilles...
Appareillage de réglage	Agit sur les grandeurs électriques afin de les adapter à l'utilisation.	Rhéostat, potentiomètre inductance, condensateur dispositif électronique...
Appareils de mesure et de contrôle	Permettent d'effectuer les mesures et le contrôle des grandeurs électriques	Ampèremètre, voltmètre fréquencemètre, oscilloscope..

III. Caractéristiques Générales

L'appareillage est soumis à plusieurs contraintes :

- Celles dues aux effets du courant électrique
 - L'échauffement provoqué par le passage du courant électrique
 - Les efforts électrodynamiques dus en particulier aux forces qui se développent sur les conducteurs en cas de court circuit.
 - Contraintes diélectriques dues aux surtensions qui peuvent se produire dans un circuit inductif.
- Celles dues à l'environnement de fonctionnement :
 - Température extérieure
 - Chocs mécaniques
 - Les risques d'incendie
 - Poussière
 - Humidité
 - Etc...

1. Les Contraintes Electriques

- Les Echauffement du au passage du courant électrique

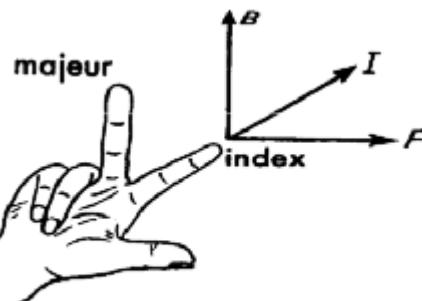
Résultant de perte joule $P_{joule} = R I^2$ ces pertes sont transformé en chaleur

- Les Effort électrodynamique

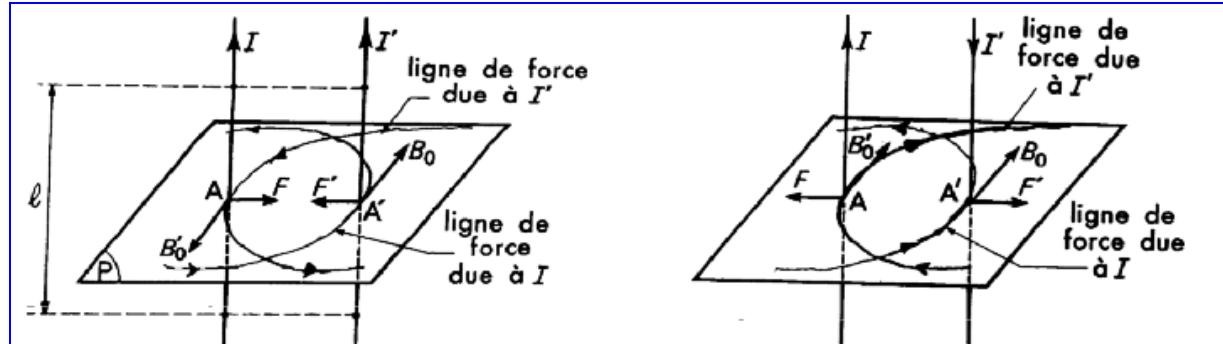
Résultant de la loi de Laplace: elles sont très importante surtout en court-circuit

Tout conducteur placé dans un champ magnétique et traversé par un courant est soumis à une force

$$F = B I l \sin \alpha$$



Règle des trois doigts de la main droite.



Donc deux courants parallèles de même sens s'attirent, et deux courants de sens opposés se repoussent.

2. Contrainte du à l'environnement

En fonction du locale d'implantation, une installation ou un matériel doit être apte à supporter normalement les influences externes de ce local. Ces influences externes sont les contraintes physiques ou techniques qu'impose le milieu physique à l'appareillage électrique.

La prise en compte de ces influences externe permet :

- de définir les critères de choix :
 - des matériaux électriques en particulier au niveau de leur indice de protection.
 - des types de canalisation et leurs modes de pose
- d'assurer de la protection et la sécurité des personnes dans le choix, par exemple, de la tension limite de sécurité U_L

Exemples de classification des locaux ou emplacements

L'inventaire des influences externes qui sont liées

- à l'environnement
- aux utilisations
- et à la construction

du local ou de l'emplacement dans lequel l'installation doit être implantée, est une démarche préalable à son exécution.

Cet inventaire permet de définir l'indice de protection des matériels de cette installation. C'est une donnée importante du cahier des charges fonctionnel. Le tableau suivant donne quelques exemples d'une telle classification.

Influences Externes Locaux ou Emplacement	A – Environnement							B – Utilisations des locaux			Indice de protection
	Température	Conditions climatiques	Présence d'eau	Présence de corps solides	Corrosion	Chocs mécaniques	Résistance au corps humain	Contact avec potentiel de terre	Evacuation des personnes	Nature des matières traitées	
	AA	AB	AD	AE	AF	AG	BB	BC	BD	BE	
Locaux ou emplacement domestiques											
Buanderies	4	4	4	1	1	1,2	2	3	1	1	IP231
Caves, celliers	4	4	2	1	1	1,2	2	3	1,3	1	IP211
Chambres	4	4	1	1	1	1	1	1,2,3	1	1	IP201
Salle de séjour	4	4	1	1	1	1	1	1,2,3	1	1	IP201
Salle d'eau	4	4	7	1	1	1	3	3	1	1	IP271
Cuisines	4	4	4	1	1	1	2	3	1	1	IP211
Greniers	4	4	2	1	1	1	1	2	1	2	IP209
Lingerie	4	4	2	1	1	1	1	3	1	1	IP211
Exploitations Agricoles											
Bergeries (fermées)	4	4	4	1	3	2	2	3	1	2	IP245
Chais	4	4	3	1	1	2	2	3	1	2	IP235
Ecuries	3,4	4	5	3	3	2	3	3	1	2	IP455
Etable	3,4	4	5	3	3	2	3	3	1	2	IP455
Serres	6	4	3	1	1	2	2	3	1	1	IP235
Poulaillers	4	4	4	3	3	2	3	3	1	2	IP455
Etablissements industriels											
Boulangeries	4	4	1	4	1	2	2	3	1	4	IP505
Cimenteries	4	4	1	4	3	3	2	3	1	1	IP507
Filatures	4	4	2,3	2	3	3	2	3	1	2	IP505
Traitement des métaux	4	4	2	2	4	2	2	3	1	1,2,3	IP317
Fabrication de savons	4	4	5	4	3	2	3	3	1	1	IP315
Sucreries	4	4	5	2	3	2	3	3	1	2,3	IP655
Teintureries	4	4	5	2	3	2	3	3	1	2,3	IP355

Indices de Protection IP :

1 ^{er} chiffre : protection contre les corps solides			2 ^e chiffre : protection contre les liquides			3 ^e chiffre : protection mécanique		
IP	Test	Definition	IP	Test	Definition	IP	Test	Definition
0xx		Pas de protection	x0x		Pas de protection	xx0		Pas de protection
1xx	Ø 50 mm 	Protégé contre les corps solides supérieurs à 50 mm (exemple : contacts involontaires de la main)	x1x		Protégé contre les chutes verticales de gouttes d'eau (condensation)	xx1		Energie de choc : 0.15 J
2xx	Ø 12 mm 	Protégé contre les corps solides supérieurs à 12 mm (exemple : doigt de la main)	x2x		Protégé contre les chutes de gouttes d'eau jusqu'à 15° de la verticale	xx2		Energie de choc : 0.20 J
3xx	Ø 2.5 mm 	Protégé contre les corps solides supérieurs à 2.5 mm (exemples : outils, fils)	x3x		Protégé contre l'eau en pluie jusqu'à 60° de la verticale	xx3		Energie de choc : 0.37 J
4xx	Ø 1 mm 	Protégé contre les corps solides supérieurs à 1 mm (exemples : outils fin, petits fils)	x4x		Protégé contre les projections d'eau de toutes directions	xx4		Energie de choc : 0.50 J
5xx		Protégé contre les poussières (pas de dépôt nuisible)	x5x		Protégé contre les jets d'eau de toutes directions à la lance	xx5		Energie de choc : 0.70 J
6xx		Totalement protégé contre les poussières.	x6x		Protégé contre les projections d'eau assimilables aux paquets de mer	xx6		Energie de choc : 1 J
Exemple : IP 555 IP = indice de protection 555= facteur pour corps solides, liquides et chocs mécaniques			x7x		Protégé contre les effets de l'immersion entre 0.15 et 1 m	xx7		Energie de choc : 2 J
			x8x		Protégé contre les effets prolongés de l'immersion sous pression	xx8		Energie de choc : 5 J

3. Établissement et interruption du courant électrique

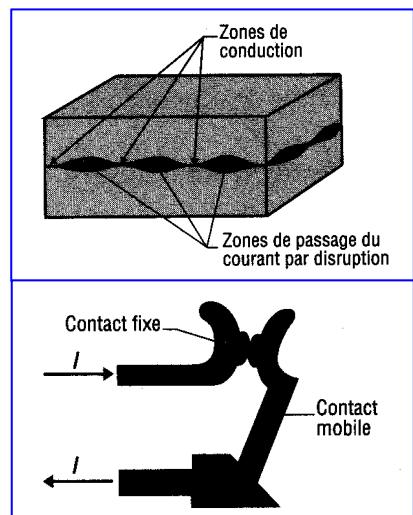
a. Principe du contact électrique

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

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

Le contact peut être

- permanent (connexion fixe),
- semi-permanent (connexion démontable),
- Temporaire (contact d'appareillage de coupure).



b. Formation de l'arc électrique

A la séparation d'un contact électrique, il y a création d'un arc. Cet arc est produit par l'ionisation de l'air ambiant qui devient conducteur. Cette ionisation est due au fait que la distance entre les contacts est très faible (début de l'ouverture), il y a création d'un champ électrique très intense, supérieur à la tension de claquage de l'isolant, le milieu devient ionisé, d'où la création d'une colonne d'air ionisé, contenant des électrons libres et des molécules de métal en fusion arraché aux contacts, c'est l'arc électrique.

On dit également qu'il y a claquage de l'isolant dû au champ disruptif.

L'arc électrique est très dangereux pour les matériels et les personnes, sa température est comprise entre 2500° et 5000°C, et il détruit les contacts par fusion du métal.

c. Effet de l'arc électrique

- Rayonnement lumineux intense, aveuglement
- Elévation de température très importante, brûlure incendie.
- Continuité du courant non voulu, électrocution
- Parasites.

d. Propriété de l'arc électrique

- La section de l'arc est proportionnelle à l'intensité
- La longueur est proportionnelle à la tension à couper (plusieurs mètres en haute tension)
- Il est très mobile.

e. Moyens de l'extinction de l'arc électrique

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

- Par auto ventilation
- Soufflage par fractionnement
- Soufflage magnétique

f. Le pouvoir de coupure

Il exprime le courant maxi que l'appareil peut couper sous la tension et dans les conditions d'utilisation sans détérioration excessive, Il s'exprime en ampère ou en volt ampère

4. Caractéristique d'un l'appareillage électrique:

- La tension nominale de fonctionnement
- La tension d'isolement
- L'intensité nominale pour laquelle l'échauffement de l'appareil est normale
- Le pouvoir de coupure
- Le nombre de millions de manœuvres
- L'indice de protection.

B-APPARAILLAGE DE PROTECTION

On peut Classer ces protections en deux catégories :

- **Des Personnes** : Contre les danger de l'énergie électrique (Isolation, Régime de neutre, DDR, etc.)
- **Des Biens** : Le problème de la protection des biens consiste à définir la nature de défaut, contre lequel on doit se protéger, puis à choisir l'appareil capable de détecter ces défauts et de procéder à leur suppression.

Identification des perturbations et moyens de protection

Perturbation	Causes	Effets	Moyen de protection
Surcharge	La puissance demandée est plus importante que celle prévue.	-Accroissement du courant ; -Echauffement lent mais de longue durée ; -Parfois détérioration.	-Fusible ; -Relais thermique ; -Disjoncteur.
Court circuit	Contact électrique accidentel entre deux conducteurs de polarité différente.	-Création d'un arc électrique ; -Echauffement très important ; -Forces électrodynamiques.	-Fusible ; -Disjoncteur ; -Relais magnétique.
Surtension	-Défaut d'isolement ; -Surtension atmosphérique (Foudre) ; -Contact avec une ligne de haute tension.	Claquage des isolants (destruction) d'où création de surcharge et de court circuit.	-Parafoudre ; -Limiteur de surtension ; -Relais de surtension.
Baisse de tension	-Déséquilibre d'un réseau triphasé ; -Coupure d'une phase -Une phase mise à la terre	Mauvais fonctionnement des récepteurs.	-Relais à manque de tension ; -Relais à baise de tension.

Désignation.

I_b : courant d'emploi du circuit ou courant de service. C'est le courant qui correspond à la plus grande puissance transportée en service normal

$$\text{En monophasé : } I_b = \frac{P}{U \cos \varphi} ; \quad \text{En triphasé } I_b = \frac{P}{\sqrt{3} U \cos \varphi} .$$

In : courant nominal ou courant assigné ou calibre du dispositif de protection (valeur qu'il peut supporter en permanence, sans modification de ses caractéristiques)

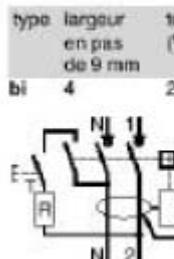
Iz : courant admissible dans la canalisation ;

Ir : courant de réglage de dispositif de protection.

1. Protection des Personnes

a. Fonction : Protéger les personnes

La protection des personnes est généralement assurée par le choix d'un schéma de liaison à la terre, (régime du neutre) la connexion des masses des matériels à la terre (ou neutre selon le schéma TN) et dans la majeure partie des cas par l'utilisation d'appareils différentiels.

Disjoncteur différentiel	Interrupteur différentiel																														
																															
Symbole :	Symbole :  <table border="1"> <tr> <td>type</td> <td>largeur</td> <td>tension</td> <td>cal.</td> <td>sens.</td> <td>réf.</td> </tr> <tr> <td>bi</td> <td>en pas de 9 mm</td> <td>(V CA)</td> <td>(A)</td> <td>(mA)</td> <td></td> </tr> <tr> <td>4</td> <td></td> <td>230</td> <td>25</td> <td>30</td> <td>23157</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td>40</td> <td>30</td> <td>23160</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td>63</td> <td>30</td> <td>23162</td> </tr> </table>	type	largeur	tension	cal.	sens.	réf.	bi	en pas de 9 mm	(V CA)	(A)	(mA)		4		230	25	30	23157				40	30	23160				63	30	23162
type	largeur	tension	cal.	sens.	réf.																										
bi	en pas de 9 mm	(V CA)	(A)	(mA)																											
4		230	25	30	23157																										
			40	30	23160																										
			63	30	23162																										
Possède un pouvoir de coupe	Ne peut couper que la charge nominale																														

Le dispositif de détection de défaut différentiel résiduel (DDR : courant de fuite s'écoulant par la terre) se caractérise par sa sensibilité $I\Delta n$.

Les valeurs couramment rencontrées sont : 10 mA ; 30 mA ; 100 mA ; 500 mA ; 1 A...

Les plages de fonctionnement de tels dispositifs sont les suivantes :



Principe de fonctionnement :

Lors d'un défaut à la terre (cas d'une personne touchant une carcasse métallique sous tension), une partie du courant I est dévié par la terre.

La totalité du courant I ne circule plus dans la bobine de neutre.

Il se crée alors un déséquilibre au niveau du tore, ce qui permet d'alimenter l'électro-aimant.

Et ceci provoque l'ouverture des contacts de puissance.

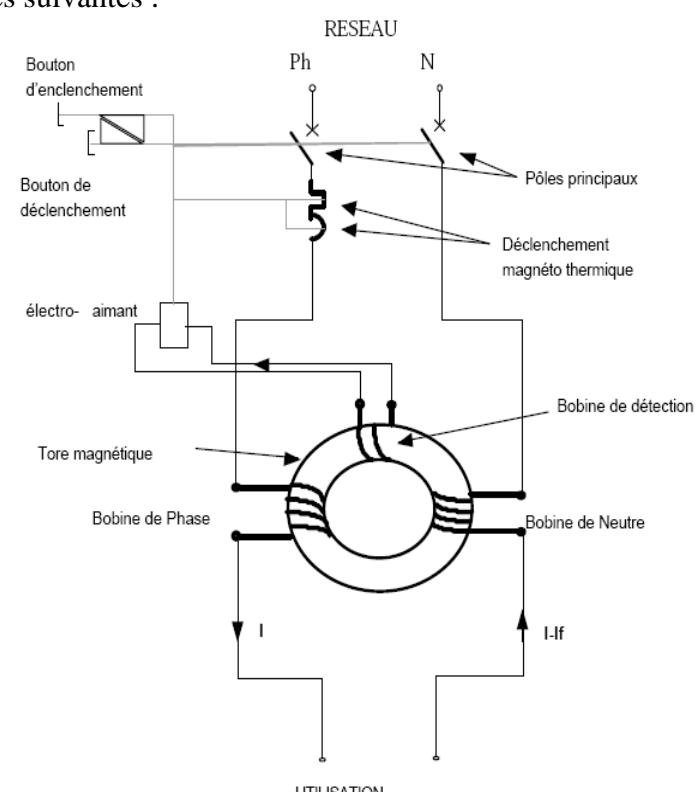


Tableau constructeur :**Disjoncteurs différentiels
avec protection contre les surintensités**

Multi 9 avec bloc Vigi	courant nominal (A)	tension nominale CA (50/60 Hz) ⁽¹⁾ (V)	nombre de pôles	sensibilité $I_{\Delta n}$ (A) ⁽²⁾	retard intentionnel retard (ms)	temps total de déclench. (ms) ⁽³⁾
DT40	40 à 30 °C	230/400	2-3-4	HS : 0,03 MS : 0,3	0 0	30 170
DT40 Vigi						
XC40 + bloc Vigi Reflex	38 à 20 °C	220 à 380	2-3-4	HS : 0,03 MS : 0,3	0 0	30 30
C60a/N/H/L + bloc Vigi/Si	63 à 30 °C cal <= 25 tous calibres	230 à 400	2-3-4	HS : 0,01 HS : 0,03 MS : 0,3 MS : 0,3 MS : 1	0 0 0 S S	30 30 30 170 170
C120N/H + bloc Vigi/Si	125 à 40 °C	230/400	2-3-4	HS : 0,03 MS : 0,3 MS : 0,3 MS : 1	0 0 S S	30 30 170 170
NG125N + bloc Vigi/Si	125 à 40 °C	230/500	3-4	HS : 0,03	0	30
NG125L + bloc Vigi/Si	80 à 40 °C		2-3-4	MS : 0,3-1-3 ⁽⁴⁾	0 ⁽⁴⁾	30
				MS : 0,3-1-3 ⁽⁴⁾	S ⁽⁴⁾	170

HS : Haute Sensibilité

MS : Sensibilité Moyenne

S : Sensible

b. Fonction : Séparer et Condamner

On utilisera indifféremment les termes « Séparer » et « Isoler ».

Définitions :**Séparer :** Isoler tout ou partie d'une installation du réseau.**Condamner :** Interdire les manœuvres de remise sous tension.

Sectionneur	Sectionneur porte fusible	Interrupteur sectionneur
Symbol : 	Symbol : 	Symbol :

Le sectionneur comme le sectionneur porte fusible ne possède pas de pouvoir de coupure. C'est-à-dire qu'ils ne peuvent pas être manœuvrés en charge.

L'interrupteur sectionneur peut s'ouvrir et se fermer sous charge nominale.

Contacts de pré coupure : Les sectionneurs et interrupteurs sectionneurs disposent de contacts de pré coupure. Ces contacts s'ouvrent avant les contacts de puissance. En insérant les contacts de pré coupure dans la partie commande du contacteur, Celui-ci s'ouvre avant le sectionneur.

Un dispositif contre la marche en monophasé est possible en utilisant des fusibles à percuteurs.

Documentation technique d'un sectionneur porte fusible :

Blocs nus tripolaires



LS1-D2531A65

Calibre	Taille des cartouches fusibles	Nombre de contacts de pré coupure (1)	Dispositif contre la marche en monophasé (2)	Référence	Masse kg
25 A	10 x 38	1	Sans	LS1-D2531A65 (3)	0,240
		2	Sans	LS1-D253A65 (3)	0,240
50 A	14 x 51	1	Sans	GK1-EK (4)	0,430
		2	Avec	GK1-EV (4)	0,470
		2	Sans	GK1-ES (4)	0,470
		2	Avec	GK1-EW (4)	0,510

Type d'interrupteurs

GS1-F GS1-G

Environnement

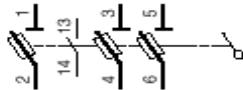
Conformité aux normes	Interrupteurs-sectionneurs Coupé-circuits	IEC 947-3 et 5, NF C 63-130, VDE 066 IEC 269-1 et 2, NFC 63-210 et 63-211 DIN 43620
Certifications des produits		ASEFA/LOVAG, BV, CEBEC, KEMA, I
Traitement de protection		"TH"

Caractéristiques des pôles

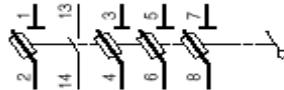
Courant thermique à 40 °C (Ith)		A	50	63
Taille des fusibles			14 x 51	T00C
Tension assignée d'isolement (Ui)		V	750	750
Tension assignée de tenue aux chocs (Uimp)		kV	8	8
Puissance assignée d'emploi	En AC-23A/B (2)	~	400 V 500 V 690 V	kW 25 kW 33 kW 45
Courant assigné d'emploi (Ie)	En AC-23A/B (2)	~	400 V 500 V 690 V	A 50 A 50 A 50
				63 63 63

Avec 1 contact de pré coupure

Tripolaire
LS1-D2531A65
DK1-FB23 à KC23

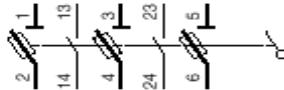


Tétrapolaire
LS1-D2531 + LA8-D254
DK1-FB24 à KC24

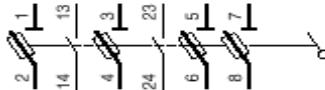


Sectionneurs avec 2 contacts de pré coupure

Tripolaire
LS1-D2531A65
DK1-FB13 à KC13



Tétrapolaire
LS1-D253A65 + LA8-D254



2. Protection des Biens

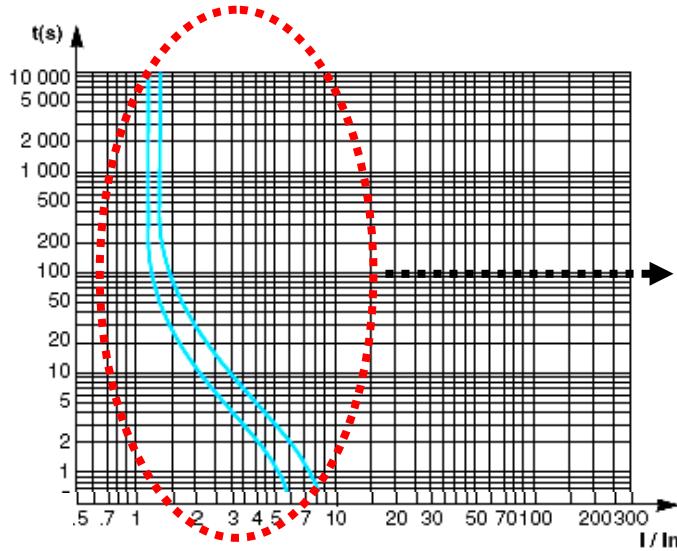
a. Fonction : Protéger contre les surcharges

Définition :

Surchage : une élévation anormale du courant consommé par le récepteur, faible (1 à 3 In) mais prolongée dans le temps, qui entraîne un échauffement de l'installation pouvant aller jusqu'à sa destruction..

Disjoncteur magnétothermique	Relais thermique
Symbol :	Symbol :
Possède un pouvoir de coupure	Pas de pouvoir de coupure, mais ouvre le circuit de commande du contacteur

Le disjoncteur magnétothermique



Courbe à temps inverse :

- Plus la surcharge est grande et plus le temps de déclenchement doit être court.
- Plus la surcharge est faible et plus le temps de déclenchement doit être long.

Le disjoncteur ne déclenche jamais pour $I=In$.

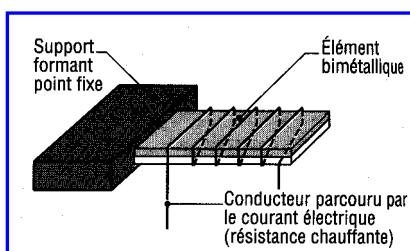
Le disjoncteur magnétothermique sera détaillé par la suite

Le relais thermique

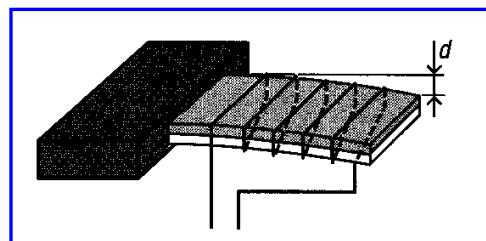
Le relais thermique ne possède pas de pouvoir de coupure, aussi, un contact auxiliaire permet de couper l'alimentation de la commande du contacteur.

- Principe de fonctionnement et constitution

Le relais thermique utilise la propriété d'un bilame formé de deux lames minces ayant un coefficient de dilatation différent. L'apparition d'une surcharge se traduit par l'augmentation de la chaleur ($\text{effet joule } P_j = R * I^2$) ; Les bilames détectent l'augmentation de chaleur se déforment et donnent l'information au contact auxiliaire de s'ouvrir. Ce contact étant convenablement placé dans le circuit de commande va couper l'alimentation de la bobine du contacteur qui va ouvrir ses pôles de puissances et interrompre le passage de l'énergie électrique au travers du récepteur. C'est donc l'appareillage de commande qui coupe le circuit de puissance est non pas le relais thermique.



Système de bilame.



d = déformation due à l'échauffement provoqué par le passage du courant.

- Remarque :

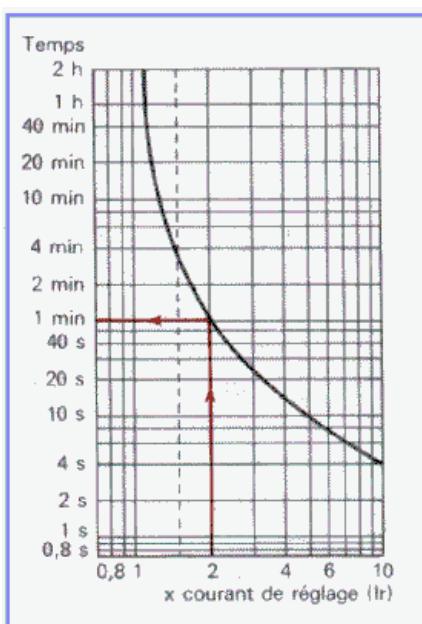
Les relais thermiques sont généralement compensés et différentiels :

- Compensés en température : la température extérieure ne doit pas modifier le fonctionnement du relais.
- Différentiels : Tout déséquilibre de phase provoque un déclenchement.

- Courbe de déclenchement d'un relais thermique

On retrouve la courbe de déclenchement à temps inverse.

- Le relais thermique doit être réglé à l'intensité nominale du récepteur à protéger ($I_r = I_n$).
- Le déclenchement réel se fait à $1,15 I_r$.

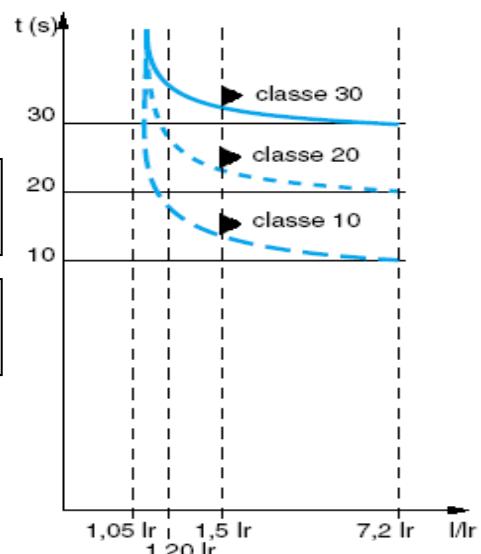


Par contre, plusieurs classes existent :

Classe 10A : A utiliser pour des démarriages moteur de 2 à 10 s

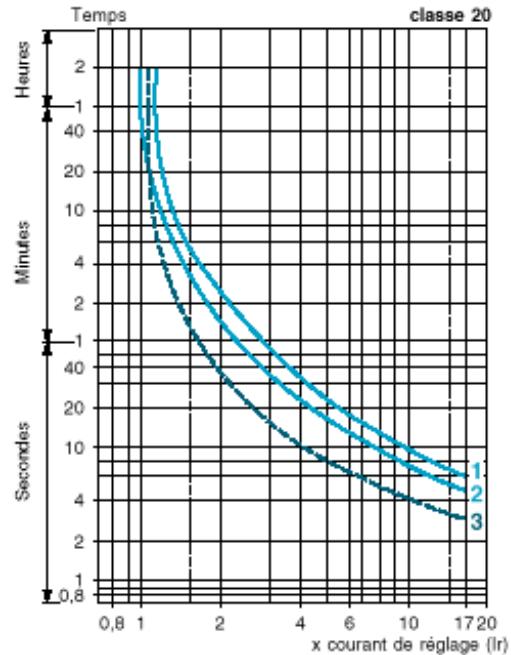
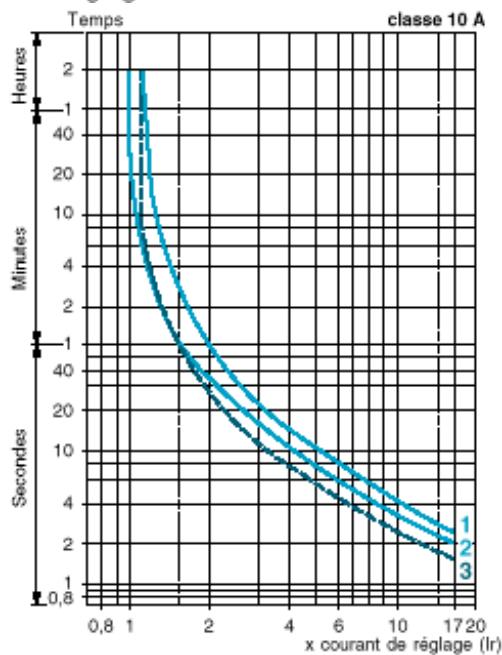
Classe 20 : A utiliser pour des démarriages moteur de 6 à 20 s

Il existe une classe 30 pour des démarriages jusqu'à 30s.



Documentation technique :**Courbes de déclenchement LR2-D**

Temps de fonctionnement moyen
en fonction des multiples du courant
de réglage



1 Fonctionnement équilibré, 3 phases, sans passage préalable du courant (à froid).

2 Fonctionnement sur les 2 phases, sans passage préalable du courant (à froid).

3 Fonctionnement équilibré 3 phases, après passage prolongé du courant de réglage (à chaud).

Relais thermique différentiel : Permet la détection d'une absence de phase

Relais thermique compensé : Insensibilité aux températures extérieures

b. Fonction : Protéger contre les courts-circuits

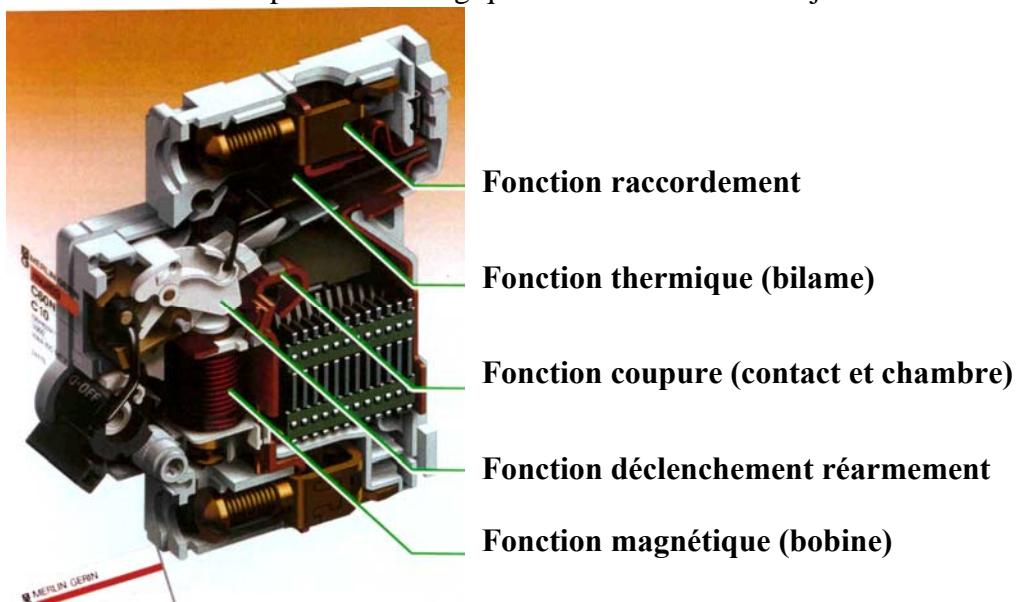
Définition :

Court-circuit : Augmentation Brutale du courant dû généralement à un contacte entre deux conducteurs portée à des potentiel différent (Phase/Neutre) ou (Phase i / Phase j) $i \neq j$.

Disjoncteur magnétique	Disjoncteur Magnétothermique	Fusibles	Relais magnétique
Symbol : 	Symbol : 	Symbol : 	Symbol :
Possèdent un pouvoir de coupe		Pas de Pdc	

Constitution du disjoncteur

C'est le pôle magnétique du disjoncteur qui est chargé de détecter et d'éliminer tous les défauts sur court-circuit. Voici une description technologique de l'intérieur d'un disjoncteur.



Courbes de déclenchement

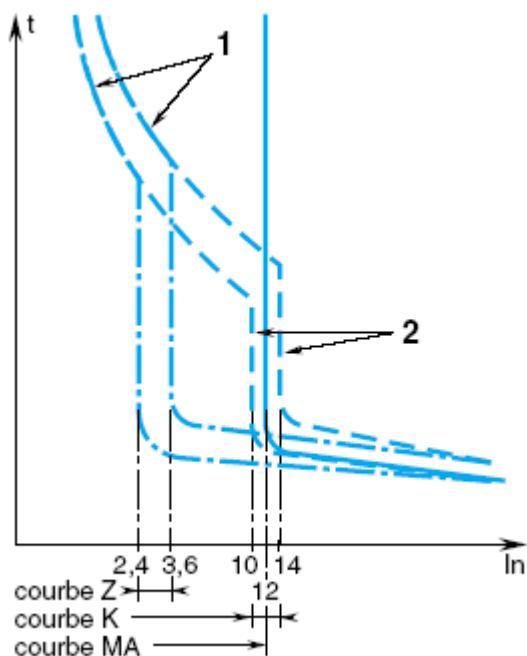
C'est l'association de la courbe de déclenchement du déclencheur thermique et du déclencheur magnétique. La plage de réglage correspond à des tolérances de fabrication entre T et M , où le fonctionnement est réalisé soit par le thermique soit par le magnétique.

Type de Courbe

- Un moteur absorbe 6 à 8 fois son courant nominal au démarrage.
- Une résistance absorbe toujours son courant nominal, sans pointe de courant.

Aussi, pour laisser passer la pointe de courant au démarrage de certains récepteurs, différents types de courbes de déclenchement existent.

Moins courantes, mais il existe aussi les courbes K ; Z et MA qui sont définies sur le graphique ci-dessous.



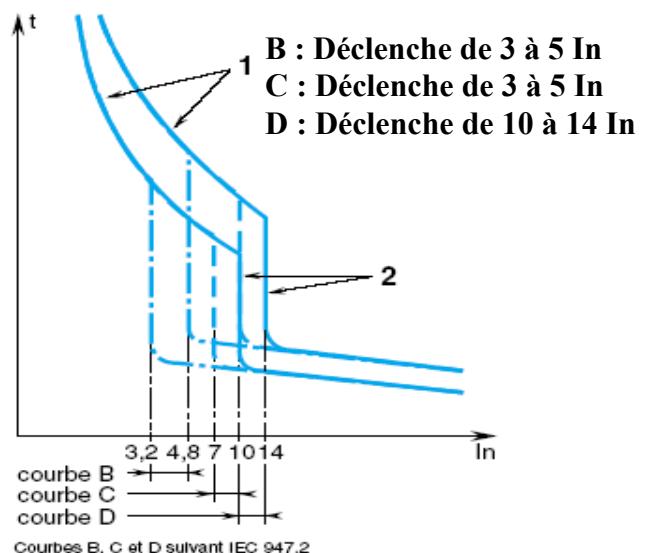
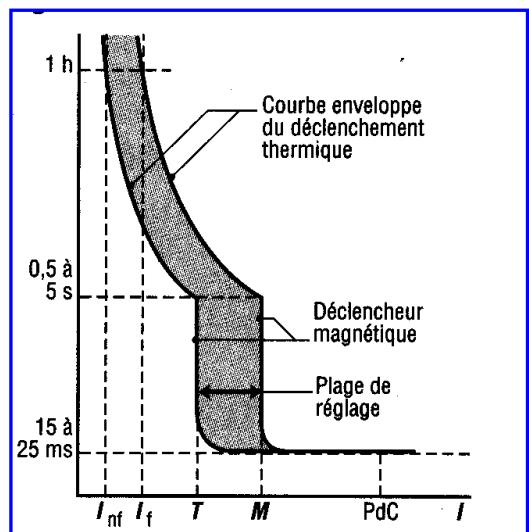
Courbes Z, K et MA suivant IEC 947.2

Ces courbes de déclenchement sont fixes.

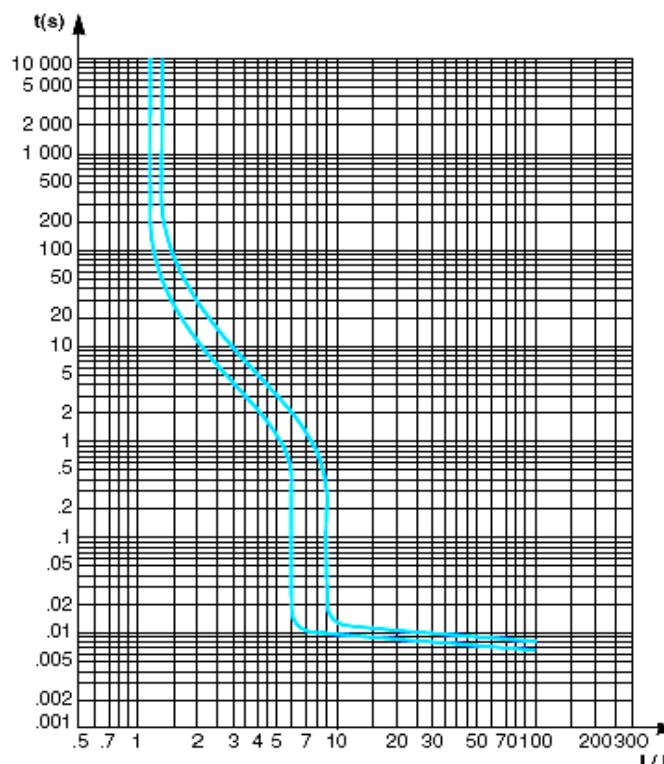
Il existe aussi des déclencheurs réglables et des déclencheurs totalement électroniques (STR22SE chez MGE).

Sur la courbe du disjoncteur ci-contre, indiquer :

- Le type de courbe
- La zone de non déclenchement : hachurer
- La zone de déclenchement probable : colorier
- La zone de déclenchement certaine : quadriller



Courbes B, C et D suivant IEC 947.2

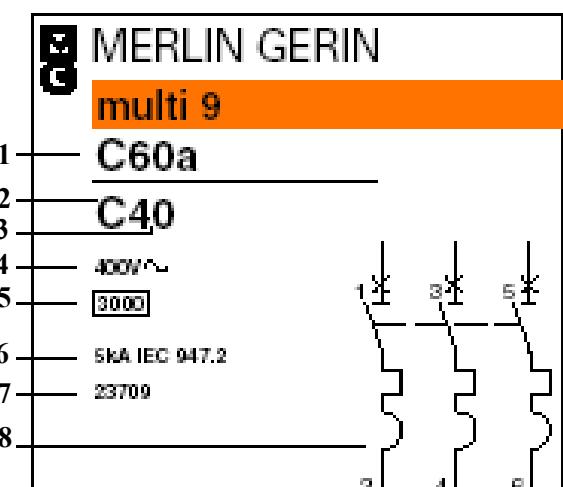


Résumé des Courbes de déclenchement

Type de courbe	Plage de réglage	Application
Courbe B (L)	Déclenchement entre 3,2 In et 4,8 In	Commande de protection des installations ne présentant pas de pointe de courant à la mise sous tension: Installations domestiques, Circuits de cuisson et de chauffage, Eclairage comportant un petit nombre de lampes, Prises de courant, Protection des personnes en régime IT et TN.
Courbe C (U)	Déclenchement entre 7 In et 10 In	Commande et protection des installations correspondant à des applications générales: Domestique, tertiaire, et industrielle.
Courbe D	Déclenchement entre 10 In et 14 In	Commande et protection des installations présentant de forts courants d'appel: transformateurs, moteurs.
Courbe Z	Déclenchement entre 2,4 In et 3,6 In	Protection des circuits électroniques: diodes, transistors, triacs, etc. contre les faibles surcharges de longue durée et contre les courts-circuits.
Courbe K	Déclenchement entre 10 In et 14 In	Commande et protection contre les surcharges et les courts-circuits d'installations présentant des courants d'appel importants, mais de durée plus brève.
Courbe MA	Déclenchement à 12 In	Protection des circuits d'alimentation des moteurs câbles et démarreurs contre les courts-circuits. Ce disjoncteur ne comporte qu'un déclencheur magnétique, il doit être associé à une protection thermique adaptée

Décodage face avant d'un disjoncteur

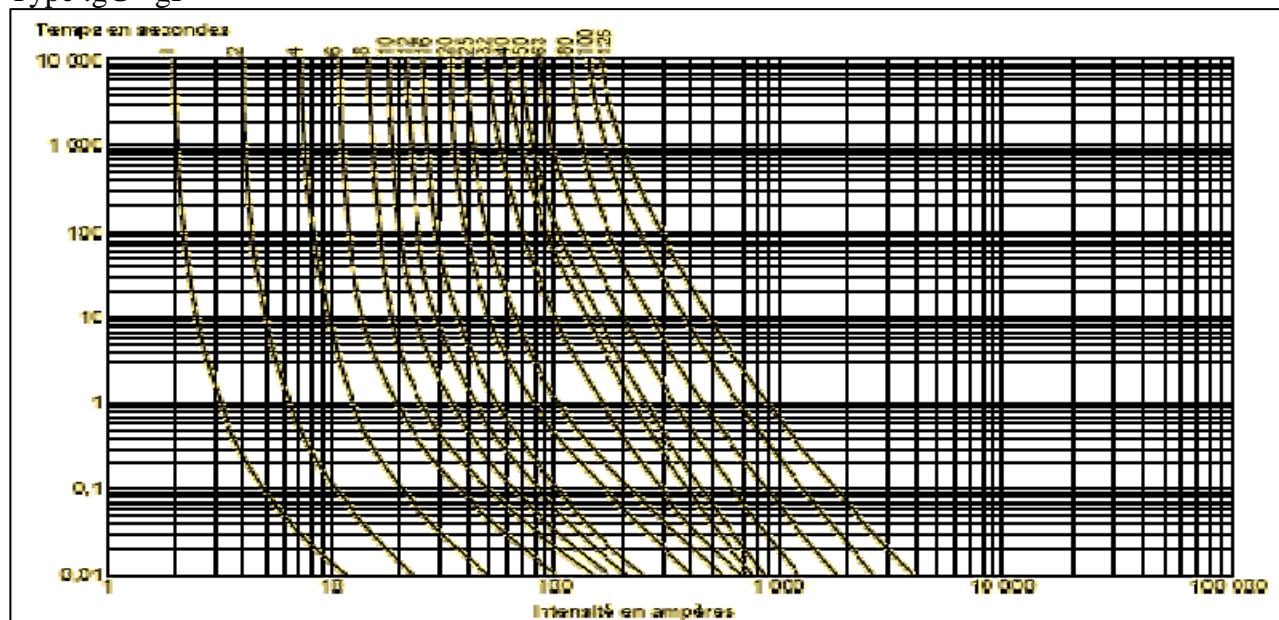
- 1 : Variante du disjoncteur suivant le pouvoir de coupe
- 2 : Courbe de déclenchement
- 3 : Calibre du disjoncteur (courant assigné)
- 4 : Tension d'emploi Ue
- 5 : Pouvoir de coupe suivant la norme « domestique et analogue » NFC 61-410
- 6 : Pouvoir de coupe suivant la norme « industrielle » NFC 63-120
- 7 : Référence commerciale
- 8 : Symbole électrique suivant le nombre de pôles



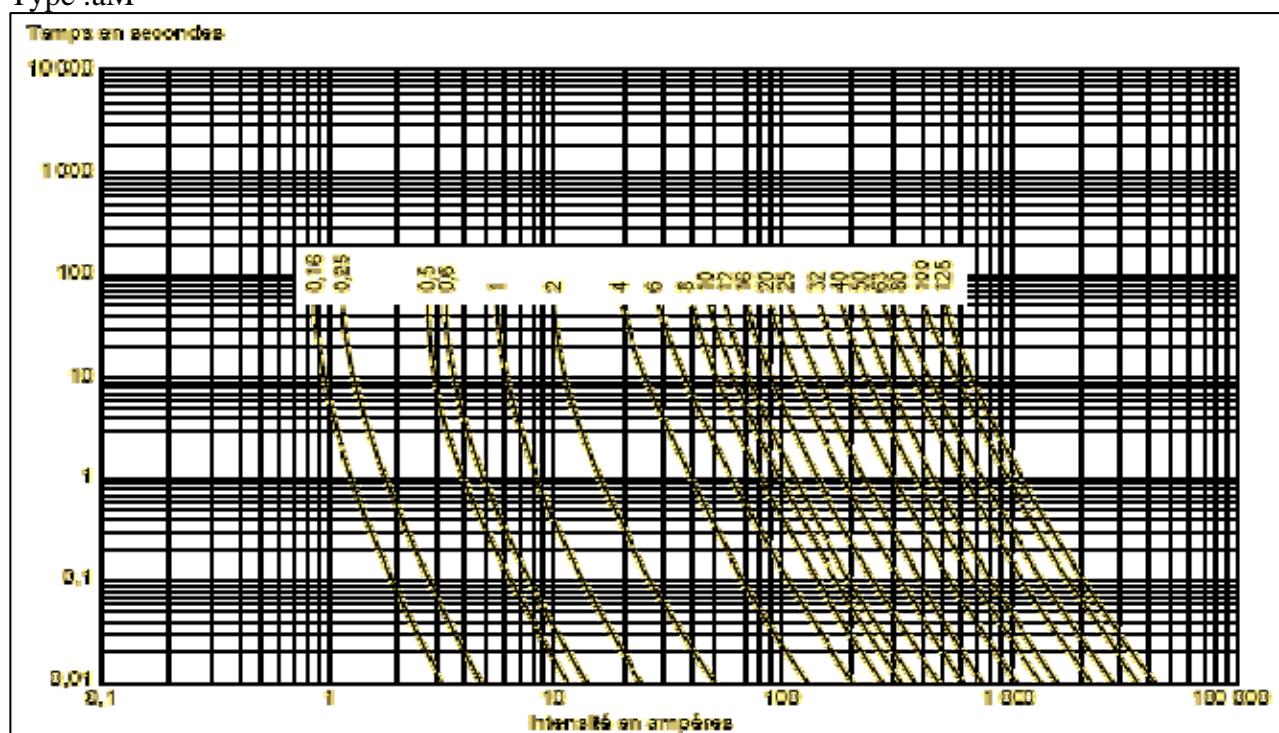
Les fusibles

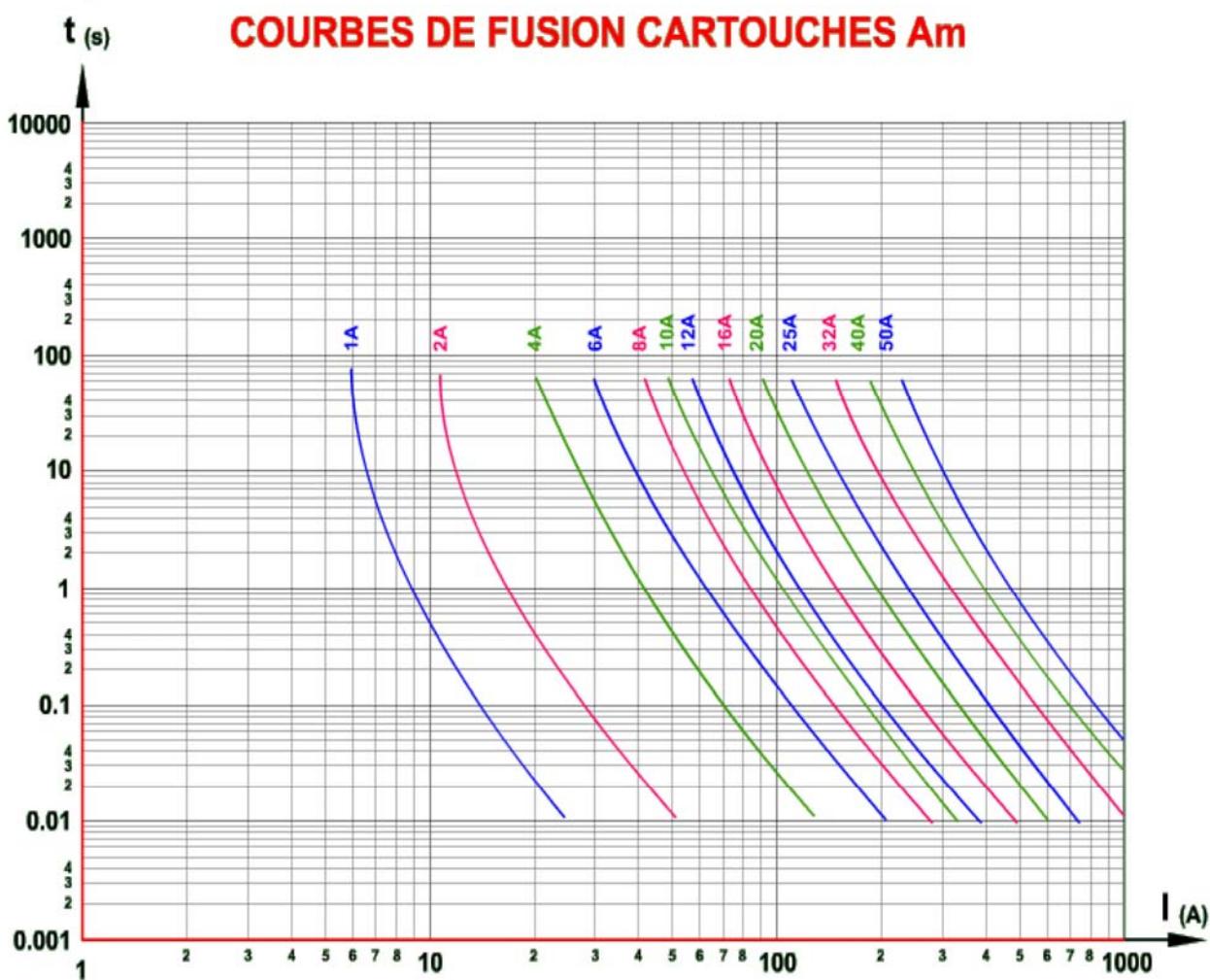
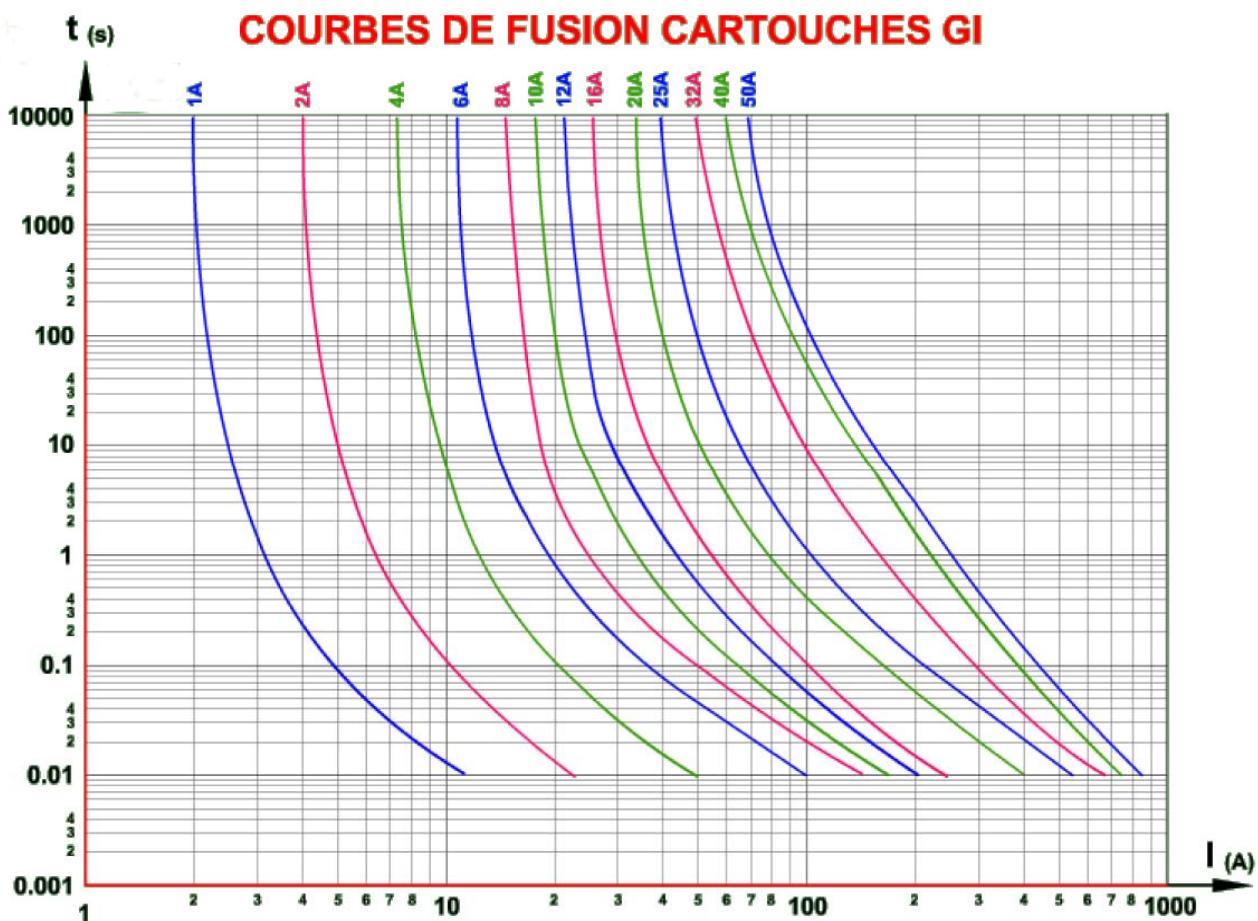
		
aM	gG	UR
Types de récepteurs : Moteur	Types de récepteurs : Résistance etc.	Types de récepteurs : Composant Semi-conducteur
Couleur : Vert	Couleur : Noir	Couleur : Rouge
Tous disposent d'un pouvoir de coupure		
Critères de choix : récepteur, taille, calibre, tension, pdc		

Type :gG gI



Type :aM





C-APPARAILLAGE DE COMMANDE

a. Fonction : Etablir et interrompre l'énergie

Cette fonction est généralement dévolue au contacteur. Celui-ci permet un pilotage automatique via son circuit de commande.

Le contacteur est un appareil de commande capable *d'établir ou d'interrompre le passage de l'énergie électrique*. Se trouvant avant l'actionneur dans la chaîne des énergies, ce type de constituant est appelé *préactionneur*.

Il peut être commandé à distance au moyen de contacts actionnés manuellement (bouton poussoir) ou automatiquement (asservi à une grandeur physique : pression, température, vitesse, etc.).



Plusieurs catégories d'emplois sont à respecter suivant les types de récepteur.

AC3 : Moteur à cages...

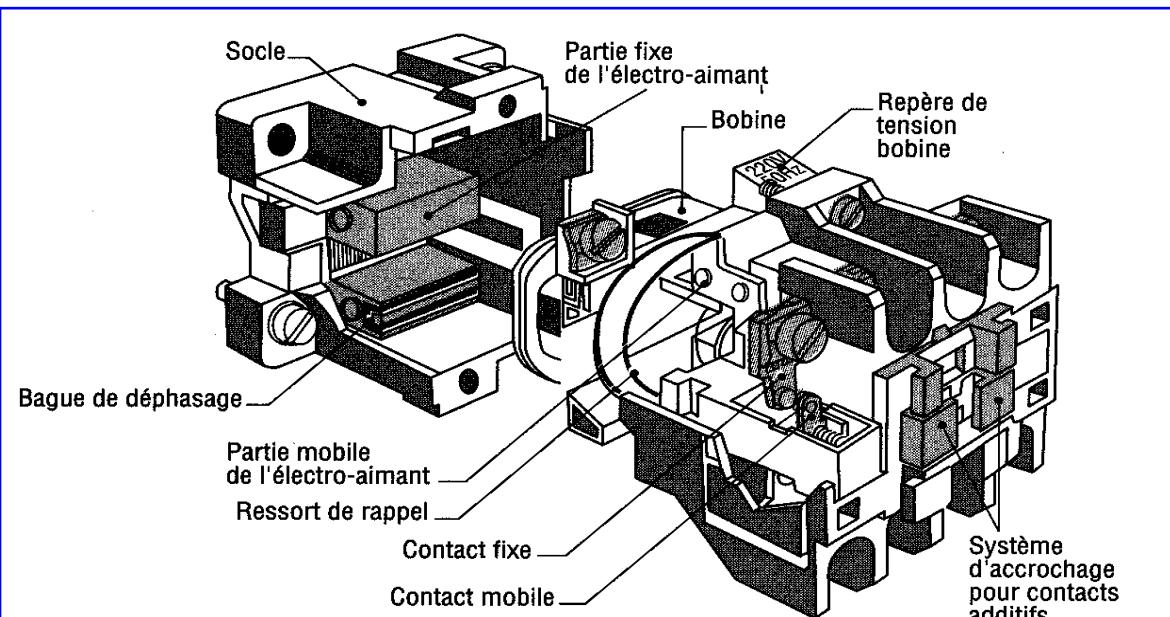
AC1 : Chauffage, éclairage...en AC

DCi : Emploi en continu.

⊕ Catégories d'emplois

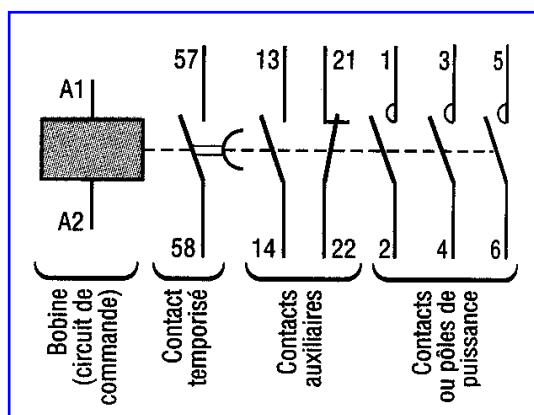
	Catégorie	Récepteur	fonctionnement	Type de récepteur
Alternatif	AC 1	Four à résistances	Charges non inductives ou faiblement inductives	Résistif ou $\cos \varphi > 0,95$ Démarrage et freinage des moteurs à cage ($Id = 2,5 \text{ In}$)
	AC 2	Moteur à bagues	Démarrage, inversion de marche	Démarrage et freinage à contre-courant des moteurs à bagues ($Id = 2,5 \text{ In}$)
	AC 3	Moteur à cage	Démarrage, coupure du moteur lancé	Démarrage et coupure moteur lancé. Moteur à cage.
	AC 4	Moteur à cage	Démarrage, inversion, marche, marche par à-coups	Coupure moteur à cage calé ($I_{coupure} = 7 \text{ à } 8 \text{ In}$)
continu	DC 1	Résistance	Charges non inductives	
	DC 2	Moteur shunt	Démarrage, coupure	
	DC 3		Démarrage, inversion, marche, marche par à-coups	
	DC 4	Moteur série	Démarrage, coupure	
	DC 5		Démarrage, inversion, marche, marche par à-coups	

⊕ Constitution



- Des pôles principaux de puissance,
- Des contacts auxiliaires (possibilité d'ajouter au contacteur un bloc de contacts auxiliaires instantanés ou temporisés).
- une armature fixe et une autre mobile,
- Un ressort de rappel,
- Un circuit magnétique feuilleté de manière à réduire les pertes par courant de Foucault (dues à la présence d'un flux d'induction magnétique alternatif)
- Une bobine (insérée dans le circuit de commande). Si la bobine est alimentée en courant alternatif le courant d'appel sur le circuit de commande lors de la fermeture du contacteur peut atteindre 6 à 10 fois le courant de maintien (utile pour le choix du transformateur de commande...). Une bobine peut être alimentée en courant continu, ce qui accroît la force d'attraction de l'électro-aimant constitué par la bobine et l'armature fixe.
- Une "*spire de frager*" ou "*bague de déphasage*" qui évite les vibrations dues à l'alimentation en courant alternatif de la bobine du contacteur.

Symbole d'un contacteur

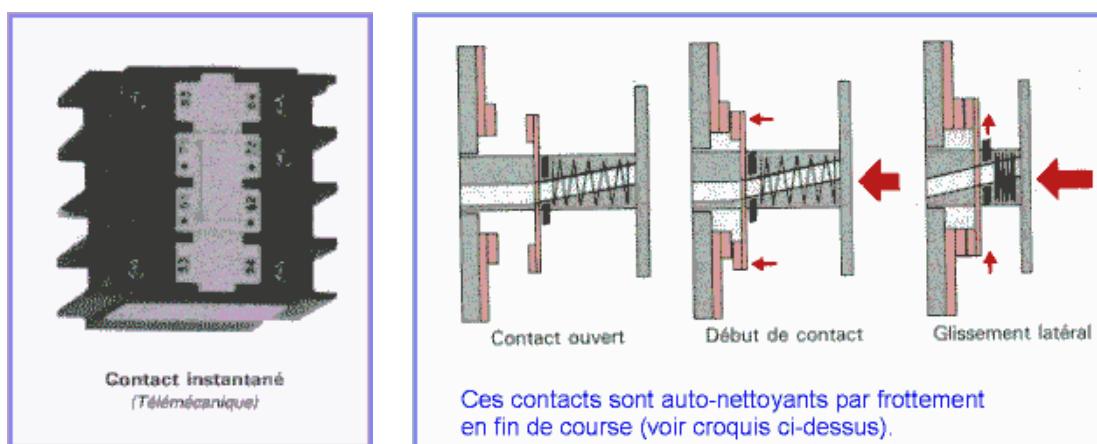


Les contacts auxiliaires instantanés et temporisés

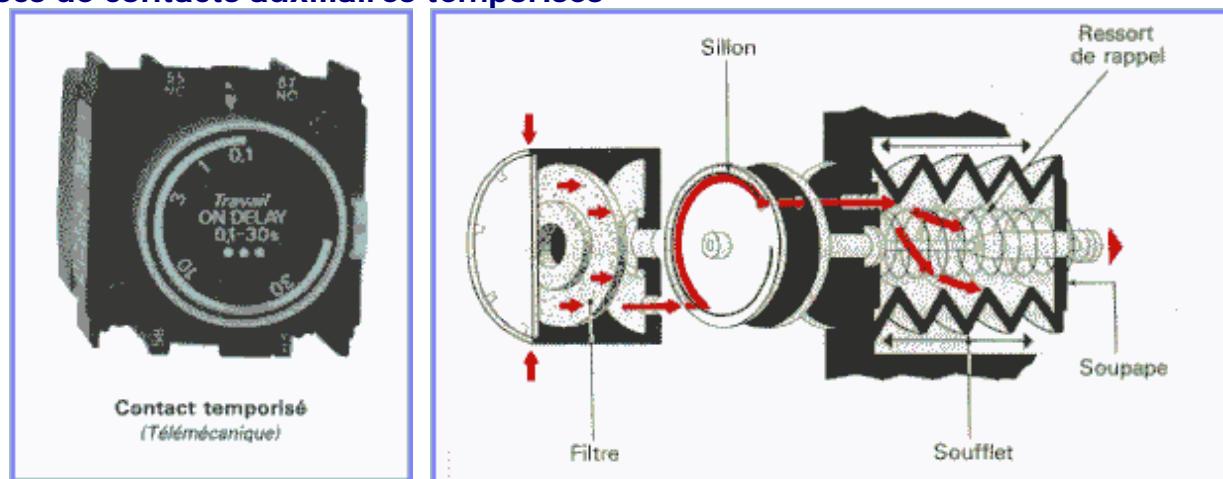
Les principales fonctions des contacts auxiliaires sont :

- réaliser l'auto alimentation (fonction mémoire),
- les verrouillages électriques,
- les asservissements,
- la logique de commande...

Bloc de contacts auxiliaires instantanés



Blocs de contacts auxiliaires temporisés



Caractéristique et choix

Les caractéristiques d'un contacteur sont :

- La tension d'emploi assignée ;
- Courant d'emploi assigné ;
- Fréquence assignée ;
- Catégorie d'emploi ;
- Facteur de marche ;
- Fréquence de manœuvre ;
- Endurance électrique.

Durée de vie d'un contacteur :

Lorsque le contacteur est employé sous tension et courant nominal, la grandeur qui donne sa durée de vie est la durée de vie électrique. A l'aide d'abaques constructeur, et connaissant le courant d'emploi de la charge, on est capable d'estimer la durée de vie en millions de cycles de manœuvre.

Tableau de durée de vie électrique d'un contacteur en AC1 :

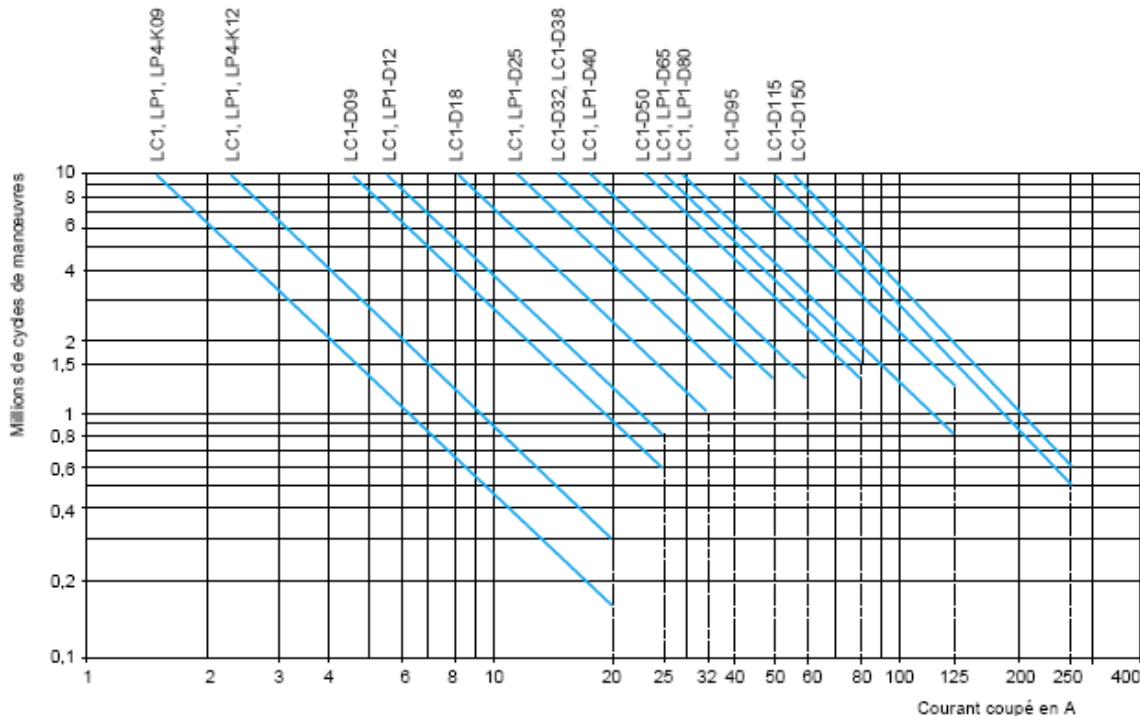
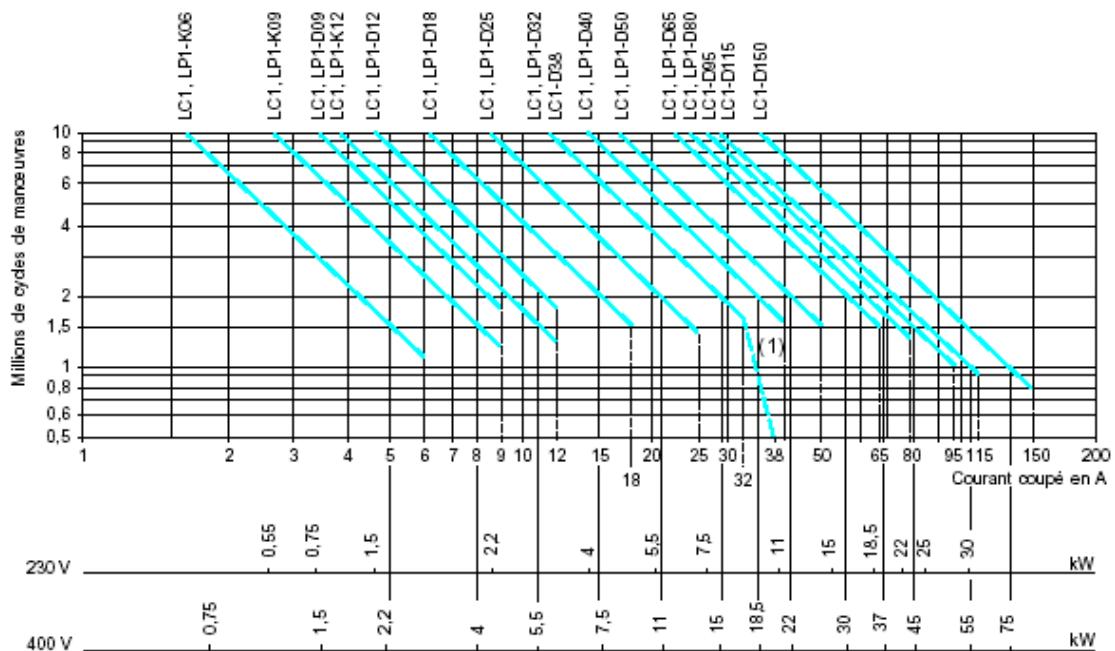


Tableau de durée de vie électrique d'un contacteur en AC3 :



Principales règles de schéma électrique et de câblage

Au cours de l'étude du thème qui vous est proposé et que vous présenterez au BTS vous allez être amené à produire des schémas électriques répondant aux normes de sécurité. Toutes les mesures de sécurité ont leur importance mais certaines règles de base doivent être connues par cœur.

1. Consignation / Déconsignation

Toute armoire électrique doit pouvoir être consignée et déconsignée. En tant que titulaire d'une habilitation BR (qui vous sera délivrée par votre futur employeur) vous êtes habilité à intervenir sur des équipements électriques et procéder entre autres à des opérations de consignation et déconsignation pour vous même. En tête de l'équipement on doit trouver un **interrupteur sectionneur** cadenassable permettant de consigner ou de déconsigner l'équipement tout entier de l'extérieur de l'armoire électrique.



Interrupteur sectionneur tripolaire à commande rotative



Bloc de contacts de puissance tripolaire
+ barre de N
(possibilité d'ajouter barre de PE et 2 contacts de commande)



Interrupteur sectionneur tétrapolaire à fusibles

2. Signalisation

Les différents états de l'équipement doivent être signalés par une colonne lumineuse dont les couleurs ont une signification définie:

- verrine incolore: présence tension sur le système
- verrine orange: système consigné
- verrine rouge: système déconsigné



Balise lumineuse



Verrine



Colonne lumineuse et sonore

3. Protection différentielle

Tout équipement ou système électrique doit être doté d'un appareil de protection des personnes à **DDR** (disjoncteur ou interrupteur) suivant le schéma de liaison à la terre auquel il est soumis.

Les protections des biens et matériels sont dimensionnés en fonction des récepteurs à alimenter.



Disjoncteur différentiel bipolaire



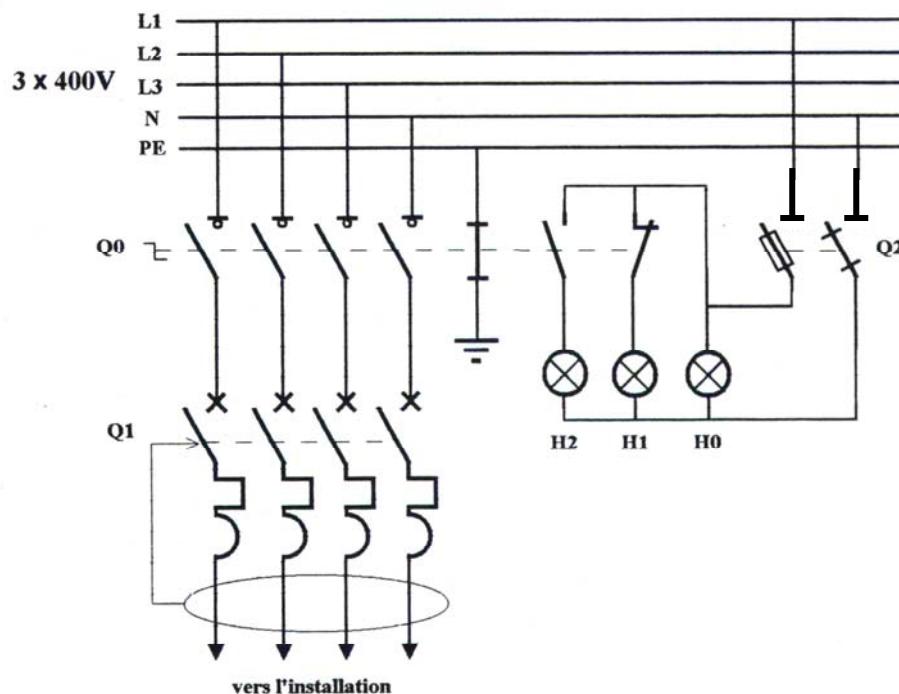
Interrupteur différentiel tripolaire



Relais vigirex

4. Schéma électrique

Tout schéma d'équipement électrique doit commencer selon le modèle ci-dessous:



5. Alimentation du coffret

Le coffret électrique doit être alimenté par un câble 5 conducteurs (3 phases + neutre + PE) ou 4 conducteurs (3 phases + PE) raccordé **directement en amont de l'interrupteur sectionneur général sans passer par le bornier**. L'entrée du câble d'alimentation dans le coffret doit être faite par presse-étoupe. Le passage de ce câble dans les goulottes est interdit et son identification doit être claire.

6. Couleur des conducteurs

Suivant la fonction et la nature du réseau dans lequel le conducteur est placé, celui-ci a une couleur définie par la norme:

- **noir**: circuit de puissance (alternatif et continu)
- **rouge**: circuit de commande (alternatif)
- **bleu**: circuit de commande (continu)
- **bleu clair**: neutre des circuits de puissance (quand ils ne sont pas utilisés pour lamise à la terre)
- **orange**: circuit de commande en permanence sous tension
- **vert/jaune**: protection électrique

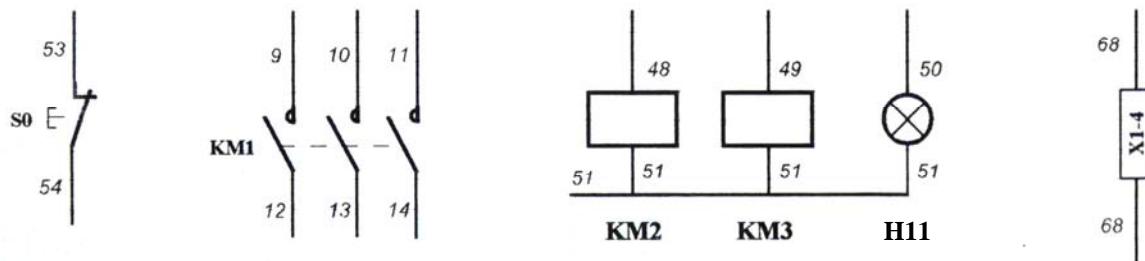
7. Repérage des conducteurs

Chaque conducteur doit porter un repère correspondant à celui du schéma électrique.

7.1 Repérage équivalent

C'est le plus simple à mettre en œuvre. Tous les conducteurs toujours soumis au même potentiel portent un même numéro. Le numéro change lorsqu'il y a possibilité d'ouverture du circuit.

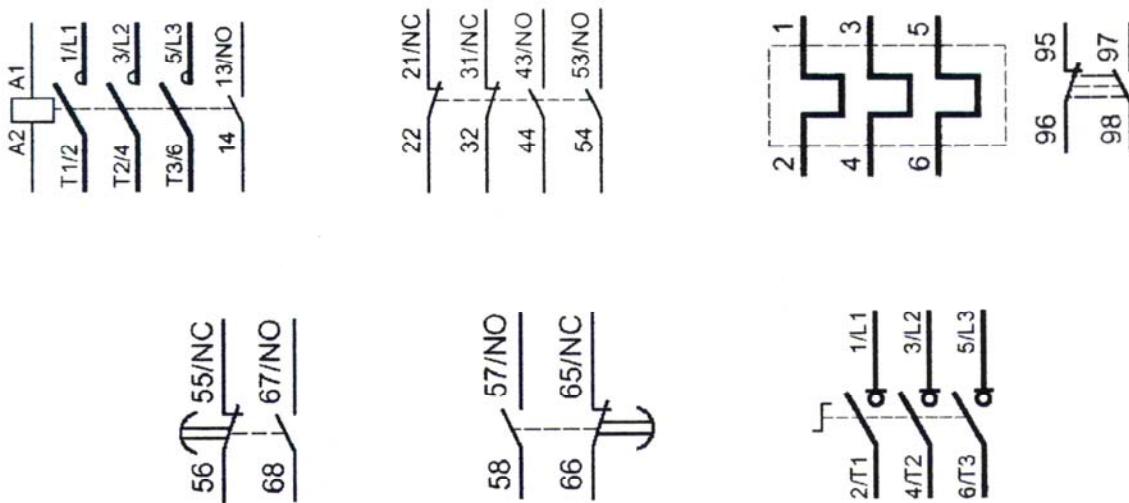
Exemples:



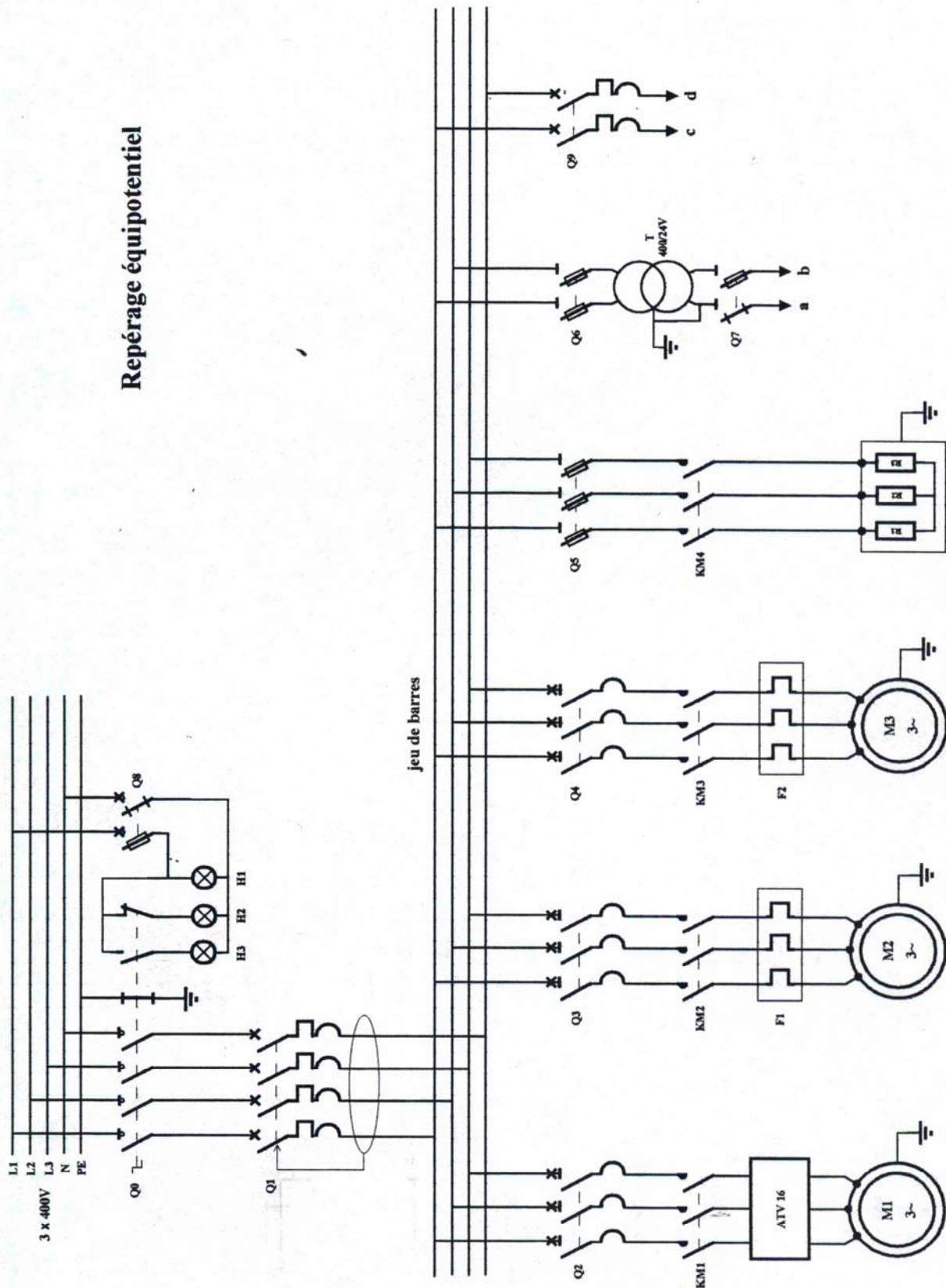
7.2 Repérage dépendant du matériel

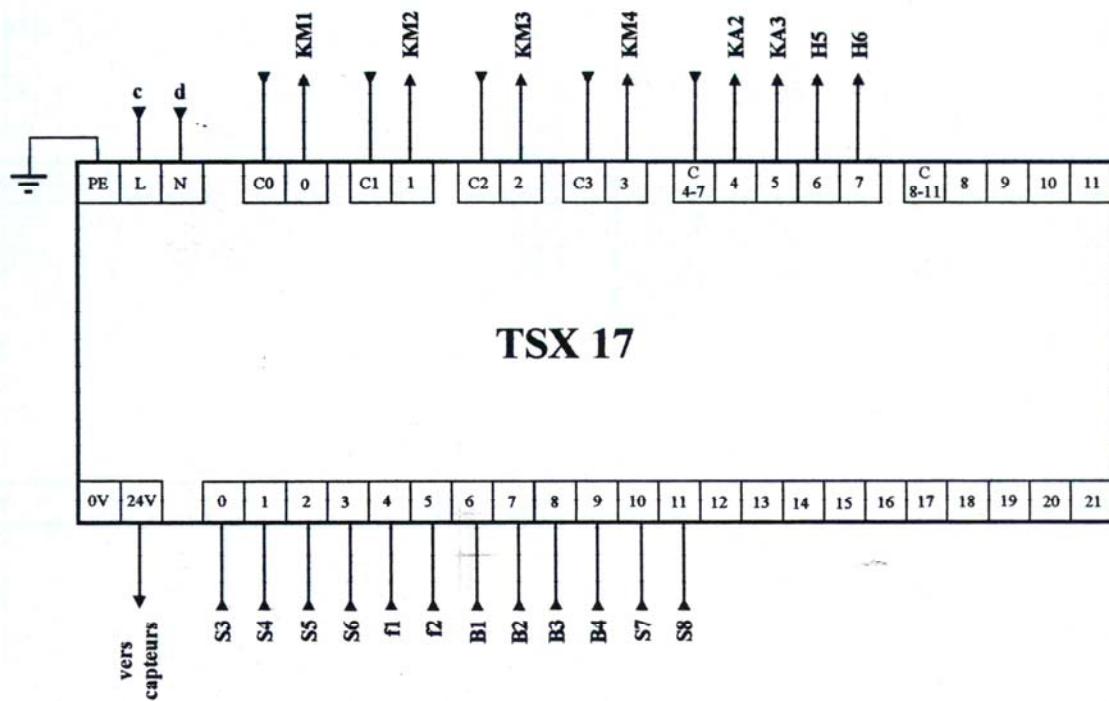
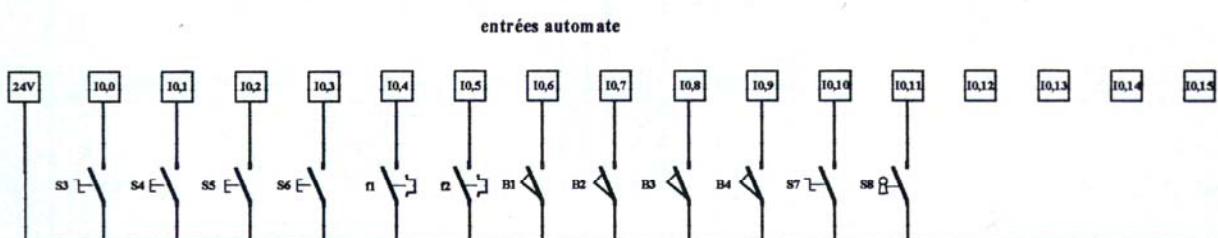
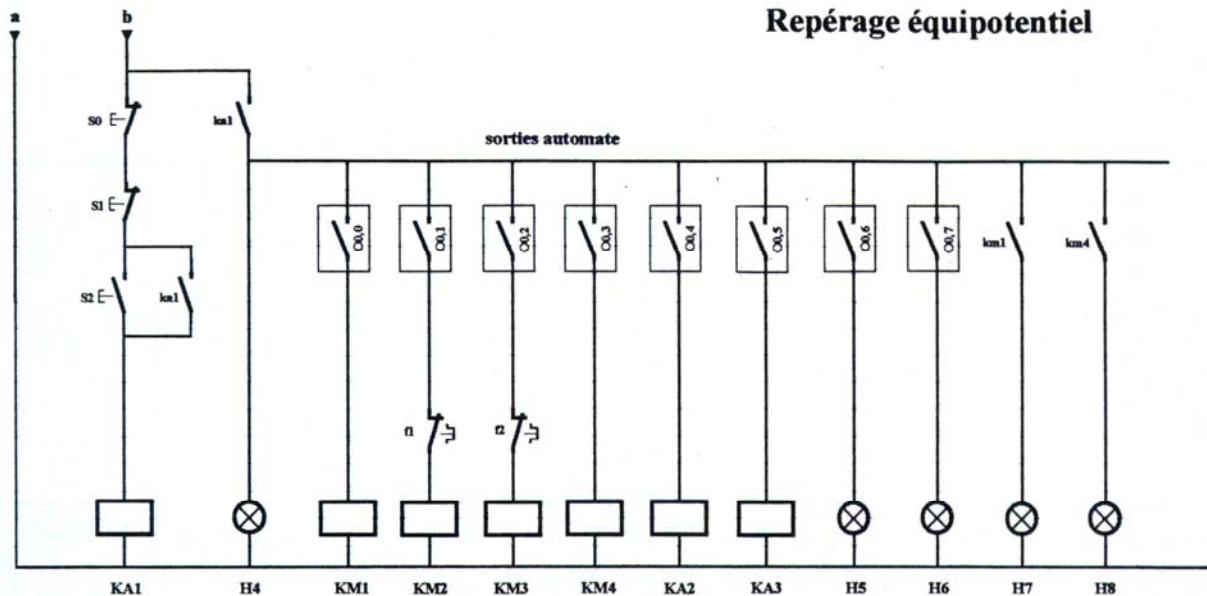
La méthode consiste à affecter aux conducteurs les numéros de repères donnés aux matériels par les constructeurs. Un adressage est nécessaire pour ne pas confondre les conducteurs raccordés sur du matériel similaire.

Exemples:

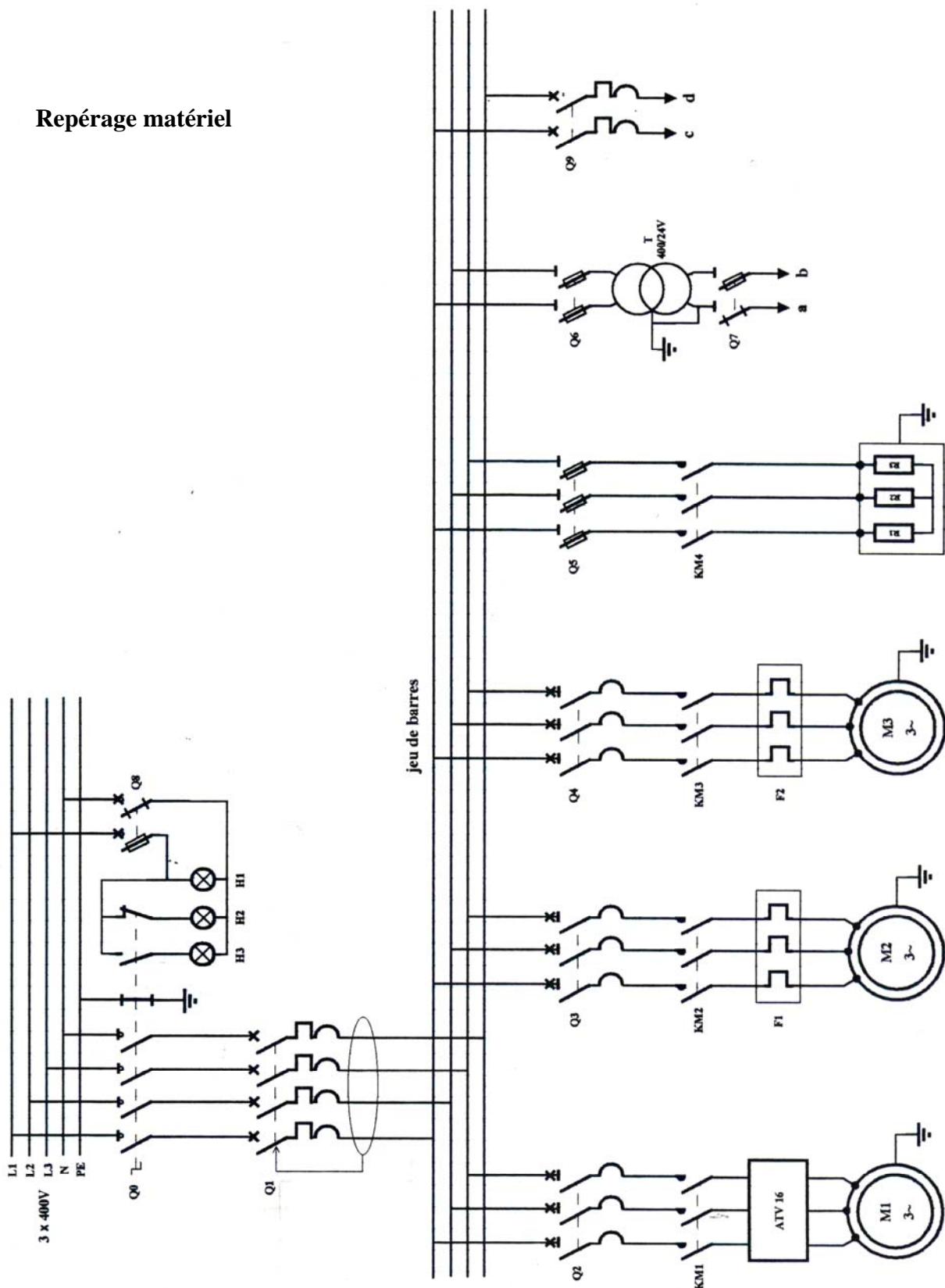


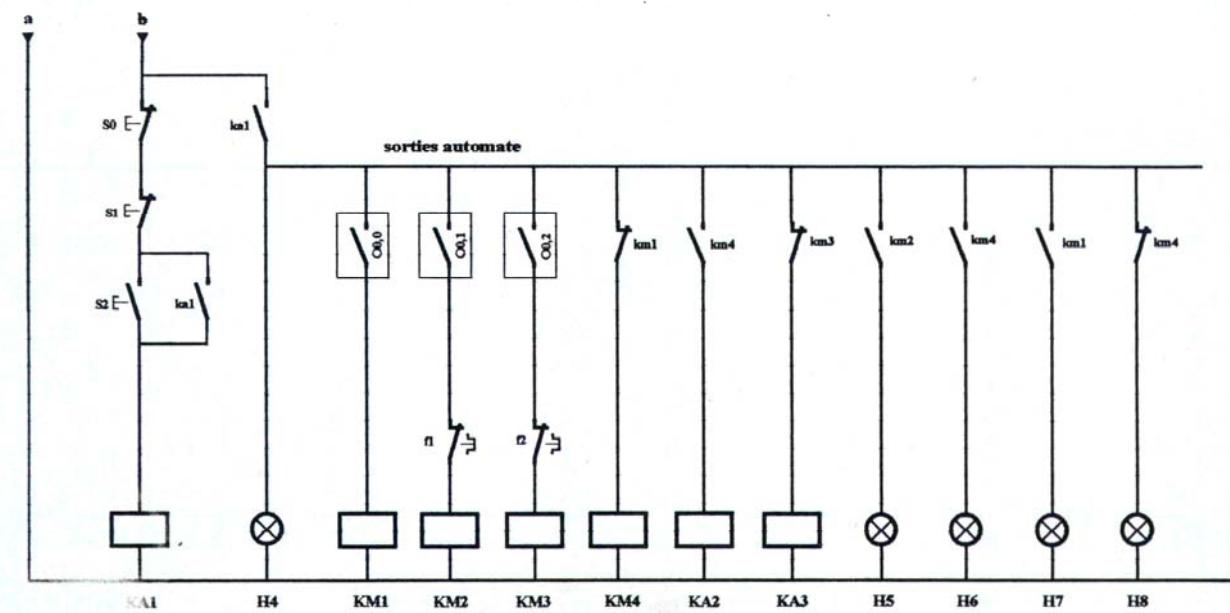
Repérage équipotentiel





Repérage matériel



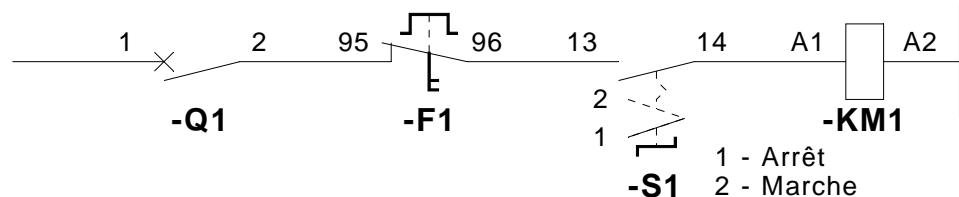


Schémas de base pour contacteurs

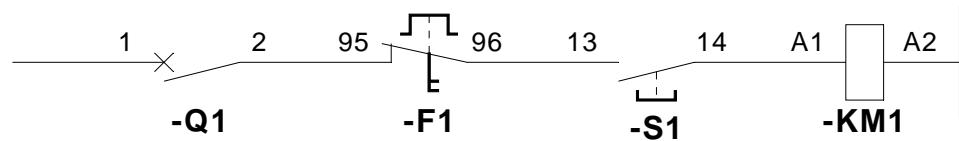
1. Commande d'un contacteur

1.1. Commande manuelle d'un contacteur

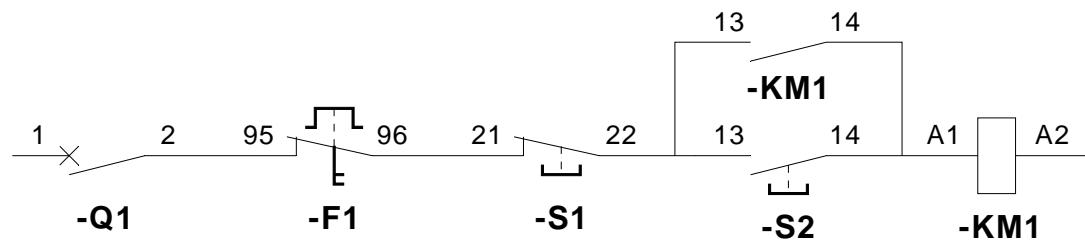
Par bouton tournant



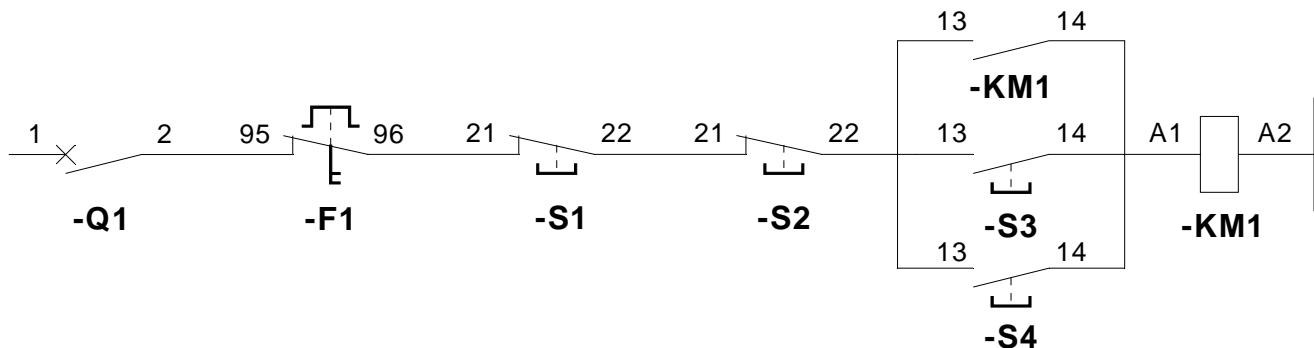
Par bouton poussoir à impulsion



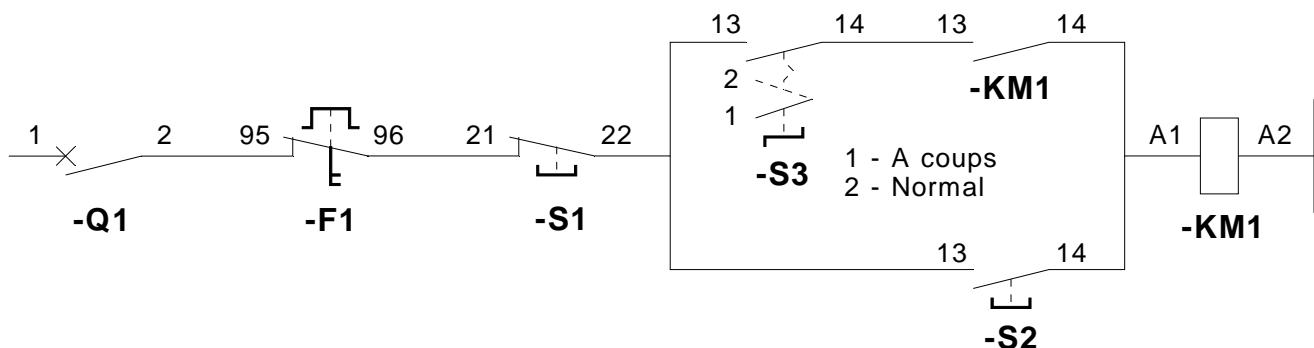
Par deux boutons poussoir à impulsion



Par plusieurs boutons poussoir à impulsion

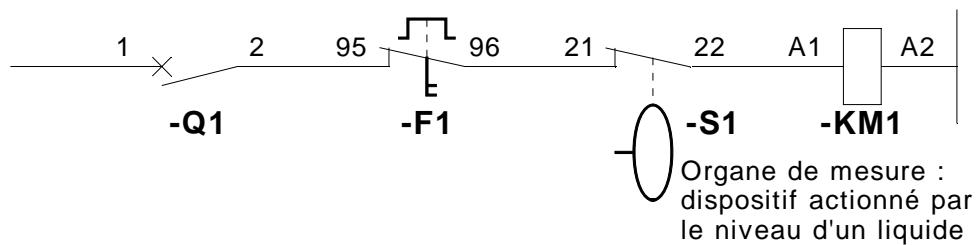


Normal – A coups

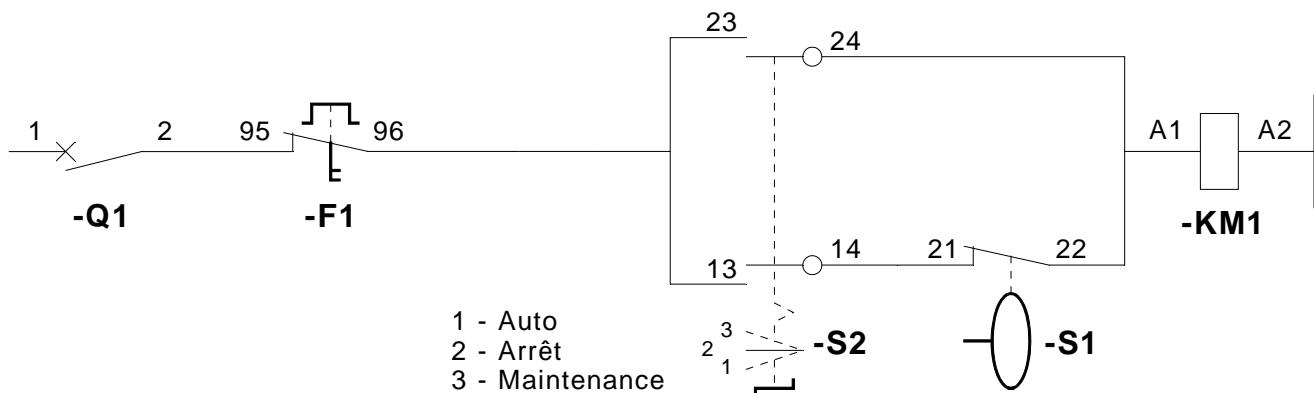


1.2. Commande automatique d'un contacteur, ou automatique et manuelle associées

Automatique



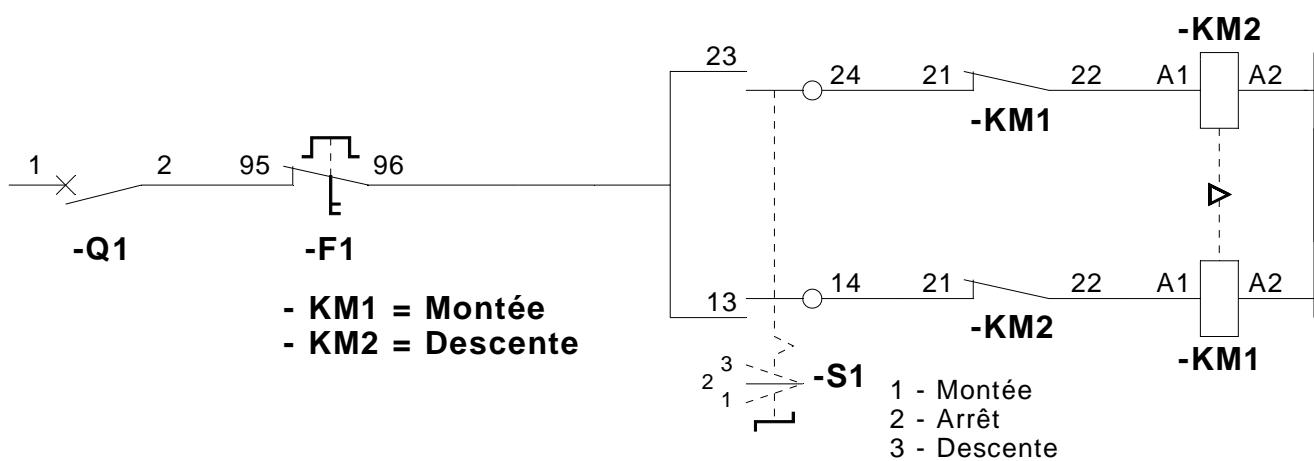
Automatique ou manuelle par bouton tournant "auto – arrêt – maintenance"

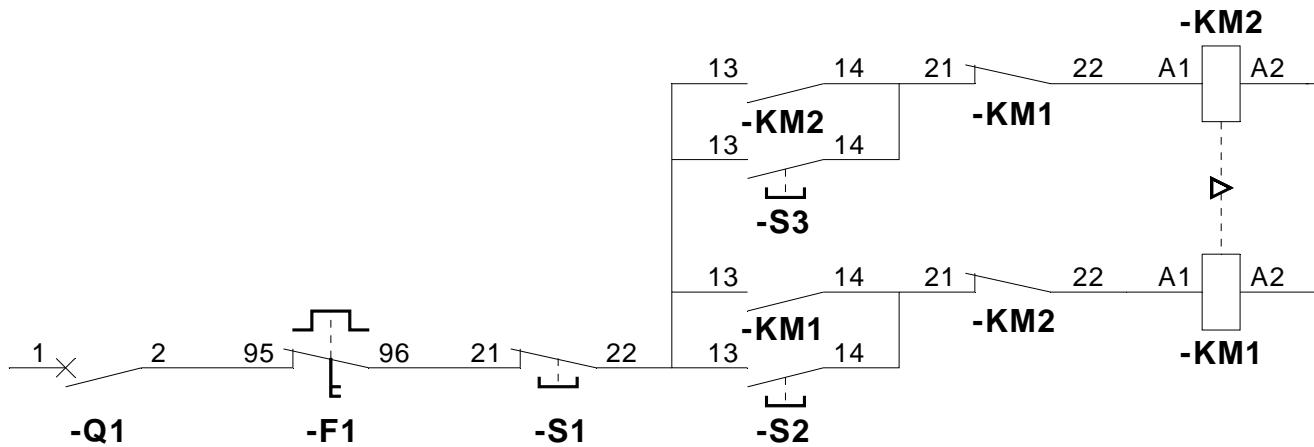
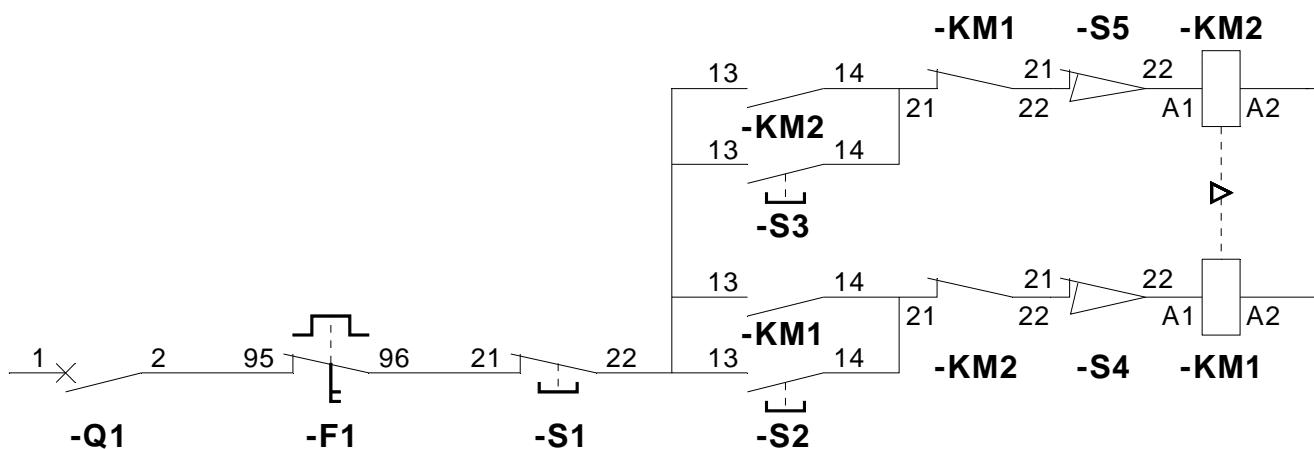


2. Commande de deux contacteurs

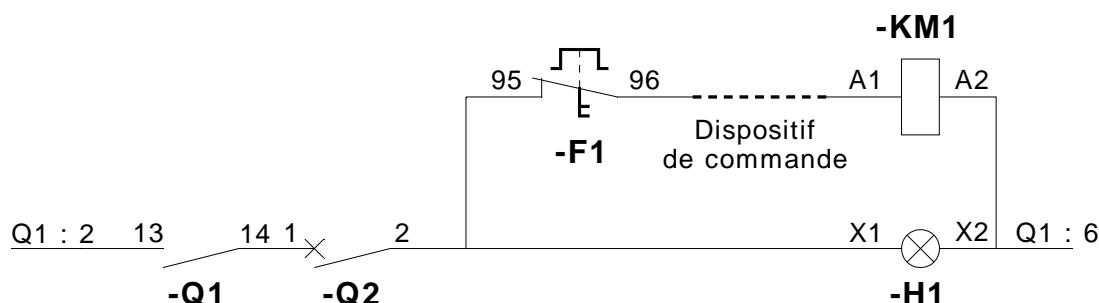
2.1. Commande manuelle de deux contacteurs

Par bouton tournant



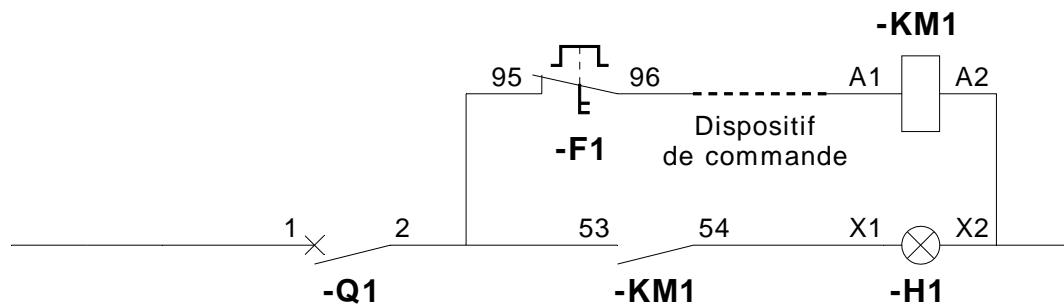
Par boutons poussoir à impulsion**2.2. Commandes manuelle et automatique associées de deux contacteurs****Par boutons poussoir à impulsion et interrupteurs de position****3. Signalisation****3.1. Signalisation lumineuse****Par voyant "sous tension"**

Un voyant lumineux indique la mise sous tension de l'installation qui s'effectue généralement par l'intermédiaire d'un sectionneur porte fusible placé en amont.

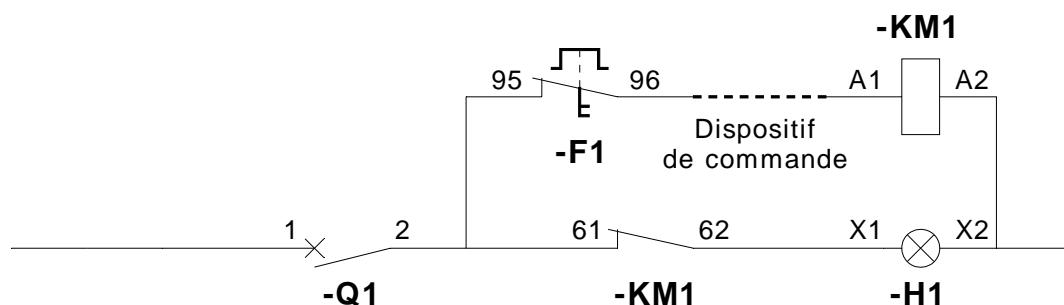


Par voyant "marche"

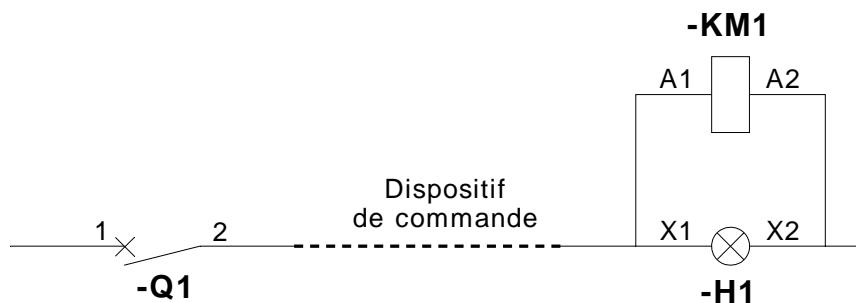
Le voyant signale la fermeture d'un contacteur.

**Par voyant "arrêt"**

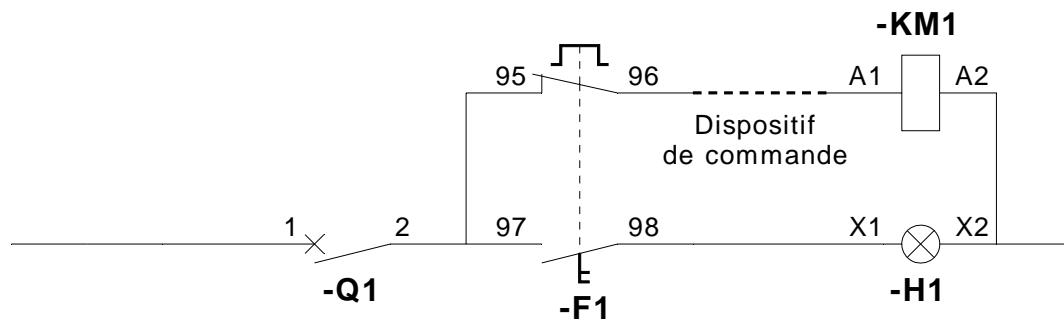
Contrairement au cas précédent, c'est l'ouverture du contacteur qui est signalée.

**Par voyant raccordé aux bornes du récepteur**

Le voyant de signalisation est raccordé directement aux bornes du récepteur dont il signale la mise sous tension. Ce dispositif permet d'économiser un contact mais, si le récepteur est inductif, la surtension qui se produit au moment de la coupure risque de détériorer la lampe. L'utilisation d'un voyant équipé d'un transformateur ou d'une lampe au néon évite cet inconvénient.

**Par voyant "défaut"**

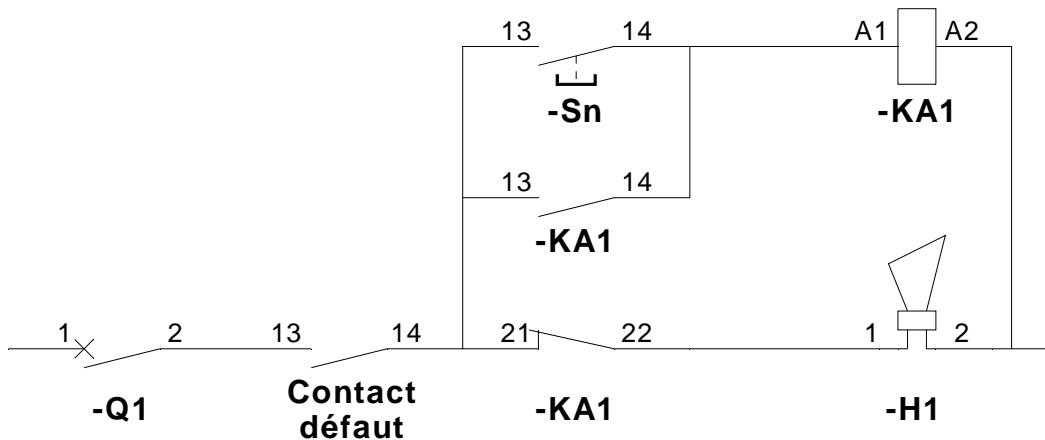
C'est le déclenchement du relais assurant la protection du récepteur qui est signalé. Le contact qui commande le voyant est incorporé, soit d'origine, soit par adjonction sur le relais de protection.



3.2. Signalisation sonore

Par avertisseur sonore avec "acquit"

Le contact de défaut actionne un avertisseur sonore qui reste sous tension tant que n'a pas été actionné le bouton poussoir "acquittement".



CHAPITRE

LES SCHEMAS DE LIAISON A LA TERRE

Fonction protéger les personnes

I INTRODUCTION

La protection des travailleurs contre les courants électriques, impose aux utilisateurs la surveillance de l'isolement des réseaux par rapport à la terre afin d'éviter les risques d'électrisation pouvant apparaître lors du contact avec les masses portées accidentellement sous tension.

Cette montée en potentiel se produit lors du passage d'un courant de défaut à travers une prise de terre dont la résistance n'est jamais nulle.

La distribution de l'énergie électrique, en courant alternatif triphasé avec neutre permet, selon les types d'installation, des combinaisons neutre-masse qui optimisent la protection.

Quel que soit le régime du neutre, tout défaut terre susceptible de développer une tension de contact supérieure à 12, 25 ou 50 V (selon le type de local) devra être éliminé par les dispositifs de protection en un temps inférieur ou égal à celui défini par les courbes de sécurité (voir cours de première).

II LES SCHEMAS DE LIAISONS A LA TERRE

Les connexions des masses des récepteurs et celle du point neutre du transformateur sont normalisées et porte le nom plus général de régime de neutre de l'installation.

La classification s'effectue par un repère de deux lettres indiquant :

Première lettre	Deuxième lettre
Situation du neutre par rapport à la terre	Situation des masses de l'installation
T Liaison directe du neutre à la terre	T Liaison des masses à une prise de terre
I Absence de liaison du neutre à la terre, ou liaison par l'intermédiaire d'une impédance	N Liaison des masses au neutre

Les trois régimes normalisés sont :

TT	Neutre à la terre, masses à la terre
TN	Neutre à la terre, masse au neutre
IT	Neutre isolé ou impédant, masse à la terre

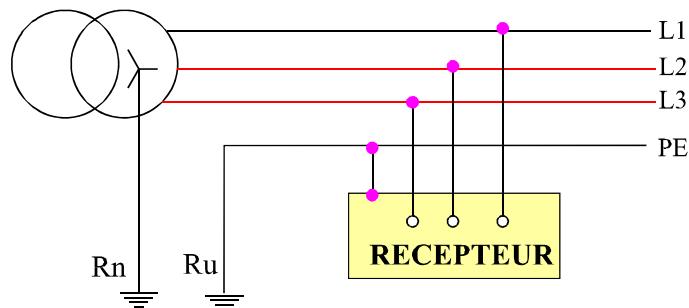
L'application du décret et des normes, dans les installations électriques basse tension, se pose en des termes différents selon le régime de neutre utilisé. Il est donc indispensable d'examiner les trois types de régime de neutre.

Il convient d'étudier, dans chacun des cas, quelles sont les meilleures solutions et les appareils à utiliser pour que l'installation ne présente plus de danger.

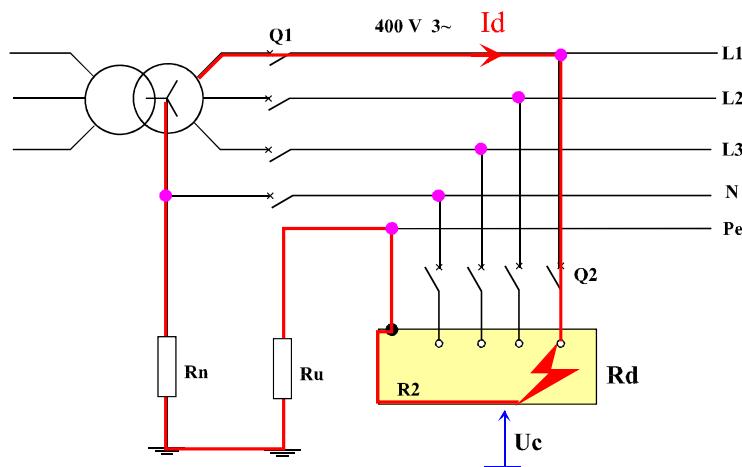
II.1 NEUTRE A LA TERRE TT

Dans ce système de production :

le neutre de la source d'alimentation est mis à la terre
les masses sont reliées entre elles et mise à la terre



a°) Etude d'un défaut d'isolement :



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

Soit : $R_d = \text{Résistance de défaut } 0 \Omega$

$R_n = \text{Résistance de la prise de terre du neutre } 10 \Omega$

$R_u = \text{Résistance d'utilisation de la prise des masses } 20 \Omega$

Pour le calcul, la norme C15-100 prend l'hypothèse que lors de l'apparition d'un défaut franc ($R_d = 0$), la tension a chuté de 20% au point où est installé le dispositif de protection.

$$\text{Il s'établit dans le circuit un courant de défaut : } Id = \frac{V}{R_d + R_n + R_u} = \frac{230}{30} = 7.66A$$

Une personne touchant la masse en défaut sera soumise à un potentiel de défaut U_c .

$$\text{La tension de contact } U_c = R_u * Id = 20 * 7.66 = 153.34V$$

**on peut s'apercevoir que la tension de défaut est dangereuse pour les personnes.
Aussi, est-il imposé de déclencher au premier défaut.**

Il convient de vérifier deux points :

que l'appareil chargé d'éliminer le courant de défaut déclenche bien pour ce courant, qu'il déclenche dans un temps compatible avec le temps donné par la courbe de sécurité.

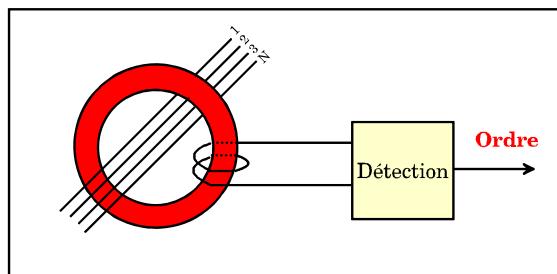
Le circuit en défaut est protégé contre les surintensité par un appareil de protection (fusible ou disjoncteur magnéto-thermique). Celui-ci voit passer, le courant d'emploi I_b plus, sur une phase, le courant I_d . L'ordre de grandeur de I_d le fait situer dans le domaine des surcharges.

Ainsi pour le disjoncteur, le déclenchement thermique donnera l'ordre de déclenchement dans un temps trop long (quelques secondes). Or le temps maximal permis est de 120 ms (donné par la courbe de sécurité). Par conséquent nous ne pouvons pas compter sur la protection contre les surcharges.

Le déclenchement, obligatoire lors du premier défaut, doit être éliminé par un dispositif différentiel à courant résiduel situé en tête de l'installation ou éventuellement sur chaque départ pour améliorer la sélectivité.

b°) Rappel sur le principe des dispositifs à courant résiduel (DDR)

Il s'agit d'un transformateur de courant, type tore, qui enserre les trois conducteurs de phase et le neutre.



Dans un circuit sans défaut, la somme vectorielle des courants primaires est nulle :
 $\vec{I}_1 + \vec{I}_2 + \vec{I}_3 + \vec{I}_N = 0$

Lors d'un défaut terre, la relation sur les courants devient : $\vec{I}_1 + \vec{I}_2 + \vec{I}_3 + \vec{I}_d = \vec{I}_d$

Le seuil de réglage (fixe ou réglable sur certains appareils) est appelé $I_{\Delta n}$
La norme de construction de ces dispositifs tolère une certaine plage de fonctionnement, soit :

$$\begin{array}{l|l} I_d \geq I_{\Delta n} & \text{déclenchement} \\ I_d \leq \frac{I_{\Delta n}}{2} & \text{non déclenchement} \end{array}$$

Dès que la tension de contact dépasse la tension limite conventionnelle U_L (seuil de tension dangereuse) l'ordre de déclenchement doit être donné.

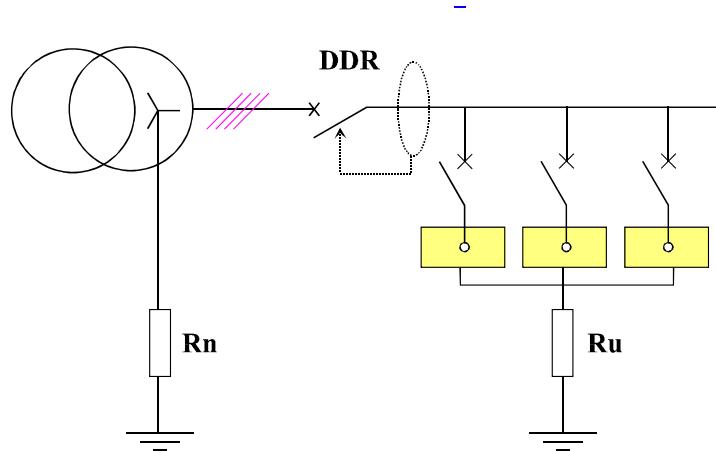
Cela correspond à un courant $I_d = \frac{U_L}{R_u}$

Le seuil auquel le DDR pourra être réglé est : $I_{\Delta n} = \frac{U_L}{R_u}$

c°) Emplacement des DDR

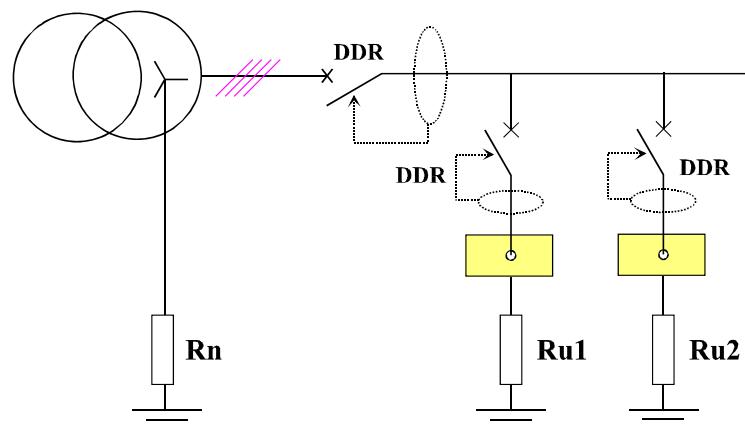
1^{er} cas :

Toutes les masses d'utilisations sont interconnectées :



2^{eme} cas :

Toutes les masses d'utilisation ne sont pas interconnectées à une même prise de terre R_u



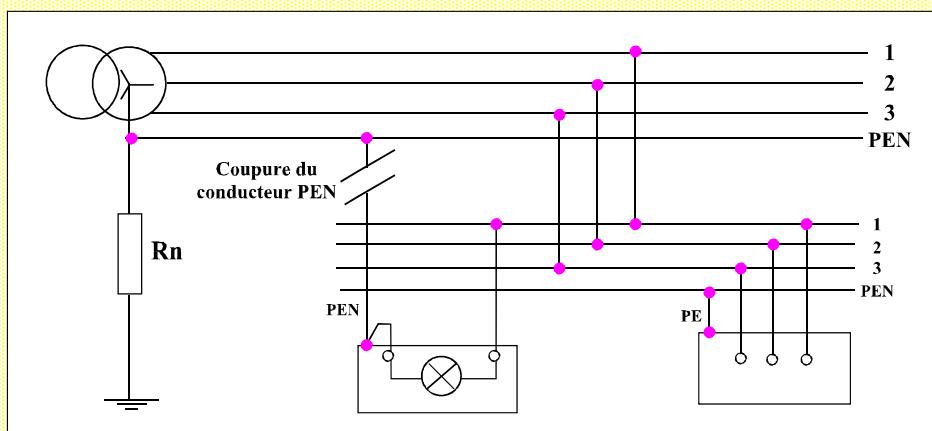
II.2 MISE AU NEUTRE TN

Le point neutre du transformateur est relié à la terre par une prise de terre et aux masses de l'installation. Suivant la composition de cette liaison, on distingue deux types de montage :

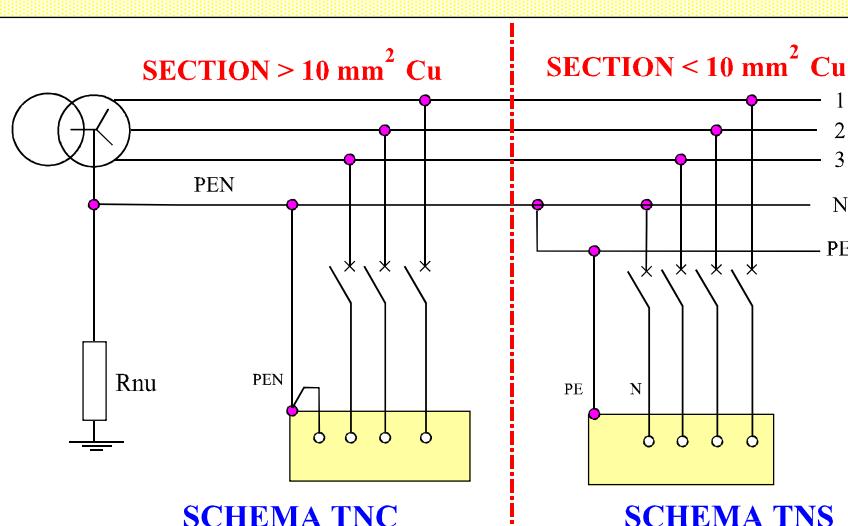
Montage TNS : le conducteur de neutre et le conducteur de protection sont distincts et forment un circuit à 5 conducteurs. Appareillage de protection uniquement tétrapolaire.

Montage TNC : le conducteur de neutre et le conducteur de protection sont confondus et forment un circuit à 4 conducteurs. On utilisera un appareillage de protection tripolaire. Le conducteur de protection PE ne doit en aucun cas être coupé.

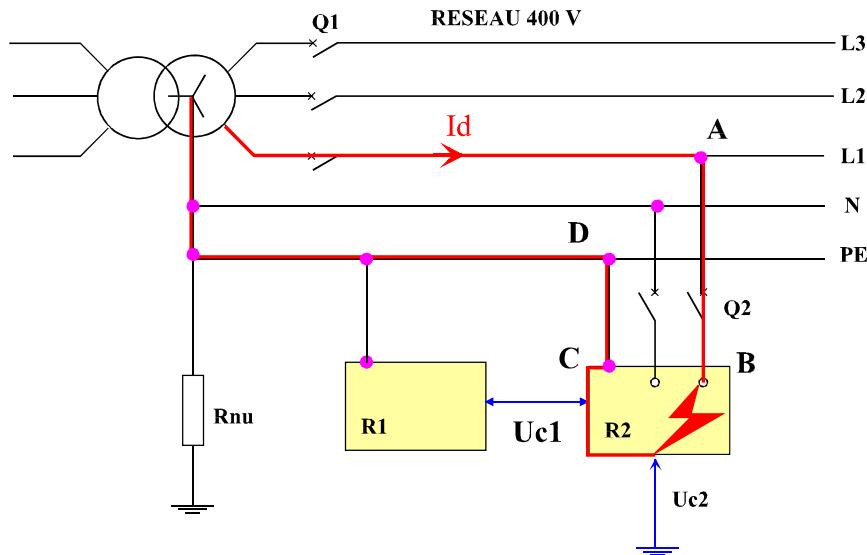
Il convient cependant de signaler que dans ce cas, si accidentellement le PEN est coupée, toutes les masses en aval de ce PEN se trouvent portées à la tension simple dès qu'un récepteur monophasé est branché sur le réseau.



Ce risque est jugé intolérable lorsque les conducteurs sont de faibles sections (inférieure à 10 mm^2 Cu ou 16 mm^2 Al) et donc mécaniquement fragile. Dans ce cas, les normes imposent de séparer le neutre du PE, et on trouve alors le schéma 5 fils classique appelé schéma TNS (conducteur de protection et conducteur de neutre séparé).



a°) Etude d'un défaut d'isolement :



La formule pratique du courant de court-circuit permet d'écrire que : $I_{cc} = \frac{V}{Z_{cc}}$

En première approximation, on peut ne considérer que la résistance des lignes. De ce fait, $Z_{cc} = R = \rho * \frac{l}{s}$

En considérant une ligne de cuivre de 20 m de longueur et de 20 mm² de section, la résistance de défaut a pour valeur : $R_d = 2 * 22.5 * 10^{-3} * \frac{20}{20} = 45m\Omega$ (impédance de la boucle de défaut AB = CD soit 2R).

Le courant de court-circuit s'élève à : $I_{cc} = \frac{230}{45.10^{-3}} = 5111.11A$

Les tensions de contacts Uc1 et Uc2 sont donc égales à :

$$U_{c1} = U_{c2} = R * I_{cc} = \frac{R_d * I_{cc}}{2} = \frac{45.10^{-3} * 5111.11}{2} = 115V$$

Donc, en cas de défaut franc, il faut couper immédiatement le circuit en défaut.

b°) Conditions de protections

La protection en régime TN est effectué par disjoncteur ou fusible. Cependant, deux valeurs sont à prendre en compte : l'intensité de défaut par rapport à l'intensité de la protection et le temps de coupure.

| Protection par disjoncteur :

Un disjoncteur assure la protection des personnes dans un schéma TN à condition que le courant de défaut Id soit supérieur au courant de fonctionnement du déclencheur magnétique.

$Id > \text{Imag}$	<table border="0"> <tr> <td style="padding-right: 20px;">Id</td><td>:</td><td>courant de défaut</td></tr> <tr> <td></td><td>:</td><td>courant de réglage du déclencheur magnétique</td></tr> </table>	Id	:	courant de défaut		:	courant de réglage du déclencheur magnétique
Id	:	courant de défaut					
	:	courant de réglage du déclencheur magnétique					

| Protection par fusible :

Un fusible assure la protection des personnes à la condition que le courant de défaut soit supérieur au courant assurant la fusion du fusible.

c°) Longueurs maximales des câbles assurant la protection contre les contacts indirects avec des disjoncteurs et avec des fusibles.

Cette méthode consiste à calculer la longueur maximale d'un câble de section donnée pour que le dispositif de protection contre les surintensités assure aussi la protection contre les défauts indirects.

Pour le calcul, la norme C15-100 prend l'hypothèse que lors de l'apparition d'un défaut franc ($R_d = 0$), la tension a chuté de 20% au point où est installé le dispositif de protection.

Nous avons vu précédemment que $Id = \frac{0.8 * V}{Z_s}$ avec Z_s , impédance du câble, constitué du conducteur de phase et du conducteur de protection, ($R = \rho * \frac{L}{S}$ et $X = k * L$).

$$\text{On pose } Z_s = \rho * \frac{L}{S_{ph}} + \rho * \frac{L}{S_{PE}} = \rho * \frac{L}{S_{ph}} \left(1 + \frac{S_{ph}}{S_{PE}}\right)$$

Si on appelle m le rapport entre la section des phases et la section du conducteur de protection ($m = \frac{S_{ph}}{S_{PE}}$), l'impédance se met sous la forme suivante : $Z_s = \rho * \frac{L}{S_{ph}} * (1 + m)$

Le courant résultant dans la boucle de défaut sera alors :

$$Id = \frac{0.8 * V}{Z_s} = \frac{0.8 * V}{\rho * \frac{L}{S_{ph}} * (1 + m)}$$

Ces temps sont tels que pour les disjoncteurs, c'est le déclencheur magnétique qui doit intervenir (le thermique agissant trop tard), il faut donc : $Id > Im$ ou :

$$Id = \frac{0.8 * V}{Zs} = \frac{0.8 * V}{\rho * \frac{L}{Sph} * (1 + m)} \geq Im \Rightarrow L \leq \frac{0.8 * V * Sph}{\rho * Im * (1 + m)} \Rightarrow m = \frac{Sph}{S_{PE}}$$

Dans le cas où on utilise des fusibles comme moyens de protection, remplacer Im par Ifu .

d°) Que faire si les conditions de protections ne sont pas remplies ?

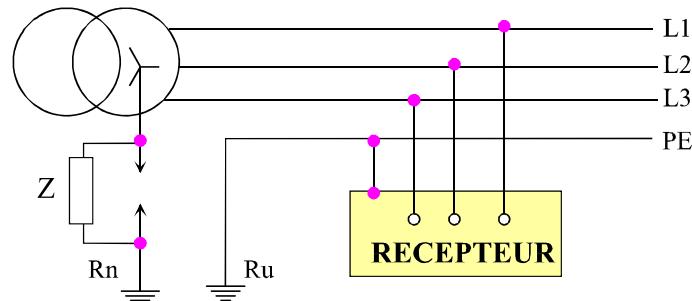
Si les longueurs sont plus grandes que celles autorisées, on peut :

- | augmenter la section des câbles : PE ou Ph + PE
- | diminuer le réglage du magnétique (mais attention à la sélectivité)
- | réaliser une liaison équipotentielle supplémentaire
- | mettre un dispositif différentiel (attention le conducteur PE doit passer à l'extérieur du transformateur tore donc seul le schéma TNS est possible)

II.3 RESEAU A NEUTRE ISOLE (IT)

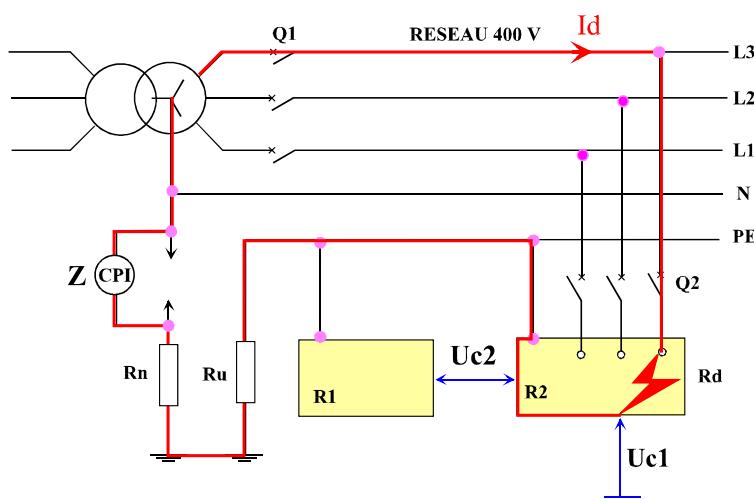
Rappelons que concernant les réseaux à neutre isolé :

le neutre électrique du transformateur est isolé de la terre
les masses d'utilisation sont reliées à la terre



a°) Etude d'un défaut d'isolement

Cas d'un premier défaut :



Impédance d'isolement (CPI) : $Z = 50000 \Omega$

Résistance de défaut : $Rd = 0 \Omega$

Résistance des masses d'utilisation : $Ru = 10 \Omega$

Résistance de la prise de terre du neutre : $Rn = 10 \Omega$

Résistance des conducteurs : $R_{PH3} = R_{PE} = 26 m\Omega$

Le courant de défaut vaut :

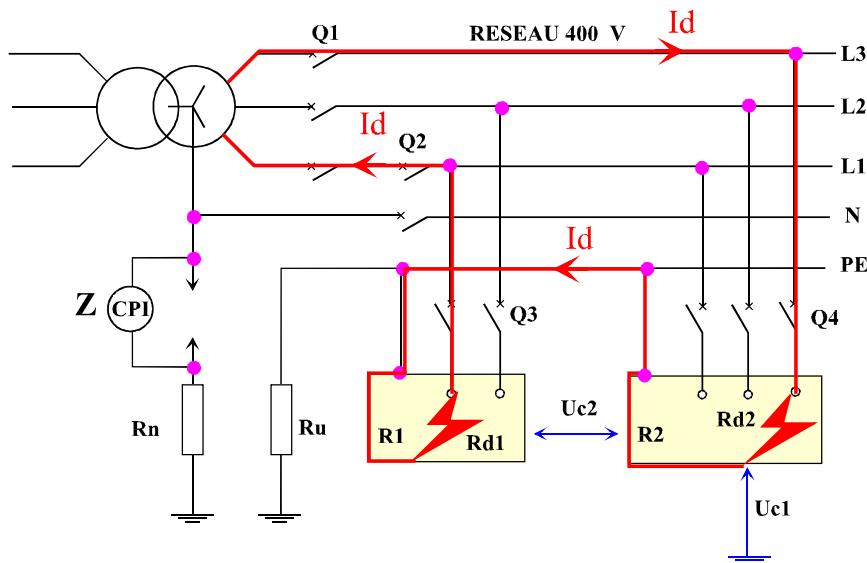
$$Id = \frac{V}{R_{PH3} + Rd + R_{PE} + R_U + R_N + Z} = \frac{230}{26 \cdot 10^{-3} + 0 + 26 \cdot 10^{-3} + 10 + 10 + 50000} = 4.6mA$$

La tension de défaut $Uc1$ sera alors de $Uc1 = (Ru + R_{PE}) * Id \approx 10 * 4.6 \cdot 10^{-3} = 46mV$

La tension de défaut $Uc2$ sera alors de $Uc2 = R_{PE} * Id = 26 \cdot 10^{-3} * 4.6 \cdot 10^{-3} \approx 0V$

Un premier défaut n'est pas dangereux, mais il doit être recherché et éliminé.

Cas d'un second défaut :



On pose :

- | | | |
|----------------------------|---|--|
| Résistance du défaut n°1 | : | $Rd1 = 0 \Omega$ |
| Résistance du défaut n°2 | : | $Rd2 = 0 \Omega$ |
| Résistance des conducteurs | : | $R_{PH1} = R_{PE1} = 11 \text{ m}\Omega$ |
| Résistance des conducteurs | : | $R_{PH3} = R_{PE3} = 26 \text{ m}\Omega$ |

Calcul du courant en défaut :

$$Id = \frac{U}{R_{PH3} + Rd2 + R_{PE3} + R_{PE1} + Rd1 + R_{PH1}} = \frac{400}{0.074} = 5405.4A$$

Calcul de $Uc1$: $Uc1 = R_{PE3} * Id = 26 \cdot 10^{-3} * 5405.4 = 140.6V$

Calcul de $Uc2$: $Uc2 = (R_{PE1} + R_{PE2}) * Id = (11 \cdot 10^{-3} + 26 \cdot 10^{-3}) * 5405.4 = 200V$

Un défaut double se transforme en court-circuit biphasé ou phase phase.

La protection des personnes est alors assurée comme en schéma TN, par les dispositifs de protection contre les surintensités.

Ce régime de neutre ce caractérise par un premier défaut non dangereux donc l'installation peut continuer à fonctionner mais pour un second défaut, l'arrêt est obligatoire.

b°) Protection contre les surtensions

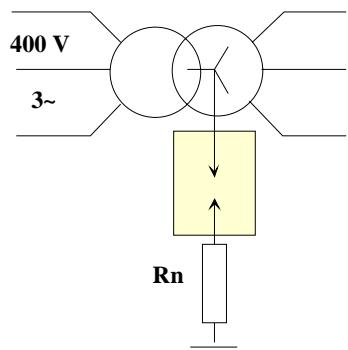
Il y a lieu de préserver les installations BT contre les risques de surtension pouvant entraîner des claquages diélectriques du matériel.

Ces surtensions peuvent provenir :

- | de défaut d'isolement des transformateurs (amorçage entre enroulement primaire et secondaire)
- | de phénomènes atmosphériques (coups de foudre sur une ligne aérienne d'alimentation du poste)
- | de manœuvres de l'appareillage HT.

Le neutre BT étant isolé de la terre, il est obligatoire de pouvoir écouler ces surtensions en installant un limiteur de la tension nominale de l'installation.

| Emplacement des limiteurs



Un limiteur de surtension est obligatoire par transformateur

Pour que la protection soit correctement assurée, le limiteur doit constituer un point faible dans l'installation et réaliser une liaison directe entre les conducteurs actifs et la terre avant l'apparition de tension supérieure à la tenue diélectrique des matériels BT.
La tension, à partir de laquelle le limiteur agit, est dite tension d'amorçage.

| Choix des limiteurs

Deux critères sont pris en compte pour déterminer le choix :

- | la tension nominale de l'installation
- | le niveau d'isolement de l'installation

c°) Signalisation du défaut simple

La signalisation d'un défaut d'isolement se fait à l'aide d'un Contrôleur Permanent d'Isolement (CPI).

Un générateur injecte une tension continue ou alternative de très basse fréquence entre le réseau et la terre. Cette tension crée, dans l'ensemble des résistances d'isolement, un courant de fuite dont la valeur est fonction de la valeur d'isolement. Un appareil de mesure, parcouru par ce courant et directement gradué en $K\Omega$, donne l'indication permanente de l'isolement.

III CHOIX D'UN REGIME DE NEUTRE

Sur le plan de la protection des personnes, les 3 régimes sont équivalents si l'on respecte toutes les règles d'installation et d'exploitation.

Cependant, 5 critères doivent être respecté afin de choisir un régime de neutre :

- ∂ La protection des personnes contre les chocs électriques
- La protection des biens contre les incendies ou explosion d'origine électrique
- \div La continuité d'alimentation
- \neq La protection contre les surtensions
- \equiv La compatibilité électromagnétique

Le tableau ci-dessous résume les conditions à assurer dans chaque montage :

Technique d'exploitation		Technique de protection	Caractéristiques	Exemples d'utilisations
TT	Coupe au premier défaut	Mise à la terre des masses Emploi de différentiel	Solution simple d'exploitation	Domestique Etablissement scolaire technologique
TN	Coupe au premier défaut	Mise au neutre des masses Coupure par protection de surintensités	Répartition des prises de terre Risque d'incendie	Mines et carrières
IT	Signalisation du premier défaut Coupure au deuxième défaut Recherche du premier défaut	Mise à la terre des masses Surveillance du premier défaut et recherche de ce défaut sous tension Coupure par la protection des surintensités lors d'un second défaut Protection contre les surtensions	Solution assurant la continuité de service	Hôpital et clinique circuit de sécurité d'éclairage

Canalisations Electriques

Une Canalisation électrique est Caractérisée par l'ensemble de trois éléments qui sont :

- Des conducteurs ou des Câbles qui assure la transmission de l'énergie
- Des conduits, tubes, moulures, goulottes, Caniveaux qui assurent la continuité de la protection mécanique.
- Des modes de fixation ou de pose qui prennent en compte le montage de la canalisation, sur les parois, dans le sol, en air, ou dans l'eau.

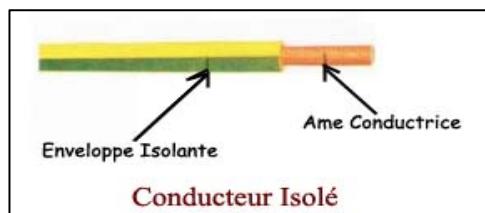
I. Les conducteurs & Câbles

1. Définition

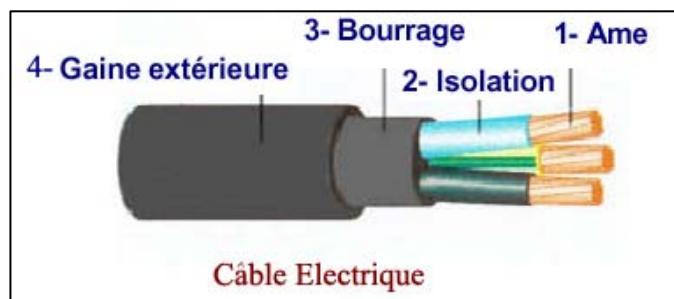
Les conducteurs et les câbles assurent la transmission de l'énergie électrique et sa distribution.

On distingue :

- Les conducteurs :
 - Conducteur nu ne possédant aucun isolant électrique ;
 - Conducteur isolé : qui est un ensemble formé par une âme conductrice entourée d'une enveloppe isolante.



- Les câbles unipolaire : qui est un conducteur isolé comportant en plus une ou plusieurs gaine de protection
- Les câbles : le câble est constitué :
 - d'un ou plusieurs conducteurs, appelés âmes ;
 - d'enveloppes isolantes concentriques séparant électriquement les conducteurs ;
 - revêtement métallique ou gaines isolantes pour la protection communes.



2. Constitution générales

Un câble mono ou multiconducteurs et constitué par :

a. Âme Conductrice

Une âme se Caractérise par :

- La nature du métal ;
- La section nominale ;
- La forme de la section ;
- La classe de la souplesse.

Elle doit satisfaire les conditions suivantes :

Bonne conductibilité : pour réduire les pertes lors du transport de l'énergie d'où le choix :

Du cuivre : $\rho=17,24 \text{ mn}^2/\text{km à } 20^\circ \text{ C}$

De l'Aluminium $\rho =28,26 \text{ mn}^2/\text{km à } 20^\circ \text{ C}$

Remarque : Pour des raisons :

- Economiques : Aluminium moins cher ;
- Rapport résistivité cuivre/ aluminium

$$\frac{S_{\text{cuire}}}{S_{\text{aluminium}}} = \frac{\rho_{\text{cuivre}}}{\rho_{\text{aluminium}}} = 0.613 ; \quad \frac{Masse_{\text{cuire}}}{Masse_{\text{aluminium}}} = 2,04$$

L'emploi de l'aluminium est plus large.

Résistance mécanique : suffisante pour éviter la rupture de conducteur sous les efforts au moment de la pose, des fixations, du serrage des connexions

Bonne souplesse : pour faciliter le passage des conducteurs dans les conduits, respecter le tracé de la canalisation, alimenter les appareils mobiles.

Les classes de souplesse :

Classe 1	Classe 2	Classe 5	Classe 6
Ames rigides	Ames câblées rigides	Ames souples	Ames extra souples

Bonne tenue à la corrosion : due aux agents atmosphériques et aux environnements chimiques.

b. Enveloppe isolante

Cette enveloppe doit assurer une bonne isolation de l'âme conductrice et présente, en plus de la résistivité élevée, de la grande rigidité diélectrique, des faibles pertes diélectrique :

- une bonne tenue au vieillissement
- une bonne résistance au froid, à la chaleur et au feu
- une insensibilité aux vibrations et aux chocs
- un bon comportement à l'attaque des agents chimiques

Les matériaux utilisés pour la fabrication des enveloppes isolantes sont :

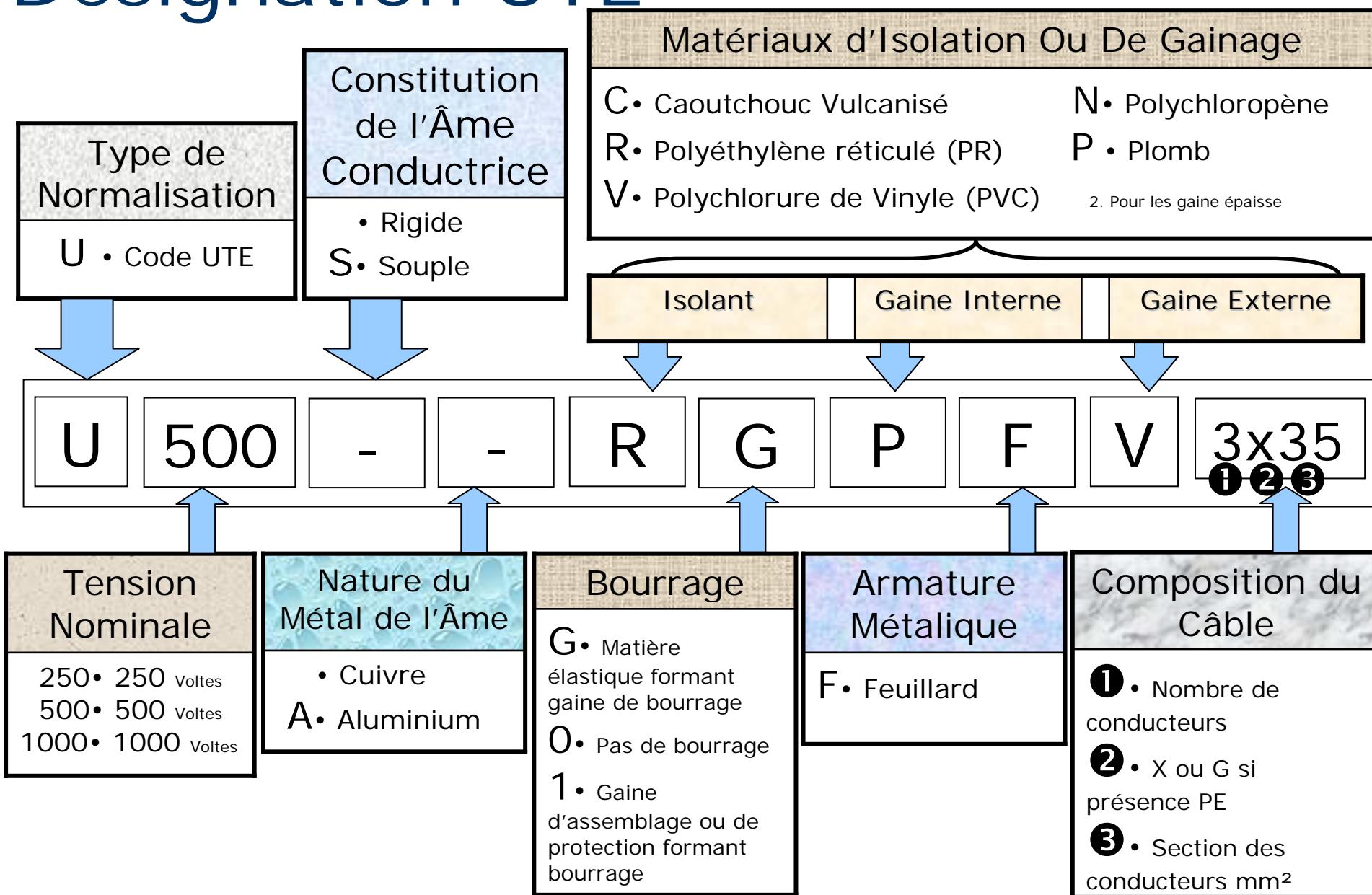
- Polychlorure de vinyle : PVC (70°C)
- Polyéthylène : PE ()
- Polyéthylène réticulé : PR (90° C)
- Caoutchouc d'éthylène propylène : EPR (90° C)

3. Désignation des Câbles

Deux codes sont actuellement en vigueur :

- Désignation UTE * Union Technique de l'Electricité *
- Désignation CENETC * Comité Européen de Normalisation de l'ELECTrotechnique *

Désignation UTE



INDUSTRIELS RIGIDES**INDUSTRIAL RIGID**

U-1000 R2V

U-1000 AR2V

CABLES RIGIDES NON ARMES

NF C 32-321

Température maxi au conducteur : 90°C

0,6/1 kV**RIGID UNARMOURED CABLES**

NF C 32-321

Maximum conductor temperature : 90°C

1- AmeCuivre nu massif $\leq 4\text{mm}^2$ classe 1Cuivre nu cablé $\geq 6\text{mm}^2$ classe 2Aluminium cablé $\geq 25\text{mm}^2$ classe 2

IEC 228

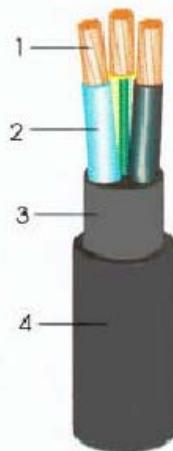
2- Isolation

PR - polyéthylène réticulé

2- Bourrage**3- Gaine extérieure**

PVC

Couleur : noir

**• Domaine de température**

-25°C ; +60°C

• Non propagateur de la flamme

IEC 332-1 / NF C 32-070 cat. C2

• Repérage des conducteursPar couleurs : noir - bleu - vert/jaune - brun
Par numéros à partir de 6 conducteurs avec conducteur vert/jaune**• Marquage de la gaine**

NF USE - n G s - N° Usine - U 1000 R2V

• Rayon de courbure

6 x Diamètre extérieur

Ce câble convient pour l'alimentation de puissance ou de liaison de postes fixes.

Il peut être enterré avec une protection mécanique complémentaire.

INDUSTRIELS RIGIDES**INDUSTRIAL RIGID**

U-1000 RVFV

U-1000 ARVFV

CABLES RIGIDES ARMES

NF C 32-322

Température maxi au conducteur : 90°C

0,6/1 kV**RIGID ARMoured CABLES**

NF C 32-322

Maximum conductor temperature : 90°C

1- AmeCuivre nu massif $\leq 4\text{mm}^2$ classe 1Cuivre nu cablé $\geq 6\text{mm}^2$ classe 2Aluminium cablé $\geq 25\text{mm}^2$ classe 2

IEC 228

2- Isolation

PR - polyéthylène réticulé

3- Bourrage**4- Gaine d'étanchéité**

PVC

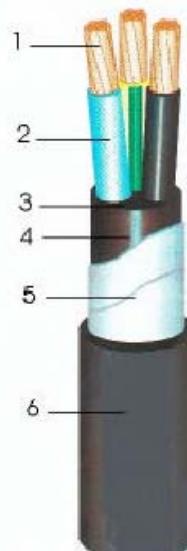
5- Armure

Double feuillard acier

6- Gaine extérieure

PVC

Couleur : noir

**• Domaine de température**

-25°C ; +60°C

• Non propagateur de la flamme

IEC 332-1 / NF C 32-070 cat. C2

• Repérage des conducteursPar couleurs : noir - bleu - vert/jaune - brun
Par numéros à partir de 6 conducteurs avec conducteur vert/jaune**• Marquage de la gaine**

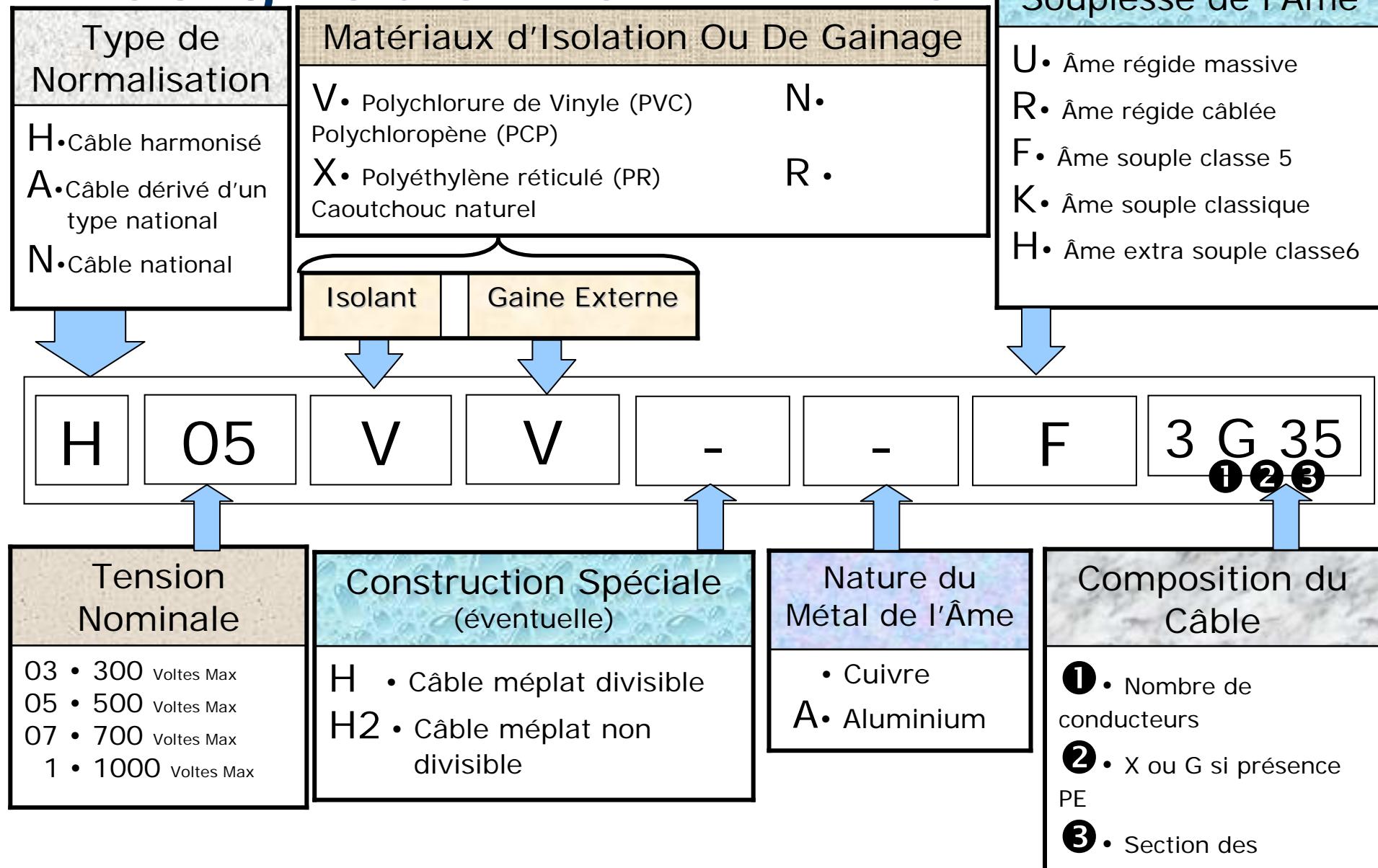
NF USE - n G s - N° Usine - U 1000 RVFV

• Rayon de courburefixe : 8 x Diamètre extérieur
mobile : 16 x Diamètre extérieur

Ce câble convient pour l'alimentation de puissance ou de liaison de postes fixes.

Il peut être enterré avec une protection mécanique complémentaire.

Désignation CENELEC



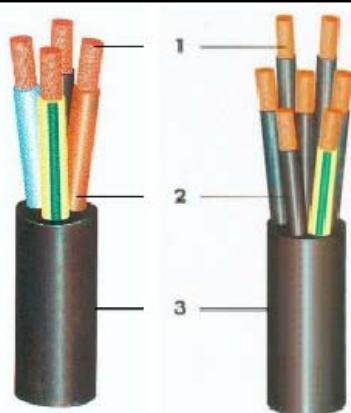
INDUSTRIELS SOUPLES**FLEXIBLE INDUSTRIAL****H07RN-F****CABLES RONDS NEOPRENE****450/750 V**

Température maxi au conducteur : 90°C

NEOPRENE ROUND CABLES

Maximum conductor temperature : 90°C

1- Ame Cuivre nu Souple classe 5 IEC 228	2- Isolation Elastomère spécial réticulé	3- Gaine extérieure PCP ou élastomère équivalent Couleur : noir
--	--	--



- Domaine de température : -35°C ; +85°C
 - Non propagateur de la flamme IEC 332-1 / NF C 32-070 cat. C2
 - Repérage des conducteurs Par couleurs : noir - bleu - vert/jaune - brun
Par numéros à partir de 6 conducteurs avec conducteur vert/jaune
 - Marquage de la gaine USE <HARD> HO7VHH6-F n G s N° Usine
 - Rayon de courbure
 - statique : 3 x Diamètre extérieur
 - dynamique : 6 x Diamètre extérieur
 - dynamique T° < -25°C : 12 x Ø. extérieur
- Ce câble est particulièrement prévu pour l'alimentation de puissance ou de commande d'engins mobiles.
L'emploi jusqu'à 0,6/1 KV est admis dans le cas d'installations fixes protégées et pour l'alimentation de moteurs.

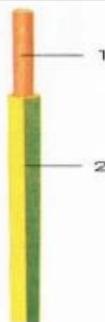
MONOCONDUCTEUR**SINGLE WIRE****HO7 Z-K****FILS DE CABLAGE SOUPLE
SANS HALOGENE****450/750 V**

Température maxi au conducteur : 90°C

**HALOGEN FREE FLEXIBLE
SINGLE CORE**

Maximum conductor temperature : 90°C

1- Ame Cuivre nu recuit ou étamé Souple classe 5 IEC 228	2- Isolation Copolymère de polyoléfine réticulé – mélange de type El5
--	---



- Normalisation : ces câbles sont fabriqués suivant les normes : CEI 20-19/9 - BS 7211
 - Couleurs principales : noir - bleu - rouge - vert/jaune - brun - gris - marron - orange - violet - blanc - bleu foncé combinaisons bi-colorées sur demande.
 - Marquage de la gaine : nom ou N° Usine IEMMEQU <HARD>
 - Rayon de courbure minimum : 4 x Outer diameter
- Ces fils sont des conducteurs souples utilisés pour le câblage de systèmes d'éclairage, d'armoires électriques...
Ils sont recommandés plus particulièrement là où les risques d'incendie sont importants.

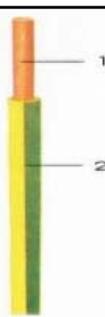
MONOCONDUCTEUR**SINGLE WIRE****HO5 / HO7 V-K****FILS DE CABLAGE SOUPLE****HO5V-K 300/500 V**

Température maxi au conducteur : 70°C

HO7V-K 450/750 V**FLEXIBLE SINGLE CORE**

Maximum conductor temperature : 70°C

1- Ame Cuivre nu Souple classe 5 IEC 228	2- Isolation PVC – mélange YI1
--	--



- Domaine de température : utilisation mobile : -5°C ; +70°C utilisation fixe : -30°C ; +70°C
 - Non propagateur de la flamme IEC 332-1 / NF C 32-070 cat. C2 / DIN VDE 0472 part.804-B
 - Normalisation : ces câbles sont fabriqués suivant les normes : NF C 32-201 - CEI 227-06 (HO5) - CEI 227-02 (HO7) - DIN VDE 0281
 - Couleurs principales : noir - bleu - rouge - vert/jaune - brun - gris - marron - orange - violet - blanc - bleu foncé combinaisons bi-colorées sur demande.
 - Marquage de la gaine : nom ou N° Usine <HAR> HO7V-K section
 - Rayon de courbure minimum : HO5V-K → $\rho = 4 \times \text{Ø}$.
HO7V-K → $\rho = 6 \times \text{Ø}$.
- Ces fils sont des conducteurs souples utilisés pour la réalisation de branchements et d'assemblages.

Exemple :

* Câble U 1000 RGPFV 3*53 mm²

ces câbles convient bien aux application industrielles BT (1000 v) et présentent du fait de leur constitution les caractéristiques suivantes :

- Bonne tenue à la température ambiante élevée.
- Résistance mécanique élevée due à la gaine extérieure en PVC et à son armure de deux feuillard d'acier.
- Bonne résistance aux agents chimique et bonne étanchéité à l'eau par la gaine étanche en plomb

* Câble H05VV-F3G2,5 mm²

Ces câbles peuvent être utilisés dans les locaux domestiques, les bureaux mais sont interdits à l'extérieur ainsi que dans les ateliers industriels et agricoles. Du fait de leur souplesse ils sont choisis pour alimenter l'appareillage électroménagers (Machine à laver, Sèche-linge, réfrigérateur ...) mais leur protection contre les contraintes mécaniques étant très moyenne ils ne peuvent alimenter des outils électriques portatifs.

* Câble HO7RN-F3G1.5

Signifie : Câble souple harmonisé isolé caoutchouc, gainé polychloroprène, trois conducteurs 1,5 mm², dont un vert jaune (conducteur de protection).

* Câble A07RN-F3*1.5

Signifie : Modèle autorisé, identique au précédent, mais sans conducteur vert jaune.

4. Identification des conducteurs

On peut identifier les conducteurs par leur couleur :

- bleu clair pour le conducteur de neutre
- vert / jaune pour conducteur PE (protection électrique)

Les conducteurs de phases sont identifiés par la couleur noire ou brune et éventuellement bleu clair dans les câbles triphasés sans neutre.

Remarque : L'identification des conducteurs par la couleur ne doit pas être considérée que comme une présomption. Il est toujours nécessaire de vérifier la polarité des conducteurs avant toute intervention. N'importe quelle couleur peut être utilisée pour les conducteurs de phases à l'exception du vert et du jaune.

5. Choix des conducteurs & des câbles

a. Classification

Selon des domaines d'utilisation, les fabricants des câbles proposent la classification suivante :

- câbles pour application industrielles
- câbles à usages domestiques
- câbles basses et moyenne tension de branchement et de distribution
- câbles pour courant faibles, téléphone
- câbles spéciaux : mines, ascenseurs, marine, ONCF, sidérurgie

b. Principaux câbles

TABLEAU I. Conducteurs ou câbles pour Canalisations fixes.				
Dénomination harmonisée ou (UTE)	Nombre de conducteurs	Sections mm ²	Exemples d'utilisation	
H 07 V-U (U 500 V)	1	1.5 à 400		
H 07 V-R (U 500 DV)	1	35 à 640	Canalisations sous moulure ou sous conduit	
H 07 V-K (U 500 SV)	1	1.5 à 240		
A 05 VV-U A05 VV-R (U 500 VGV)	2 à 5	1,5 à 35	Canalisations apparentes sans risque mécanique	
U 1 000 RGPFV	2 à 3	1.5 à 240	Canalisations apparentes ou enterrées directement dans le sol	
	4	1.5 à 150		
	5	1,5 à 25		
U 1 000 R02 V U 1 000 AR 02 V (aluminium)	1	1.5 à 630	Canalisations apparentes ou enterrées avec protection mécanique (dalles. briques, tuiles. etc.)	
	2	1,5 à 35		
	3 à 4	1,5 à 300		
	5	1.5 à 25		
	7 à 37	1,5 à 4		
U 1 000 R 12 N	1	1,5 à 1 000		
	2 à 3	1,5 à 400		
	4	1,5 à 300		
	5	1,5 à 25		
H 07 RN-F (U 1 000 SC 12 N)	1	1,5 à 500	Câbles très souples et robustes pour appareils de manutention	
	2 à 15	1 à 25		
	3 à 4	1 à 300		

TABLEAU II. Conducteurs ou câbles pour Canalisation, mobiles.				
Dénomination harmonisée ou (UTE)	Nombre de Conducteurs	Sections mm ²	Exemples d'utilisation	
H 03 VV-F	2 à 3	0,5 à 0,75	Postes de radio - Lampes portatives Lampadaires - Machines de bureau	
H 03 VVH2-F	2	0,5 à 0,75		
H 03 VH-H	2		Rasoirs	
H 03 RT-F	2 à 3	0,71-1-1,5	Fers a repasser-Bouilloires	
H03 VH-H (U) 250 SV	2	0,5 à 075	Couvertures-Radio, télévision	
05 VV-F	2 à 5	0.75 à 1 1.5 à 2,5	Aspirateurs- Réfrigérateurs Machines a laver	
A05VV-F (U 500 SV 1V)				
H 05 RN-F	2 à 3	0.75 à 1	Fours, réchauds	
A 05 RN-F			Radiateurs	
(U 500 SC 1 N)			Lampes baladeuses	
H'05 RR-F	2 à 5	0.75 à 2.5	Machines a laver	
A 05 RR-F			Cuisinières	
(U 500 SC IC)			Radiateurs	
H07 RN-F A 07 RN-F (U 1 000 SC 12N)	1	1,5 à 500	Raccordement de machines pompes. cuisinières, friteuses a l'extérieur	
	2 à 5	1 à 25		
	3 à 4	1 à 300		
	7 à 37	1,5 à 4		

Désignation des locaux ou emplacements	Indice de protection IP	Chocs	Corps Solides	Présence d'eau	Chocs mécaniques	Câbles						H07 - V Sous conduits IRO ICO ICD ICT	
						AE	AD	AG	A 05 W-U	H 05 VL2V	U - 1000 RGPFV	U - 1000 RVFV	
1. Locaux (ou emplacements), a Usage Spécifique													
Buandiers	23	1	1	3	1				x	x	x		
Cave celliers, garages	21	1, 5	1	2	1, 2								
Chambre	20	1	1	1	1								
Collecte des ordures	25	5	1	5	2								
Cuisines	20	1	1	1	1								
Local à poubelles	25	1, 5	1	S	1, 2								
Lingeries, Salles de repassages	21	1	1	2	1								
Rampes d'accès au garage	25	7	1	5	3	x	x						
salles d'eau													x
Locaux contenant	Volume 0	27	1	1	7	1	x	x	x	x	x	x	x
Une baignoire	Volume 1	24	1	1	4	1	x	x	x	x	x	x	x
au une douche	Volume 2	23	1	1	3	1		x	x	x			x
	Volume 3	21	1	1	2	1		x	x	x			x
Salle de séjour	20	1	1	1	1								
Ascenseurs	21	5, 7	1	1	2, 3	x	x						
Ateliers 12	21, 23	5, 7	1	2, 3	2, 3	x	x						t
Laboratoires	21,23	1,3	1	2,3	1,2								
2. Etablissements Industriels													
Animaux (élevage, engrangement)	45	6	3	5	2							s	x
Blanchisseries	23, 24	5	1	3, 4	2								s
Cartons (fabrication)	33	6	2	3	2								
Charbons (entrepôts)	53, 63	7	4, 5	3	3	x	x						x
Cimenteries	50,60	7	4, 5	1	3	x	x					s	x
Décapage	54, 63	7	4, 5	4	3	x	x	p	p	p	p	ps	x
Hydrocarbures(fabrication)	33, 34	7	2	3, 4	3	x	x	r	r	r	r	r	x
Machines (salles de)	20	7	1	1	3	x	x						x
Matières plastiques (fabrication)	51, 61	7	4, 5	2	3	x	x	P	P	P	P	P	
Menuiseries	50, 60	7	4,5	1	3	x	x	(r)	(r)	(r)	(r)	(r)	x
Ordures ménagères (traitement)	53, 64	5	4,5	3, 4	2	v	v					s	
Raffineries de pétrole	34	5	2	4,5	2	x	x	r	r	r	r	r	z
3. Etablissements Recevant Du Public													
M Magasins de vente, centres	20	7	1	1	3	x	x						x
N Restaurants et débits de boissons	20	1	1	1	1								
O Hôtels et pension de famille	20	1	1	1	1								
R Etablissements d'enseignement	20	1	1	1	1								
S Bibliothèques centres de documentation	20	1	1	1	1								
W Administrations, banques	20	1	1	1									
X Etablissement sportifs couverts	21	5, 7	1	2	2,3	t	t						t
CT Chapiteaux et tentes	44	7	3	4	3	x	x	x	x	x	x	x	x
4. Locaux Commerciaux													
Blanchisseries (laverie)	24	5	1	4	2							s	
Boucherie -boutique	24	5	1	4	2								
Boulangerie- Pâtisserie (fournil)	30, 60	5	4	1	2								
Charcuterie (fabrication)	24	5	1	4	1								
Crémerie, fromage	24	1	1	4	1								
Fleuriste	24	1	1	4	1								
Fruits- Légumes	24	5	1	4	2								
Mécanique et accessoires moto, vélo	20	7	1	1	3	x	x						x
Pharmacie (réserve)	20	1	1	1	1							c	
Poissonnerie	25	5	1	5	2							c	

x : non admis

t : admis si risque mécanique inférieur à AG2

p : des câbles spéciaux, suivant les risques, peuvent être nécessaires

II. LES CONDUITS.

1. Définition

Ce sont des éléments de canalisation fermée qui ont pour rôle essentiel d'assurer une protection continue des conducteurs contre les chocs mécaniques, l'eau, les risques d'incendie. De section droite, circulaire ou non, les conduits doivent pouvoir être mis en forme facilement.

2. Propriétés des conduits

Les conduits doivent répondre aux conditions suivantes :

- Assurer une protection des conducteurs contre les chocs mécanique.
- Assurer une étanchéité dans certains cas.
- Être facile à mettre en oeuvre.
- Être rigide ou souple suivant le type de conduit et son utilisation
- Assurer l'isolation et résister dans certaines conditions aux températures élevées.

Pour obtenir une ou plusieurs des propriétés énoncées, le choix du type de conduit est décisive

3. Classification

1 ^{re} lettre degré d'isolation	I isolant		M métallique	
2 ^e lettre degré de rigidité	R rigide	C flexible cintable	S flexible souple	
3 ^e lettre degré de solidité	B blindé	O ordinaire	D déformable	
chiffre degré de résistance mécanique	5	6	7	9

Types usuels : ICO 5 ; IRO 5 ; ICD 6 ; MSB 7 ; MRB 9.

• Chacune de ces applications peut être suivie des lettres :

- [A] : résistant aux agents chimiques ;
- [P] : non propagateur de la flamme ;
- [E] : étanche.

Chaque type de conduit est désigné par un groupe de trois lettres suivi d'un chiffre.

4. Conduits usuels

a. Différentes catégories :

ICTL 3421 Isolant Cintrable Transversalement élastique Lisse (ICD6 PE)*	Gris : admis en AG1-AG2 Orange : interdit	Admis et doivent être fixés aussitôt mis en place. Sur les planchers en dalle pleine avant coulage de la chape, ne sont admis que s'ils sont soustraits aux risques mécaniques.	Admis dans des dimensions suffisantes.
ICTA 3422 Isolant Cintrable Transversalement élastique Annelé (ICT6 PE)*			
ICA 3321 Isolant Cintrable Annelé (ICO 5 PE)*	Admis en AG1-AG2	Admis si les conduits sont protégés pendant la construction contre les chocs dommageables et en parcours verticaux.	Admis dans des saignées.
IRL 3321 Isolant Rigide Lisse (IRO 5 PE)*	Admis en AG1-AG2	Admis si les conduits sont protégés pendant la construction contre les chocs dommageables et en parcours verticaux.	Admis dans des saignées.
MRL 5557 Métallique Rigide Lisse (MRB 9 PE)*	Admis en AG1-AG2-AG3-AG4	Admis et doivent être fixés aussitôt mis en place.	Admis dans des tranchées de dimensions suffisantes.
CSA 4421 Composite Souple Annelé (MSB 7 APE)*	Admis en AG1-AG2-AG3	Comme les conduits ICTL et ICTA gris.	Comme les conduits ICTL et ICTA gris.

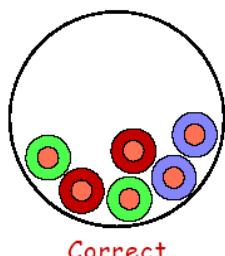
Remarque : Les conduits de couleur orange, sont interdits en montage apparent.

b. Dimensions des conduits

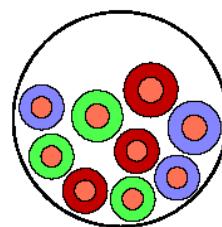
Nombre de conducteurs <i>n</i>	Diamètre extérieur, <i>d</i> , du conducteur en fonction du diamètre intérieur <i>D</i> du conduit
1	0,65 <i>D</i>
2	0,40 <i>D</i>
3	0,37 <i>D</i>
4	0,33 <i>D</i>
5	0,30 <i>D</i>
<i>n > 5</i>	$\frac{0,58 \, D}{\sqrt{n}}$

c. Passage des conducteurs dans des conduits

numéro de référence	Catégories de conduits							
	MRB, IRO		MSB		ICO		ICD	
	Ext	Int	Ext	Int	Ext	Int	Ext	Int
9	15,4	12,1	15,4	11,2	13,8	9,0	15,4	10,7
11	18,8	15,5	18,8	14,5	16,0	11,0	18,8	13,6
13	20,6	17,3	20,6	16,2	19,0	13,5	20,6	14,8
16	22,7	19,4	22,7	18,3	21,7	16,0	22,7	16,4
21	28,5	24,7	28,5	23,4	—	—	28,5	21,6
23	—	—	—	—	29,0	23,0	—	—
29	37,3	32,8	37,3	31,8	35,5	29,0	37,3	24,7
36	47,3	42,3	47,3	40,5	43,7	36,0	47,3	38,1
48	60,3	54,2	60,3	52,0	55,2	48,0	60,3	49,0



Le nombre de conducteurs dans le conduit est satisfaisant



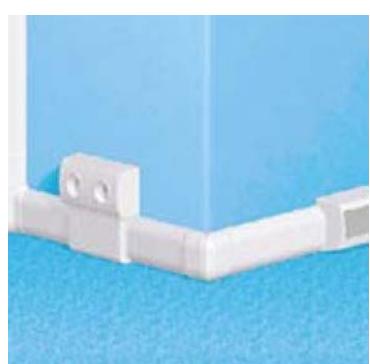
Trop de conducteurs dans le conduit

d. Les plinthes et molures

Elles sont en bois ou matière plastique et servent à la distribution de l'énergie électrique basse tension dans des locaux secs ou temporairement humides.

Exemples : Salle de séjour, chambres, entrés, cuisines, sanitaires

Elles sont interdites dans les locaux suivants, salle d'eau, cave et couloir...



III. Les Canalisations Préfabriquées.



Elles permettent de prévoir une installation avant même de connaître l'emplacement définitif.

Il est possible de la modifier en fonction de l'extension des locaux.

Les canalisations préfabriquées sont bien utilisées dans les installations industrielles de force motrice, que dans la distribution d'énergie des locaux à usage collectif ou les circuits d'éclairage.

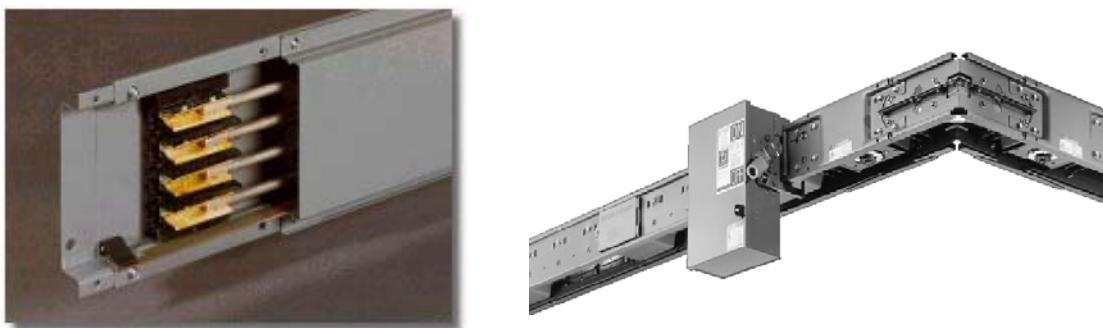
1. Constitution

- Les canalisations préfabriquées sont constituées de barres (en cuivre électrolytique écrouï ou en aluminium) maintenues rigidement par des isolateurs à l'intérieur d'une gaine métallique formant une poutre et pouvant servir de conducteur de protection.
- Les barres sont de section méplate ou tubulaire ; Elles sont argentées aux extrémités pour assurer un bon contact.
- Les isolateurs sont à haute résistance mécanique pour ne pas subir de déformation (par exemple lors d'un court circuit accidentel).



2. Différents éléments préfabriqués

- Les éléments droits ;
- Les systèmes d'alimentation ;
- Les raccordements des éléments ;
- Les systèmes de fixation de gaine ;
- Les éléments d'adaptation :
 - Coffret de dérivation pouvant recevoir les appareils de protection ;
 - Prises de raccordements ou connecteurs.
- Les éléments de compléments (coudes sur chants, coudes à plat, des tés, des croix...).



IV. Les Modes de Pose

1. Caractéristiques du mode de pose

L'exécution d'une canalisation doit tenir compte :

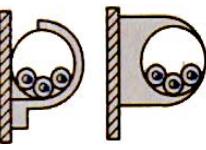
- du nombre et de nature des conducteurs et des câbles qui assurant la liaison électrique.
- de la condition de pose qui précise la solution générale retenue pour améliorer la protection mécanique, physique ou chimique des conducteurs et des câbles tout en assurant leur fixation.
- de la condition de montage, solution retenue par l'installateur pour assurer le parcours de la canalisation.

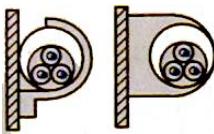
Le choix des canalisations et leur mise en œuvre dans des situations de pose bien définies caractérisent le mode de pose.

2. Mode de pose

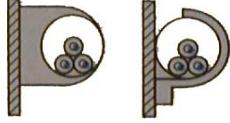
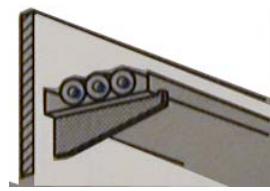
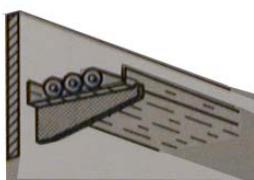
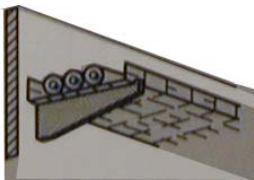
Le mode de pose permet une bonne tenue des installations aux conditions imposées par les influences externes. Le tableau qui suit présente les différents mode de pose en respectant la classification suivante :

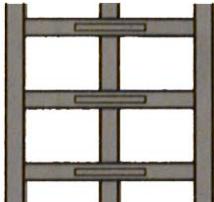
- | | |
|--|---------------------|
| • I- - Pose sous conduit | * - de 1 à 5A - * |
| • II- - Pose à l'air libre | * - de 11 à 18 - * |
| • III- - Pose dans les vides de construction | * - de 21 à 25 - * |
| • IV- - Pose dans des goulottes | * - de 31 à 34A - * |
| • V- - Pose dans les caniveaux | * - de 41 à 43 - * |
| • VI- - Encastrement direct | * - de 51 à 53 - * |
| • VII- - Pose enterre | * - de 61 à 63 - * |
| • VIII- - Pose dans les moulures, huisseries | * - de 71 à 74 - * |
| • IX- - Pose immergée | * - 81 - * |

Exemple	Description	Réf
I. Pose sous conduit		
	Conducteurs isolés dans des conduits encastrés dans des parois thermiquement isolantes	1
	Câbles multiconducteurs dans des conduits encastrés dans des parois thermiquement isolantes	2
	Conducteurs isolés dans des conduits en montage apparent	3

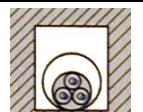
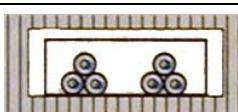
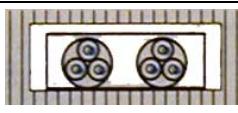
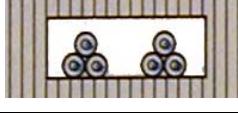
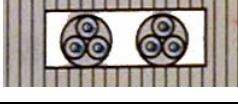
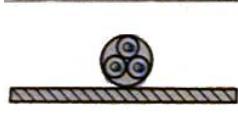
	Câbles mono ou multiconducteurs dans des conduits en montage apparent	3A
	Conducteurs isolés dans des conduits Profilés en montage apparent	4
	Câbles mono ou multiconducteurs dans des conduits Profilés en montage apparent	4A
	Conducteurs isolés dans des conduits encastrés dans une paroi	5
	Câbles mono ou multiconducteurs dans des conduits encastrés dans une paroi	5A

II. Pose à l'Air Libre

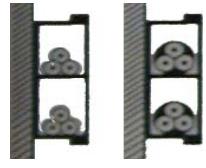
	Câbles mono ou multiconducteurs avec ou sans armure : • fixés sur un mur	11
	Câbles mono ou multiconducteurs avec ou sans armure : • fixés à un plafond	11A
	Câbles mono ou multiconducteurs avec ou sans armure : • sur des chemins de câbles ou tablettes non perforés	12
	Câbles mono ou multiconducteurs avec ou sans armure : • sur des chemins de câbles ou tablettes perforés, en parcours horizontale ou verticale	13
	Câbles mono ou multiconducteurs avec ou sans armure : • sur des corbeaux	14
	Câbles mono ou multiconducteurs avec ou sans armure : • fixés par des colliers, et espacés de la paroi	15

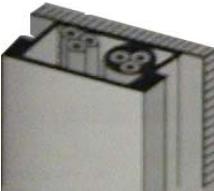
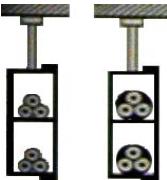
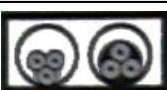
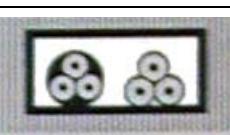
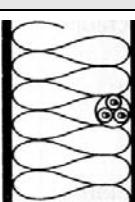
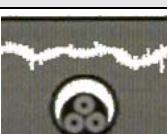
	Câbles mono ou multiconducteurs avec ou sans armure : • sur échelles à câbles	16
	Câbles mono ou multiconducteurs suspendus à un câble porteur ou autoporteurs	17
	Conducteurs nus ou isolés sur isolateurs	18

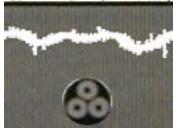
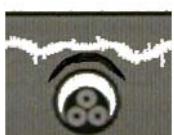
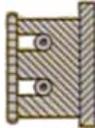
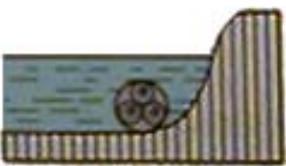
III. Pose dans des vides de construction

	Câbles mono ou multiconducteurs dans des vides de constructions	21
	Conducteurs isolés dans conduits, dans des vides de constructions	22
	Câbles mono ou multiconducteurs dans conduits, dans des vides de constructions	22A
	Conducteurs isolés dans des conduits Profilés dans des vides de constructions	23
	Câbles mono ou multiconducteurs dans des conduits Profilés dans des vides de constructions	23A
	Conducteurs isolés dans des conduits Profilés noyés dans la construction	24
	Câbles mono ou multiconducteurs dans des conduits Profilés noyés dans la construction	24A
	Câbles mono ou multiconducteurs : • dans des faux-plafonds • dans des plafonds suspendus	25

IV. Pose dans les Goulettes

	Conducteurs isolés ou Câbles mono ou multiconducteurs dans des goulettes fixées au parois : • en parcours horizontal	31
---	---	----

	Conducteurs isolés ou Câbles mono ou multiconducteurs dans des goulottes fixées au parois : • en parcours vertical	32
	Conducteurs isolés dans des goulottes encastrées dans les planchers	33
	Câbles mono ou multiconducteurs dans des goulottes encastrées dans les planchers	33A
	Conducteurs isolés dans des goulottes suspendues	34
	Câbles mono ou multiconducteurs dans des goulottes suspendues	34A
V. Pose dans des caniveaux		
	Conducteurs isolés dans des conduits ou Câbles mono ou multiconducteurs dans des caniveaux fermés, en parcours horizontal ou vertical	41
	Conducteurs isolés dans des conduits dans des caniveaux ventilés	42
	Câbles mono ou multiconducteurs dans des caniveaux ouverts ou ventilés	43
VI. Encastrement Direct		
	Câbles multiconducteurs encastrés directement dans des parois thermiquement isolantes	51
	Câbles mono ou multiconducteurs encastrés directement dans des parois sans protection mécanique complémentaire	52
	Câbles mono ou multiconducteurs encastrés directement dans des parois avec protection mécanique complémentaire	53
VII. Pose Enterrée		
	Câbles mono ou multiconducteurs dans des conduits ou dans des conduits Profilés enterrée	61

	Câbles mono ou multiconducteurs enterrée sans protection mécanique complémentaire	62
	Câbles mono ou multiconducteurs enterrée avec protection mécanique complémentaire	63
VIII. Pose dans des moulures ou huisseries		
	Conducteurs isolés dans des moulures	71
	Conducteurs isolés ou Câbles mono ou multiconducteurs dans des plinthes rainurées	72
	Conducteurs isolés ou Câbles mono ou multiconducteurs dans des plinthes rainurées	73
	Conducteurs isolés dans des conduits ou Câbles mono ou multiconducteurs dans des huisseries de fenêtres	74
IX. Pose Immergée		
	Câbles immergés dans l'eau	81

3. Matériels de pose

Les modes de pose mettent en œuvre un certain nombre de matériels et éléments de pose tels que :

Caniveau : (en 41 à 43)

Enceinte ou canal, situe au niveau du sol ou plancher et dont les dimensions ne permettent pas d'y circuler, lorsqu'il peut être fermé, les câbles doivent être accessibles sur toute leur longueur.

Chemin de câbles : (12 & 13)

Matériel de pose constitué d'éléments profilés , pleins ou perforés, destiné à assurer le cheminement des câbles.

Conduit circulaire : (1 à 3A)

Matériel de pose constitué d'éléments tubulaires non ouvrants et conférant aux conducteurs une protection continue.

Conduit-profilé : (4 & 4A)

Ensemble d'enveloppes fermées, de section non circulaire, destinées à la mise en place ou au remplacement de conducteurs isolés ou de câbles par tirage.

Goulotte : (31 à 34)

Matériel de pose constitué par un profilé à parois pleines ou perforées destiné à contenir des câbles ou des conducteurs, et fermé par un couvercle démontable.

Moulure : (71 & 72)

Matériel de pose constitué par une embase, appelée semelle, comportant des rainures permettant le logement de conducteurs et fermé par un couvercle. Peut être profilé décorativement.

Corbeau : (14)

Pièce fixée à une paroi à l'une de ses extrémités et supportant de façon discontinue un câble électrique.

Vide de construction : (21 à 22A)

Espace existant dans les parois de bâtiments (Murs, cloisons, Planchers, Plafonds) accessible seulement à certains emplacements ;

4. Conditions et modes de pose des conducteurs**a. Pose des conducteurs nus :**

Les conducteurs nus doivent être inaccessibles. Ils peuvent être enfermés dans des gaines, des coffrages, des caniveaux fermés, ou posés sur des isolateurs (cas des lignes aériennes).

La pose des conducteurs dans l'air est la plus utilisée, Elle de réalisation facile et la moins onéreuse.

b. Pose des conducteurs isolés :

Les conducteurs isolés sont employés

- *Enterrés* (figure 3)
- *Posé dans des goulettes*, (figure 4) sous certaines réserves parois pleines et munis d'un couvercle démontable seulement à l'aide d'un outil :
- *Posé dans les conduits* ;
- *Posé dans des moulures, plinthes ou chambranles*.

DESCRIPTIF TYPE :

Profilés en aluminium de largeur 130 mm et d'épaisseur 50 mm constitués d'un socle et de couvercles cliplables par simple pression sur le socle.

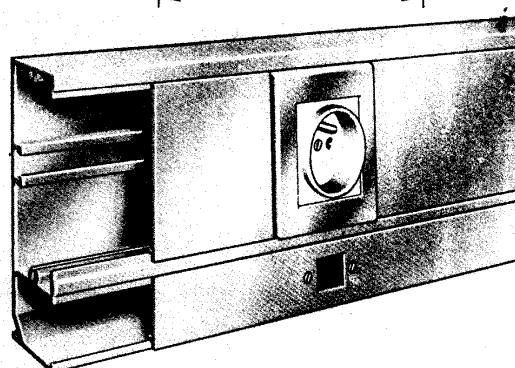
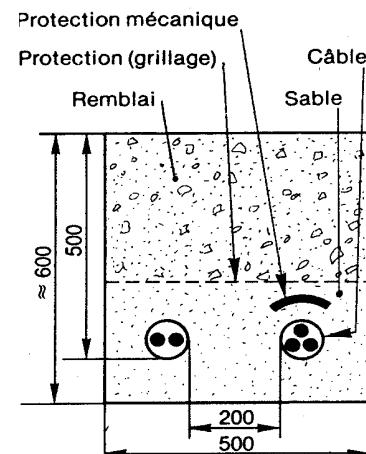
Le socle comporte une cloison fixe pour séparer les circuits (lumière, chauffage, téléphone, télévision) conformément aux normes en vigueur.

Le fond du socle est perforé (trou Ø 6 au pas de 500) pour faciliter la pose.

Le rail du compartiment supérieur peut recevoir :

- une cloison rigide pour séparer les circuits différents ;
- une boîte d'encastrement de hauteur 40 mm pour l'appareillage de 60 d'entraxe (prise de courant, interrupteurs, etc.).

Les couvercles sont démontables à l'aide d'un outil, pour une utilisation conforme à la norme C 15-100 dans le cas des « conducteurs isolés ».



V. Section des Câbles

le calcul de la section des conducteurs doit garantir de :

- véhiculer le courant d'emploi permanent et ses pointes transitoires normales,
- ne pas générer de chutes de tension susceptibles de nuire au fonctionnement de certains récepteurs, comme par exemple les moteurs en période de démarrage, et amenant des pertes en ligne onéreuses.

Courant d'emploi : I_B

- au niveau des circuits de distribution

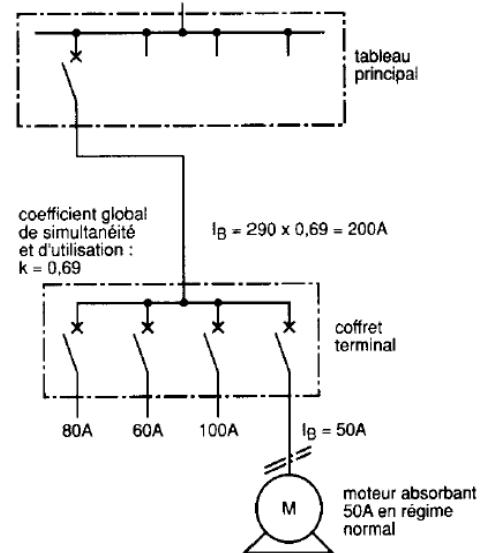
(principaux , secondaires),

C'est le courant correspondant à la puissance d'utilisation, laquelle tient compte **des coefficients de Correction (simultanéité, d'utilisation ...)**

- au niveau des circuits terminaux,

C'est le courant qui correspond à la puissance apparente des récepteurs.

Dans le cas de démarrage ou de mise en service fréquente (ex : moteurs d'ascenseurs, poste de soudure par points), il faut tenir compte des appels de courant lorsque leurs effets thermiques se cumulent.



Courant admissible : I_z

C'est le courant maximal que la canalisation peut véhiculer en permanence sans préjudice pour sa durée de vie. Ce courant dépend, pour une section donnée, de plusieurs paramètres :

- **constitution du câble ou de la canalisation** (Cu ou Alu, isolation PVC ou PR, nombre de conducteurs actifs),
- **température ambiante**,
- **mode de pose**,
- **influence des circuits voisins** (appelé effet de proximité).

Détermination du courant d'emploi I_B :

Le courant d'emploi est calculé en fonction :

- de la puissance nominale P_n du récepteur (indiquée sur la plaque signalétique de l'appareil), ou du groupe de récepteurs alimenté par le circuit
- et d'un certain nombre de facteurs de correction qui tiennent compte pour le circuit :
 - du rendement et du facteur de puissance $\cos\varphi$, $a = \frac{1}{\eta * \cos\varphi}$
(voir tableaux I et II).
 - du facteur d'utilisation des appareils, F_u
 - pour les moteurs, variables de 0,3 à 0,9 de la puissance nominale, valeur moyenne $F_u = 0,75$,
 - pour l'éclairage et le chauffage, $F_u = 1$;
 - du facteur de simultanéité, F_s
 - En l'absence de données précises, les facteurs « F_s » peuvent être pris dans le tableau III;

- du facteur de conversion des puissances en intensités **Fc** .(Pu exprimée en KW)
 - ✓ en monophasé 130 V, Fc = 8
 - ✓ en monophasé 240 V, Fc = 4,35
 - ✓ en triphasé 240 V, Fc = 2,5
 - ✓ en triphasé 400 V, Fc = 1,4

en effet $Fc = \frac{1000}{U}$ en monophasé et $Fc = \frac{1000}{U * \sqrt{3}}$ en triphasé

- des préventions d'extension **Fe**
 - pour les installations industrielles Fe = 1,2

le courant d'emploi ce calcule donc par la formule suivante :

$$IB = P_u \times a \times F_u \times F_s \times F_c \times F_e$$

TABLEAU I. Eclairage.				
	Types de lampes	Cos φ	1/R	a *
Incandescence		1	1	1
Vapeur de mercure à lumière mixte	≈ 1	1	1,4	
Vapeur de sodium à basse pression 18 à 180 W	0,85	1,4 à 1,25	1,6	
Ballastes non Compensées	Lodures Métalliques 230 V -230 à 1 000 W 380 V - 2 000 W	0,6 0,6	1,1 à 1,05 1,1	3,5 3,5
	Fluorescence (tubes) à starter : 18 à 65 W rapides : 20 à 65 W instantanés : 20 et 40 W	0,5 0,5 0,5	1,6 à 1,2 1,85 à 1,25 1,55 à 1,35	3,2 à 2,4 3,7 à 2,5 3,1 à 2,7
Ballastes Compensées	Vapeur de mercure - ballons fluorescents 230V-50a1000W	0,5	1,15 à 1,05	4
	Vapeur de sodium haute pression 70 à 1 000 W	0,4	1,1	4,2
	Lodures métalliques 200 V - 230 à 1 000 W 380 V - 2 000 W	0,85 0,85	1,1 à 1,05 1,1	2,4 2,4
	Fluorescence (tubes) à starter : 18 à 65 W rapides : 20 à 65 W instantanés : 20 et 40 W	0,85 0,85 0,85	1,6 à 1,2 1,85 à 1,25 1,55 à 1,35	1,9 à 1,4 2,2 à 1,5 1,9 à 1,6
	Vapeur de mercure - ballons fluorescents 230 V - 50 à 1 000 W	0,85	1,15 à 1,05	2,5
	Vapeur de sodium haute pression 70 à 1 000 W	0,85	1,1	2

* Pour certaines lampes la valeur de « a » a été majorée pour tenir compte de la surintensité à la mise sous tension.

TABLEAU II. Moteurs.			
Puissance des moteurs	Cosφ	Rendement η	a
Jusqu'à 600 W	0,5	-	2
De 1 à 3 kW environ	0,7	0,7	2
De 4 à 40 kW environ	0,8	0,8	1,5
plus de 50 kW	0,9	0,9	1,2

TABLEAU III. Facteurs de simultanéité « Fs ».	
Utilisation	Fs
Eclairage	1
Chauffage et conditionnement d'air	1
Prises de courant	0,1 à 0,2*
Ascenseur	1
et	0,75
monte-chARGE	0,60

* Pour les installations industrielles ou autres, le facteur peut être plus élevé

** Pour tenir compte du démarrage, on majore de 1/3 le courant nominal

Exercice :

Pour alimenter un immeuble de bureaux, on utilise un câble fixé aux parois.

La puissance installée pour l'éclairage et le chauffage est de **160 KVA en 230V/400V triphasé 50 Hertz**. Une prévision d'**extension de 20 %** est envisagée.

L'éclairage s'effectue avec des tubes fluorescent a = 1,4

Déterminez IB.

$$\begin{aligned} a &= 1.4 \text{ (éclairage fluorescent), } F_u = 1 ; F_s = 1 ; \\ F_e &= 1.2 \text{ et } F_c = 1.4 \text{ (400V triphasé) } \\ \text{d'où } IB &= 160 \cdot 1.4 \cdot 1 \cdot 1.2 \cdot 1.4 = 376 \text{ A} \end{aligned}$$

Section & courant admissible Iz

Lorsqu'un conducteur est parcouru par un courant électrique, il s'échauffe selon la loi de joule :

$$W = RI^2t$$

Courant de Court-Circuit Icc

La détermination des courants de court-circuit dans une installation est la base de la conception d'un réseau. Elle détermine :

- Le pouvoir de coupure des appareils de protection
- La tenue des câbles ou des canalisations électrique
- La sécurité des personnes

1. Définition

Un court-circuit est un défaut produit par un contact d'impédance négligeable entre des conducteurs actifs présentant une différence de potentiel en service nominale.

Ce défaut se traduit par une élévation brutale de l'intensité du courant dans le circuit, que l'on appelle courant de court-circuit.

2. Calcul de l'intensité I de court-circuit

Soit un réseau triphasé dans lequel survient un court-circuit sur les trois phases (I_{cc3}).

La valeur de l'intensité de court-circuit est tirée de la relation générale :

$$U = Z \cdot I \text{ soit en triphasée } I_{cc3} = \frac{U_o}{\sqrt{3} \cdot Z}$$

I_{cc3} : Courant de court-circuit

U_o : tension entre phase à vide.

Z : impédance totale par phase en amont du défaut.

La calcul de l'intensité de court-circuit revient à déterminer Z , l'impédance totale de court-circuit, qui est formée des éléments résistants et des éléments inductifs du réseau ; d'où

$$Z = \sqrt{\sum R^2 + \sum X^2}$$

$\sum R^2$: somme des résistances.

$\sum X^2$: somme des réductances des transformateurs, disjoncteur, câbles, canalisation électrique, etc.

3. Calcul simplifié d'un courant de court-circuit

Méthode de référence

Pour déterminer une section de conducteur à partir d'une intensité d'emploi, on doit tenir compte du mode de pose. A chaque mode de pose codifié de 1 à 81 correspond une méthode de référence désignée par une lettre majuscule :B, C, D, E, F

Méthode B : Les conducteurs sont enfermés dans des enceintes non ventilées ; la dissipation de la chaleur est mauvaise.

Méthode C : Les câbles sont à l'air libre, mais disposés contre des parois qui limitent la dissipation de la chaleur.

Méthode D : Elle concerne uniquement les câbles enterrés

Méthode E : Elle concerne les câbles multiconducteurs à l'air libre

Méthode F : Elle concerne les câbles monoconducteurs à l'air libre

Mode de pose	Méthode de référence	Mode de Pose	Méthode de référence	Mode de Pose	Méthode de référence
1	B	21	B	51	B
2	B	22	B	52	C
3	B	23	B	53	C
4	B	24	B		
5	B	25	B		
11	C	31	B	61	D
12	C	32	B	62	D
13	E, F	33	B	63	D
14	E, F	34	B		
15	E, F	41	B	71	B
16	E, F	42	B	72	B
17	E, F	43	B	73	B
18	C				

Tableau IV : Méthodes de référence & modes de pose

DETERMINATION DES SECTIONS DE CABLES (CONDUCTEUR DE PHASE)

Les tableaux ci-contre permettent de déterminer la section des conducteurs de phase d'un circuit. Il ne sont utilisables que pour des canalisations non enterrées et protégées par disjoncteur.

Pour obtenir la section des conducteurs de phase, il faut :

- ☞ déterminer une lettre de sélection qui dépend du conducteur utilisé et de son mode de pose,
- ☞ déterminer un coefficient K qui caractérise l'influence des différentes conditions d'installation.

Ce coefficient K s'obtient en multipliant les trois facteurs de correction, K1, K2 et K3 :

- ☞ le facteur de correction K1 prend en compte le mode de pose,
- ☞ le facteur de correction K2 prend en compte l'influence mutuelle des circuits placés côté à côté,
- ☞ le facteur de correction K3 prend en compte la température ambiante et la nature de l'isolant.

Lettre de sélection

Type d'éléments conducteurs	Mode de pose	Lettre de sélection
Conducteurs et câbles multiconducteurs	<ul style="list-style-type: none"> ▪ sous conduit, profilé ou goulotte, en apparent ou encastré ▪ sous vide de construction, faux plafond ▪ sous caniveau, moulures, plinthes, chambranles ▪ en apparent contre mur et plafond ▪ sur chemin de câbles ou tablettes non perforées 	B
Câble multiconducteurs	<ul style="list-style-type: none"> ▪ sur échelles, corbeaux, chemin de câbles perforé ▪ fixés en apparent, espacés de la paroi ▪ câbles suspendus 	C
Câbles monoconducteurs	<ul style="list-style-type: none"> ▪ sur échelles, corbeaux, chemin de câbles perforé ▪ fixés en apparent, espacés de la paroi ▪ câbles suspendus 	F

Facteur de correction K1

Lettre de sélection	Cas d'installation	K1
B	<ul style="list-style-type: none"> ▪ câbles dans des produits encastrés directement dans matériaux thermiquement isolants ▪ conduits encastrés dans des matériaux thermiquement isolants ▪ câbles multiconducteurs ▪ vides de construction et caniveaux 	<ul style="list-style-type: none"> 0.70 0.77 0.90 0.95
C	<ul style="list-style-type: none"> ▪ pose sous plafond 	0.95
B, C, E, F	<ul style="list-style-type: none"> ▪ autres cas 	1

Facteur de correction K2

Lettre de sélection	Disposition des câbles jointifs	Facteur de corrections K2 Nombre de circuits ou de câbles multiconducteurs											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	12	16	20
B, C	Encastrés ou noyés dans les parois	1.00	0.8	0.70	0.65	0.60	0.57	0.54	0.52	0.50	0.45	0.41	0.38
C	Simple couche sur les murs ou les planchers ou tablettes non perforées	1.00	0.85	0.79	0.75	0.73	0.72	0.72	0.72	0.71	0.70		
	Simple couche au plafond	0.95	0.81	0.72	0.68	0.66	0.64	0.63	0.63	0.62	0.61		
E, F	Simple couche sur des tablettes horizontales perforées ou sur tablettes verticales	1.00	0.88	0.82	0.77	0.75	0.73	0.73	0.73	0.72	0.72		
	Simple couche sur des échelles à câbles, corbeaux, etc.	1.00	0.87	0.82	0.80	0.80	0.79	0.79	0.78	0.78	0.78		

Lorsque les câbles sont disposés en plusieurs couches, appliquer en plus un facteur de correction de :

- 0.80 pour deux couches
- 0.73 pour trois couches
- 0.70 pour quatre ou cinq couches

Facteur de correction K3

Températures ambiante (°C)	Isolation		
	Elastomère (caoutchouc)	Polychlorure de vinyle (PVC)	Polyéthylène (PR) Butyle, éthylène, propylène (EPR)
10	1.29	1.22	1.15
15	1.22	1.17	1.12
20	1.15	1.12	1.08
25	1.07	1.07	1.04
30	1.00	1.00	1.00
35	0.93	0.93	0.96
40	0.82	0.87	0.91
45	0.71	0.79	0.87
50	0.58	0.71	0.82
55	-	0.61	0.76
60	-	0.50	0.71

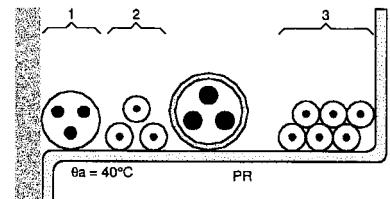
DETERMINATION DES SECTIONS DE CABLES (section minimale)

Connaissant $I'z$ et K ($I'z$ est le courant équivalent au courant véhiculé par la canalisation : $I'z = I_z / K$), le tableau ci-contre indique la section à retenir.

Exemple :

Un câble PR triphasé est tiré sur un chemin de câble perforé, jointivement avec 3 autres circuits constitués :

- ☞ d'un câble triphasé (1^{er} circuit)
- ☞ de 3 câbles unipolaires (2^{ème} circuit)
- ☞ de 6 câbles unipolaires (3^{ème} circuit) : ce circuit est constitué de 2 conducteur par phase.



Il y aura donc 5 groupements triphasés. La température ambiante est de 40 °C.

Le câble PR véhicule un courant de 23 A par phase.

La lettre de sélection donnée par Le tableau correspondant est E.

Le facteur de correction K1, donné par le tableau correspondant, est 1.

Le facteur de correction K2, donné par le tableau correspondant, est 0.75.

Le facteur de correction K3, donné par le tableau correspondant, est 0.91.

Le coefficient K, qui est $K1 \times K2 \times K3$, est donc $1 \times 0.75 \times 0.91$ soit 0.68

Détermination de la section :

Choisir la valeur normalisée de I_n juste supérieure à 23 A.

Le courant admissible dans la canalisation est $I_z = 25$ A.

L'intensité fictive $I'z$ prenant en compte le coefficient K est $I'z = 25 / 0.68 = 36.8$ A.

En se plaçant sur la ligne correspondant à la lettre de sélection E, dans la colonne PR3, on choisit la valeur immédiatement supérieure à 36.8 A, soit, ici, 42 A dans le cas du cuivre qui correspond à une section de 4 mm² cuivre ou, dans le cas de l'aluminium 43 A, qui correspond à une section de 6 mm² aluminium.

Valeurs normalisées de In

In (A) | 1 | 2 | 3 | 5 | 10 | 16 | 20 | 25 | 32 | 40 | 50 | 63 | 70 | 80 | 100 | 125 | 160 | 200 | 250 | 320 | 400 | 500

Tableau des sections à retenir

lettre de sélection	Isolant et nombre de conducteur chargés (3 ou 2)									
	Caoutchouc ou PVC					Butyle ou PR ou éthylène PR				
	B	PVC3	PVC2		PR3		PR2			
	C		PVC3		PVC2	PR3		PR2		
Section cuivre (mm²)	E		PVC3		PVC2	PR3	PR2		PR2	
	F			PVC3		PVC2	PR3		PR2	
	1.5	15.5	17.5	18.5	19.5	22	23	24	26	
	2.5	21	24	25	27	30	31	33	36	
	4	28	32	34	36	40	42	45	49	
	6	36	41	43	48	51	54	58	63	
	10	50	57	60	63	70	75	80	86	
	16	68	76	80	85	94	100	107	115	
	25	89	96	101	112	119	127	138	149	161
	35	110	119	126	138	147	158	169	185	200
	50	134	144	153	168	179	192	207	225	242
	70	171	184	196	213	229	246	268	289	310
	95	207	223	238	258	278	298	328	352	377
	12	239	259	276	299	322	346	382	410	437
	15		299	319	344	371	395	441	473	504
	185		341	364	392	424	450	506	542	575
	240		403	430	461	500	538	599	641	679
	300		464	497	530	576	621	693	741	783
	400					656	754	825		940
	500					749	868	946		1083
	630					855	1005	1088		1254
Section aluminium (mm²)	2.5	16.5	18.5	19.5		23	25	26	28	
	4	22	25	26		31	33	35	38	
	6	28	32	33		39	43	45	49	
	10	39	44	46		54	59	62	67	
	16	53	59	61		73	79	84	91	
	25	70	73	78		90	98	101	108	121
	35	86	90	96		112	122	126	135	150
	50	104	110	117		136	149	154	164	184
	70	133	140	150		174	192	198	211	237
	95	161	170	183		211	235	241	257	289
	12	186	197	212		245	273	280	300	337
	150		227	245		283	316	324	346	389
	185		259	280		323	363	371	397	447
	240		305	330		382	430	439	470	530
	300		351	381		440	497	508	543	613
	400					526	600	663		740
	500					610	694	770		856
	630					711	808	899		996

Détermination de la chute de tension

1 - Limite maximale de la chute de tension

La norme NF C 15-100 impose que la chute de tension entre l'origine de l'installation BT et tout point d'utilisation n'excède pas les valeurs du tableau 4 ci-après.

chute de tension maximale entre l'origine de l'installation BT et l'utilisation		
	éclairage	autres usages (force motrice)
alimentation par le réseau BT de distribution publique	3 %	5 %
alimentation par poste privé HT/BT	6 %	8 %

Tableau 4 : limite maximale de la chute de tension

Remarque : lorsque la chute de tension est supérieure aux valeurs du tableau 4 ci-dessus, il sera nécessaire d'augmenter la section de certains circuits jusqu'à ce que l'on arrive à des valeurs inférieures à ces limites.

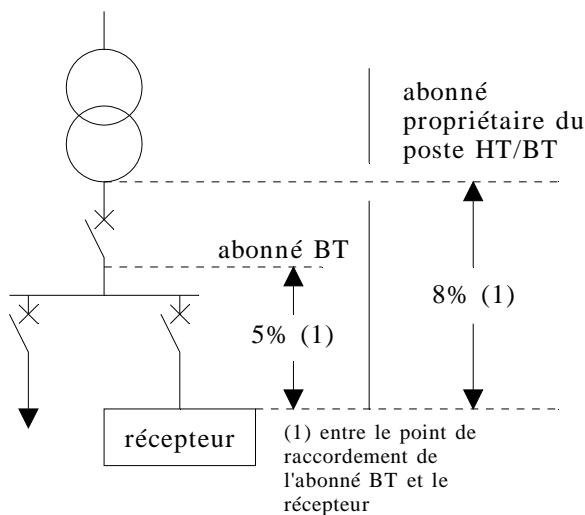


fig. 1 : chute de tension maximale

2 - Calcul de la chute de tension en ligne en régime permanent

2.1 - Calcul par les formules

Le tableau 5 ci-après donne les formules usuelles qui permettent de calculer la chute de tension dans un circuit donné par km de longueur.

Si :

IB : courant d'emploi en ampère

L : longueur du câble en km

R : résistance linéaire d'un conducteur en Ω/km

$$R = \frac{22,5 \Omega \cdot \text{mm}^2 / \text{km}}{S (\text{section en mm}^2)} \text{ pour le cuivre}$$

$$R = \frac{36 \Omega \cdot \text{mm}^2 / \text{km}}{S (\text{section en mm}^2)} \text{ pour l'aluminium}$$

Nota : R est négligeable au delà d'une section de 500 mm^2 .

X : réactance linéaire d'un conducteur en Ω/km ; X est négligeable pour les câbles de section inférieure à 50 mm^2 . En l'absence d'autre indication on prendra X = 0,08 Ω/km .

φ : déphasage du courant sur la tension dans le circuit considéré ; généralement :

v éclairage : $\cos \varphi = 1$

v force motrice :

en démarrage : $\cos \varphi = 0,35$

en service normal : $\cos \varphi = 0,8$

Un : tension nominale entre phases.

Vn : tension nominale entre phase et neutre.

Pour les canalisations préfabriquées, la résistance R et la réactance X sont indiquées par le constructeur.

circuit	chute de tension	
	en volt	en %
monophasé : deux phases	$\Delta U = 2 IB L (R \cos \varphi + X \sin \varphi)$	$\frac{100 \Delta U}{U_n}$
monophasé : phase et neutre	$\Delta U = 2 IB L (R \cos \varphi + X \sin \varphi)$	$\frac{100 \Delta U}{V_n}$
triphasé équilibré : trois phases (avec ou sans neutre)	$\Delta U = \sqrt{3} IB L (R \cos \varphi + X \sin \varphi)$	$\frac{100 \Delta U}{U_n}$

Tableau 5 : formules de calcul de la chute de tension

2.2 - Calcul à partir d'un tableau simplifié

Le tableau 6 donne, avec une bonne approximation, la chute de tension par km de câble pour un courant de 1 A en fonction :

v du type d'utilisation : force motrice avec $\cos \varphi$ voisin de 0,8 ou éclairage avec $\cos \varphi$ voisin de 1 ;
v du type de câble monophasé ou triphasé.

La chute de tension s'écrit alors :

$$\Delta U \text{ (volts)} = K \cdot I_B \cdot L$$

K : donné par le tableau,
I_B courant d'emploi en ampères,
L : longueur du câble en km.

La colonne "force motrice $\cos \varphi = 0,35$ " du tableau 6 (page suivante) permet si nécessaire de faire un calcul de la chute de tension lors d'un démarrage de moteur (**voir exemple page suivante**).

section en mm ²		circuit monophasé		circuit triphasé équilibré		
Cu	Alu	force motrice	éclairage	force motrice	éclairage	
		service normal	démarrage	service normal	démarrage	
		$\cos \varphi = 0,8$	$\cos \varphi = 0,35$	$\cos \varphi = 1$	$\cos \varphi = 0,8$	$\cos \varphi = 0,35$
1,5		24	10,6	30	20	9,4
2,5		14,4	6,4	18	12	5,7
4		9,1	4,1	11,2	8	3,6
6	10	6,1	2,9	7,5	5,3	2,5
10	16	3,7	1,7	4,5	3,2	1,5
16	25	2,36	1,15	2,8	2,05	1
25	35	1,5	0,75	1,8	1,3	0,65
35	50	1,15	0,6	1,29	1	0,52
50	70	0,86	0,47	0,95	0,75	0,41
70	120	0,64	0,37	0,64	0,56	0,32
95	150	0,48	0,30	0,47	0,42	0,26
120	185	0,39	0,26	0,37	0,34	0,23
150	240	0,33	0,24	0,30	0,29	0,21
185	300	0,29	0,22	0,24	0,25	0,19
240	400	0,24	0,2	0,19	0,21	0,17
300	500	0,21	0,19	0,15	0,18	0,16
						0,13

Tableau 6 : chute de tension ΔU en volts / ampère et / km dans un circuit

2.3 - Exemple

L'abonné est alimenté par un poste privé HT/BT. Un câble triphasé cuivre de 35 mm^2 , 50 m alimente un moteur 400 V consommant :

- ✓ 100 A sous $\cos \varphi = 0,8$ en régime permanent ;
- ✓ 500 A (5In) sous $\cos \varphi = 0,35$ au démarrage.

La chute de tension à l'origine de la ligne est en régime normal (consommation totale distribuée par le tableau : 1000 A) de 10 V entre phases.

Quelle est la chute de tension aux bornes du moteur :

- ✓ en service normal ;
- ✓ au démarrage ?

✓ chute de tension en régime normal :

$$\Delta U\% = 100 \frac{\Delta U}{U_n}$$

Le tableau 6 indique 1 V/A/km.

$$\Delta U \text{ câble} = 1 \cdot 100 \cdot 0,050 = 5 \text{ V}$$

$$\Delta U \text{ total} = 10 + 5 = 15 \text{ V}$$

$$\text{soit : } 15 \text{ V}/400 \text{ V} = 3,75 \%$$

valeur inférieure autorisé par la norme (8%)

✓ chute de tension au démarrage :

$$\Delta U \text{ câble} = 0,52 \cdot 500 \cdot 0,050 = 13 \text{ V}$$

La chute de tension au niveau du tableau de distribution est supérieure à 10 V du fait du courant de démarrage du moteur.

En supposant que le courant dans la ligne d'alimentation du tableau est pendant le démarrage du moteur de :

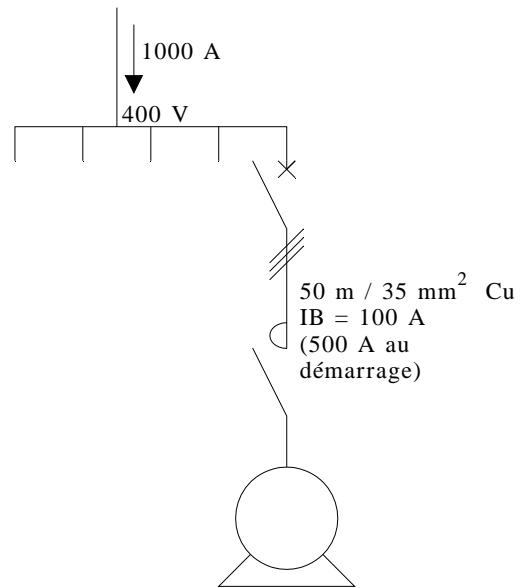
$900 + 500 = 1400 \text{ A}$. La chute de tension au niveau du tableau vaudra :

$$\Delta U \text{ tableau} = 10 \cdot 1400/1000 = 14 \text{ V}$$

$$\Delta U \text{ total} = 13 + 14 = 27 \text{ V}$$

$$\text{soit : } 27 \text{ V}/400 \text{ V} = 6,75 \%$$

ce qui est tout à fait acceptable pendant un démarrage.



exemple 1
abonné alimenté par un poste privé
HT/BT

LES MOTORISATIONS ÉLECTRIQUES

A- INTRODUCTION

Les moteurs électriques sont présents partout. On ne pourrait plus concevoir un milieu industriel sans l'utilisation massive de moteur et actionneur électrique. Ces moteurs sont généralement fabriqués en très grande série, à l'exception de certaines gammes de servomoteurs. Les impératifs industriels (Coût, Automatisation) conditionnent la conception de ces moteurs qui doivent en général se fondre au sien de l'application.

Une grande partie des besoins en motorisation peut être satisfaite avec la palette des possibilités et large et diversifiée.

Ces besoins peuvent être classés selon :

- Les besoins en déplacement « Moteur d'entraînement »
- Les besoins en positionnement
- Les besoins en action mécanique

Certain de ces besoins sont naturellement remplis par des moteurs électriques. Tandis que d'autres correspondent à une substitution progressive de solution électrique à des solutions antérieures (hydrauliques, pneumatiques, etc.).

I. ETUDE DE LA CHAINE CINÉMATIQUE

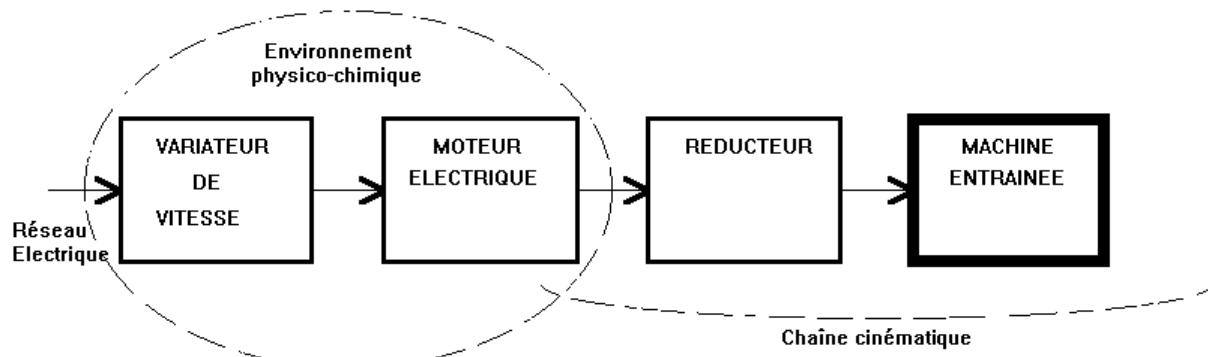
1. Introduction:

Lors du premier contact avec une machine, il est nécessaire de demander sa chaîne cinématique qui détermine l'ordre des différents maillons constituant l'ensemble à mouvoir.

L'ordre logique d'une chaîne cinématique commence par l'étude du mouvement à effectuer. De ce fait, il est nécessaire de définir les caractéristiques mécaniques de ces mouvements.

La présente partie de cours, bien qu'axée sur des choix de moteurs électriques, vise à rappeler les principaux résultats mécaniques permettant ces choix. Ne perdons pas de vue que le choix du moteur et de son variateur, pour être le meilleur, sera avant tout le meilleur compromis entre des critères mécaniques et électriques.

2. Découpage fonctionnel:



a- La machine entraînée:

Elle a pour but de fournir un certain couple dans une certaine plage de vitesse. Elle possède une certaine inertie.

b- Le réducteur:

A première vue, sa fonction est de réduire la vitesse. Nous verrons plus loin qu'il présente d'autres avantages.

c- Le moteur électrique:

Actionneur principal, il transforme l'énergie électrique en énergie mécanique.

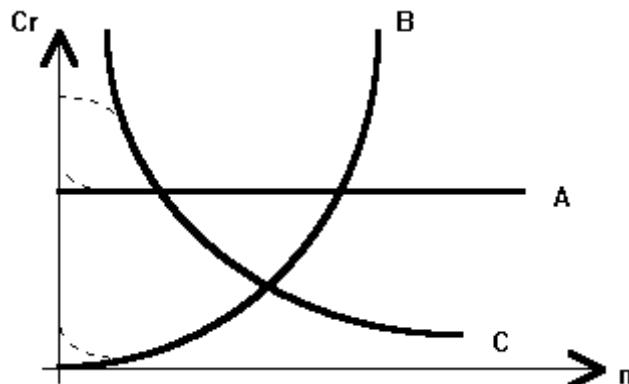
d- Le variateur

Agissant sur des paramètres électriques, il est aujourd'hui toujours électronique et permet de faire varier la vitesse du moteur dans une gamme donnée en rapport avec la technologie de ce dernier.

3. La machine entraînée:**a. Caractéristiques de couple****i. Allures de couple résistant**

Il s'oppose au mouvement quelque soit le sens de rotation. La machine est entraînée par le moteur. Il en existe plusieurs types:

- A. Couple résistant constant ($C_r = \text{cte}$) : traction, levage (80 % des cas).
- B. Couple résistant parabolique ($C_r = k \cdot \Omega^2$) : pompes centrifuges, ventilateurs.
- C. Couple résistant hyperbolique ($C_r = k / \Omega$) : broches de machines-outils, enrouleurs-dérouleurs (5 à 10 % des cas).



Ces allures ne sont que des simplifications très utiles au stade de l'avant-projet. Lors de la validation des choix, il y a lieu de se renseigner auprès du concepteur de la mécanique sur leur forme précise (qui ne se met pas forcément facilement en équations...).

Toutes ces machines, quelque soit leur couple résistant, peuvent opposer au démarrage un couple de décollage plus ou moins important. Si ce dernier est mal évalué, il peut amener à des impossibilités de démarrage. Il peut atteindre plusieurs fois le couple résistant nominal.

ii. Le couple entraînant:

Il favorise le mouvement quelque soit le sens de rotation. La machine entraîne le moteur (voir plus loin: les quatre quadrants).

b. La puissance nécessaire à l'entraînement:**i. Relation de base:**

$$P_e = C_r \cdot \Omega$$

ii. Application aux trois couples résistants typiques:

- A. $P_e = C_r \cdot \Omega$: la puissance nécessaire à l'entraînement est proportionnelle à la vitesse.
- B. $P_e = k \cdot \Omega^3$: la puissance nécessaire à l'entraînement est proportionnelle au cube de la vitesse.
- C. $P_e = k$: la puissance nécessaire à l'entraînement est constante.

c. L'inertie:

Basée sur la notion de moment d'inertie, elle est l'image de l'opposition de la mécanique aux variations de vitesse. Le calcul du moment d'inertie J est du domaine de la cinématique.

Relation générale:

$$C_a = J \cdot d\Omega/dt = C_m - C_r$$

C_a : couple accélérateur, égal à la différence entre le couple moteur C_m et le couple résistant C_r .
 $d\Omega/dt$: accélération angulaire de la mécanique.

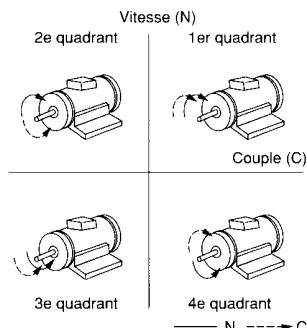
Cette relation vérifie que:

- à couple accélérateur nul, il n'y a pas d'accélération: la vitesse est constante et l'ensemble a atteint un point de fonctionnement.
- les couples accélérateurs positifs correspondent à des montées en vitesse.
- les couples accélérateurs négatifs correspondent à des baisses de vitesse (en particulier si on rend $C_m=0$, le moteur non alimenté sur charge non entraînante).

Une autre application de cette relation peut aussi être d'évaluer les temps de démarrage et de freinage des ensembles mobiles connaissant les allures de C_r , C_m et la valeur de J .

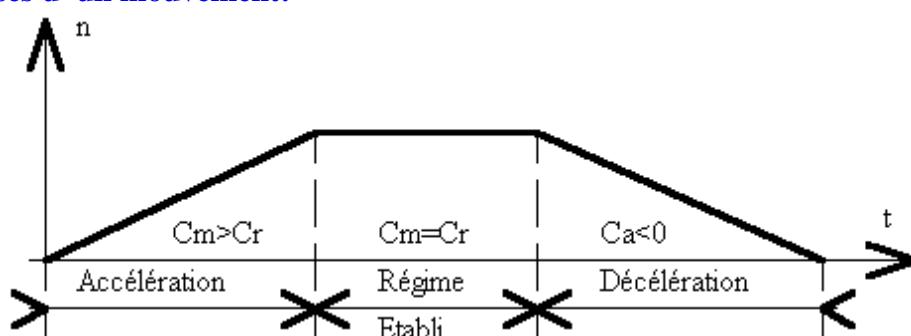
d. Les quatre quadrants:

Notons que:



Les quadrants Q1 et Q3 sont liés à une égalité de signe entre C et n : la puissance est positive et elle est fournie à la mécanique.
 Les quadrants Q2 et Q4 sont liés à une différence de signe entre C et n : la puissance est négative et elle est fournie par la mécanique, en remontant le découpage fonctionnel que nous avons adopté. Ceci suppose que tous les éléments de la chaîne gèrent cette réversibilité en puissance.

e. Phases d'un mouvement:

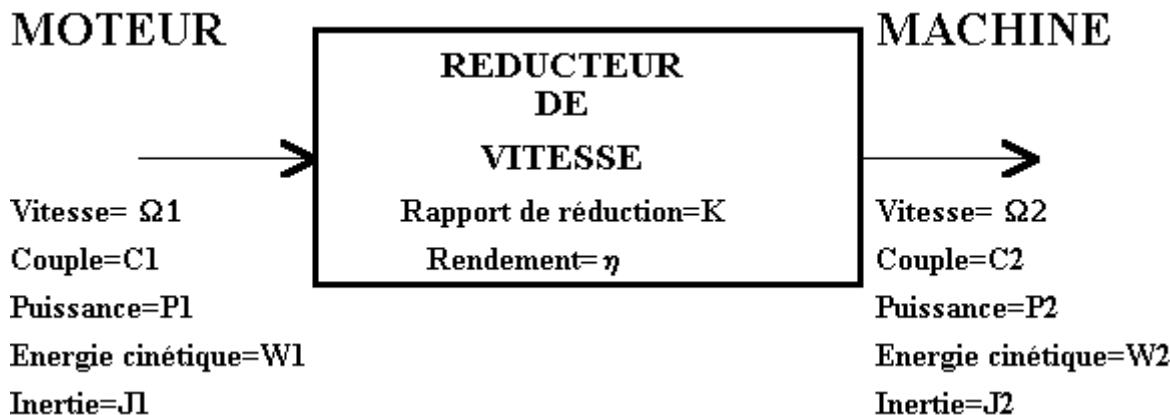


Note: il peut y avoir réversibilité en puissance dans la phase de décélération.



4. Le réducteur:

a. Rôle:



i. Vitesse:

$$\Omega_2 = K \cdot \Omega_1$$

ii. Puissance:

$$P_2 = \eta \cdot P_1$$

iii. Couple:

$$C_2 \cdot \Omega_2 = \eta \cdot C_1 \cdot \Omega_1 \text{ d'où } C_1 = K \cdot C_2 / \eta$$

Vu du moteur, le couple est réduit dans le même rapport que la vitesse . A l' instar du transformateur en électricité qui est un réducteur de courant vu du primaire, le réducteur est surtout un réducteur de couple vu de son entrée.

iv. Énergie cinétique:

$$W = (1/2) J \cdot \Omega^2$$

$$W_2 = \eta \cdot W_1$$

v. Inertie:

$$J_2 \cdot \Omega_2^2 = \eta \cdot J_1 \cdot \Omega_1^2 \text{ d'où } J_1 = K^2 \cdot J_2 / \eta$$

Vue du moteur, l'inertie est réduite dans un rapport carré de celui de la vitesse : on arrivera dans certains cas à des machines entraînées pour lesquelles l' inertie ramenée à l' arbre moteur devient comparable à celle du moteur seul (voire négligeable devant celle du moteur).

Il va de soi que des bons rendements de réducteurs sont également primordiaux. Pour information:

- les réducteurs à engrenages ont des rendements pouvant atteindre 98 %,
- les réducteurs à roue et vis sans fin ont des rendements au pire égaux à 34 %.

b. Calcul de l' inertie totale d' une chaîne cinématique:

Il sera indispensable de la ramener à l'arbre moteur:

$$J = J_{\text{moteur}} + J_{\text{méca}} \cdot K^2 / \eta$$

c. Intérêt économique du réducteur:

On pourrait dans certains cas être tenté de choisir des moteurs à vitesse plus basse pour s'affranchir du réducteur. Voici des chiffres relevés sur le catalogue LEROY SOMMER, pour des moteurs de puissance utile 4 kW:

Référence	Vitesse de synchronisme	Masse
LS112M	3000 tr/min	26 kg
LS112M	1500 tr/min	26 kg
LS132M	1000 tr/min	56 kg
LS160M	750 tr/min	72 kg

Le coût d'un moteur est fonction de sa masse, laquelle est quasiment proportionnelle au couple demandé. On a donc intérêt à choisir le moteur qui a la plus grande vitesse, sachant que la vitesse standard est de 1500 tr/mn. A noter sur ce tableau la similitude entre 1500 et 3000 tr/mn: les constructeurs ont uniformisé la construction des carcasses pour cette gamme.

d. Remarque importante :

En cas d'un fonctionnement en réversibilité de puissance (machine entraînante), il faudra veiller à choisir un réducteur réversible (en particulier, le réducteur à roue et vis sans fin n'est pas réversible)

II. LE MOTEUR ELECTRIQUE ET DE SON ENVIRONEMENT

2. Impositions liées à la mécanique :

a. Règle fondamentale:

Le meilleur choix est celui qui permet d'obtenir le couple et la vitesse demandés par la machine entraînée. Ceci est une évidence, il est bon de la rappeler car il n'y a absolument pas lieu de surdimensionner.

Au départ, on a déterminé:

- la puissance nécessaire à l'entraînement: $P_e = C_r \cdot \Omega$ au point de fonctionnement voulu (ou dans le cas le plus défavorable s'il y a variation de vitesse)
- la vitesse du moteur sera fréquemment égale à 1500 tr/mn, c'est le réducteur qui adaptera cette dernière à la vitesse de la mécanique.

La puissance utile, en première approche sera la plus proche par excès de la puissance nécessaire à l'entraînement:

$$P_n >= P_e$$

b. Stabilité de l'ensemble en mouvement:

Un système sera dit stable si l'apparition d'une perturbation l'amène à un autre point de fonctionnement stable. Autrement dit, si la mécanique présente un "point dur", l'ensemble doit revenir au point de fonctionnement qu'il avait avant ce point dur.

Si une perturbation tend à réduire la vitesse ($\Omega < \Omega_1$), le couple moteur C_m devient supérieur au couple résistant C_r . Le couple accélérateur C_a est donc positif.

L'accélération $d\Omega/dt$ est positive et l'ensemble revient au point de fonctionnement initial.

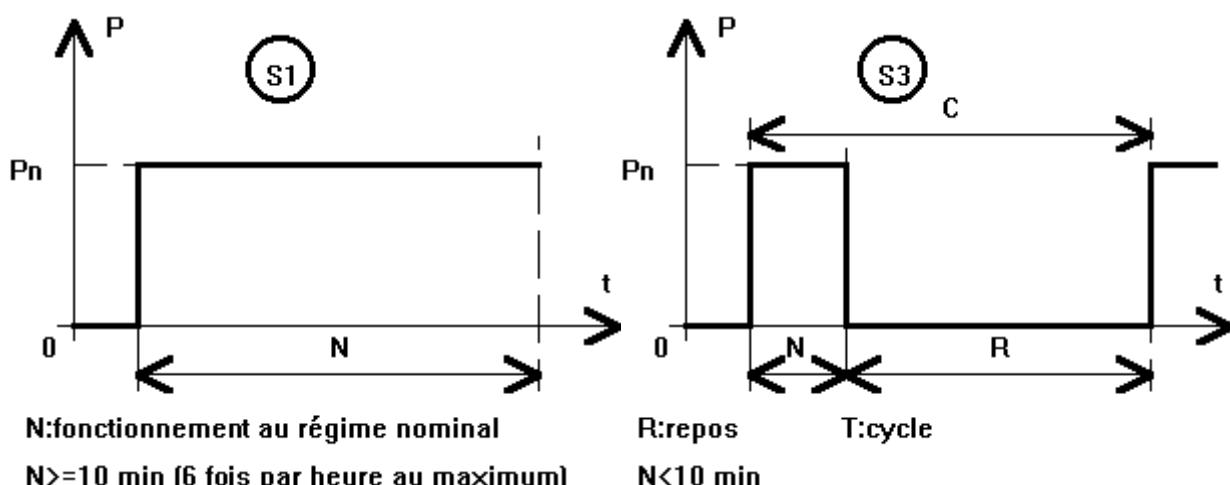
Le régime est stable si la pente de C_m est inférieure à celle de C_r (et réciproquement)

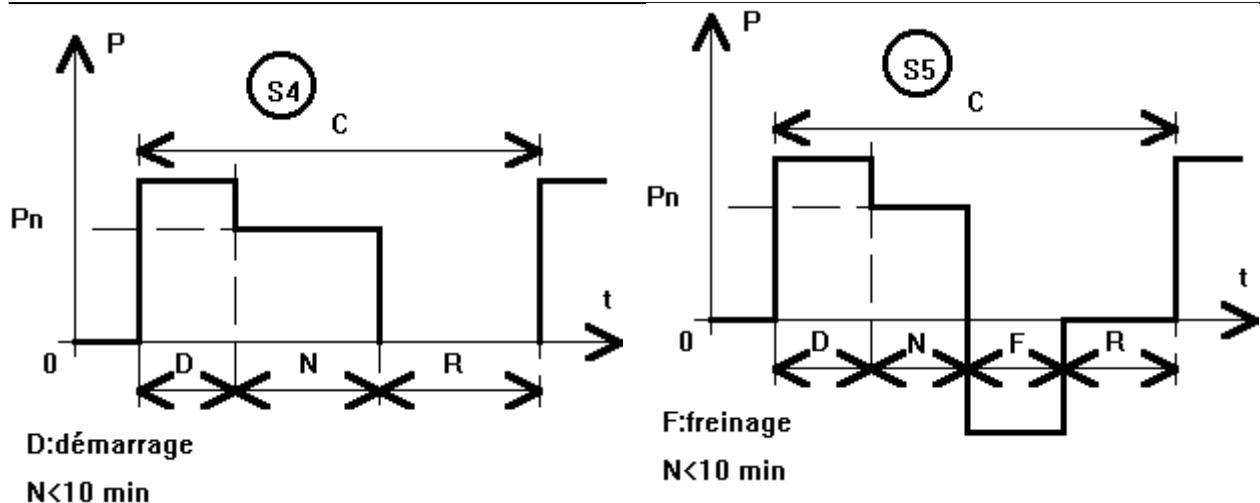
La connaissance de l'allure des deux types de couples permettra de vérifier la stabilité au point de fonctionnement (ou sur toute la plage de variation de vitesse s'il y a lieu)

c. Les conditions d'exploitation:

La puissance utile nominale d'un moteur représente la puissance mécanique qu'il sera capable de fournir pour son équilibre thermique sans échauffement excessif. Les constructeurs donnent donc cette caractéristique pour un régime ayant le temps de se stabiliser.

La norme a encadré cette notion. Ce type de fonctionnement est appelé SERVICE TYPE S1, il s'agit d'un service continu. Le temps de fonctionnement est au moins égal à 10 minutes et il y a au plus 6 démarriages par heure.





Les conditions d'exploitation n'étant pas toujours aussi simples, la norme a défini d'autres services-types, dits intermittents, dont les chronogrammes sont donnés ci-dessus.

Si le service est intermittent, il n'est plus possible d'utiliser les tableaux fournis par les constructeurs. Il faudrait calculer la puissance efficace:

$$P_e = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n P_{ei} t_i}{\sum_{i=1}^n t_i}}$$

Cette relation générale purement théorique est souvent peu exploitable. Les constructeurs fournissent abaques et courbes. On peut aussi raisonner en termes de:

i. Facteur de marche:

Il s'agit du rapport durée de fonctionnement / durée d'un cycle:

$$k_m = \frac{D+N+F}{C}$$

ii. Classe de démarrage:

Elle est représentative du nombre de démarrages et freinages par heure:

$$N_d = n_d + a \cdot n_f + b \cdot n_i$$

- N_d : classe de démarrage,
- n_d : nombre de démarrages complets dans l'heure,
- n_f : nombre de freinages électriques dans l'heure,
- n_i : nombre d'impulsions (démarrages incomplets jusqu'au tiers de la fréquence de rotation nominale) dans l'heure.

Constantes (selon Leroy-Sommer):

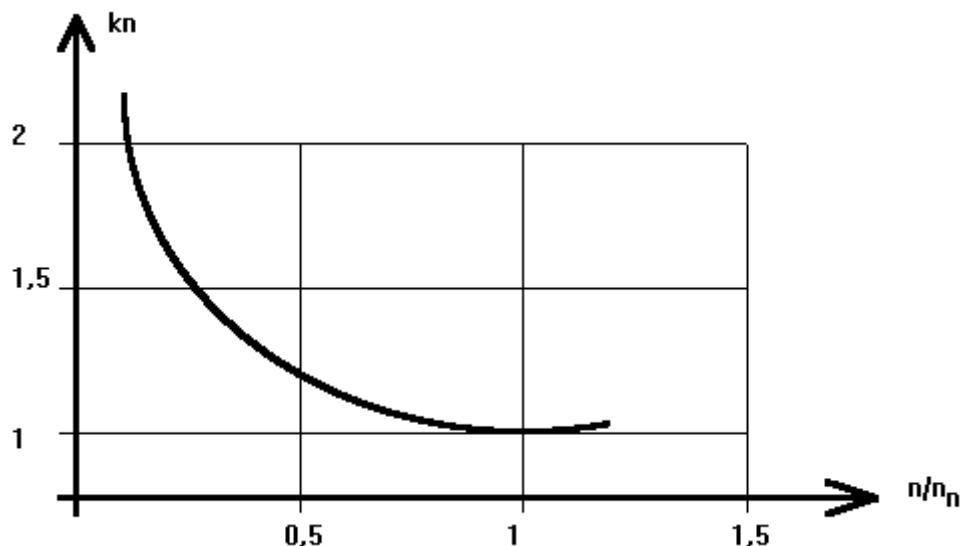
Constantes	a	b
Moteur à cage	3	0,5
Moteur à bagues	0,8	0,25

Le facteur de marche et la classe de démarrage sont ensuite intégrés dans des tableaux et abaques pour corriger la puissance du moteur.

d. La plage de variation:

Un moteur est dimensionné pour son échauffement à puissance nominale.
S'il est auto ventilé, le fait de le faire fonctionner à vitesse inférieure à la vitesse nominale ralentit la ventilation, donc la dissipation de l'échauffement: il faut déclasse le moteur en puissance.

Exemple selon Leroy-Sommer:



3. Impositions liées à l'environnement:

a. La température:

Aucun problème pour $\theta_a \leq 40^\circ\text{C}$. Au-dessus, déclasse de 1 % par $^\circ\text{C}$.

Exemple 1 :

$P_e=11 \text{ kW}; \quad \theta_a = 50^\circ\text{C}$

Puissance minimale du moteur: $P_n \geq 11/0,9=12,2 \text{ kW}$.

Exemple 2:

Moteur de 15 kW à 55°C

Puissance maximale du moteur: $P_M = 15 * 0,85 = 12,75 \text{ kW}$.

Nota: classe des isolants:

CLASSE DE L'ISOLANT selon NFC 51 111	échauffement limite pour $\theta_a \leq 40^\circ\text{C}$	température limite
A	60	100
E	75	115
B	80	120
F	100	140
H	125	165

Les déclassements ci-dessus s'appliquent aux moteurs isolés en classe E (standard)

On peut ne pas déclasse si on modifie la classe des isolants en conséquence: il s'agit essentiellement d'un critère économique.

b. L'altitude:

Aucun problème si l'altitude est inférieure à 1000 m.

Au-dessus, déclasser de 0,6 % par tranche de 100 m ou abaisser la température ambiante de 0,8 °C par tranche de 100 m.

Exemple:

Machine entraînée: $P_e = 11 \text{ kW}$ pour une altitude de 2000 m.

Puissance minimale du moteur: $P_m = 11 * 1 / 0,94 = 11,7 \text{ kW}$ si $\theta_a \leq 40^\circ\text{C}$
ou $P_m = 11 \text{ kW}$ si $\theta_a \leq 32^\circ\text{C}$.

4. En Conclusion

Pour déterminer la puissance du moteur d'entraînement, il faut:

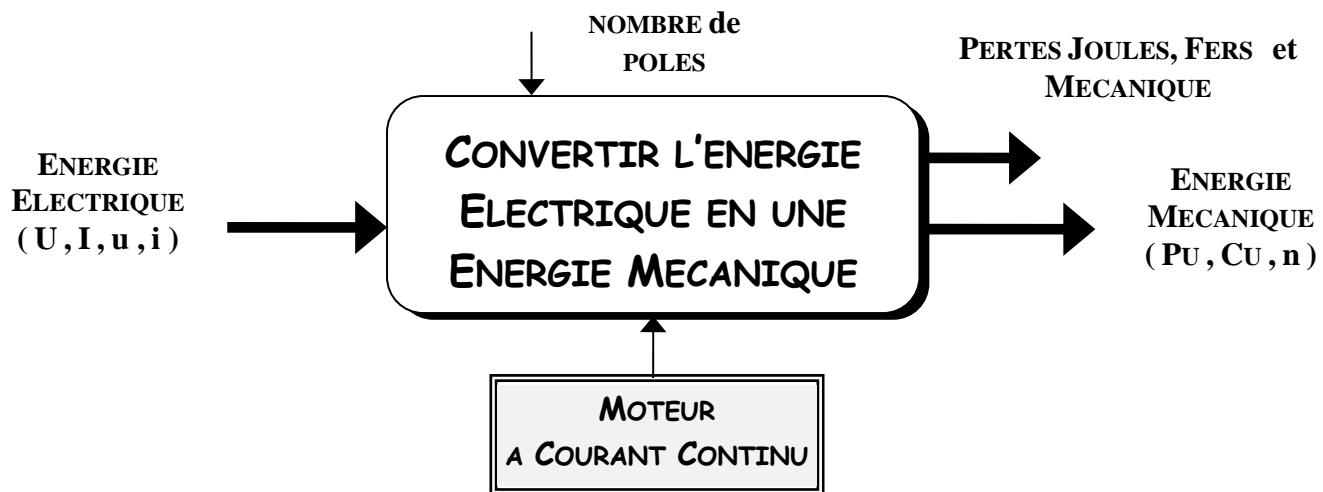
- 1. Déterminer la puissance d'entraînement (critères mécaniques),
- 2. Rechercher les corrections à partir des conditions d'environnement, appliquer les déclassements nécessaires,
- 3. Déclasser éventuellement si basses vitesses (par rapport à la vitesse nominale),

B- LE MOTEUR A COURANT CONTINU

OBJECTIFS :

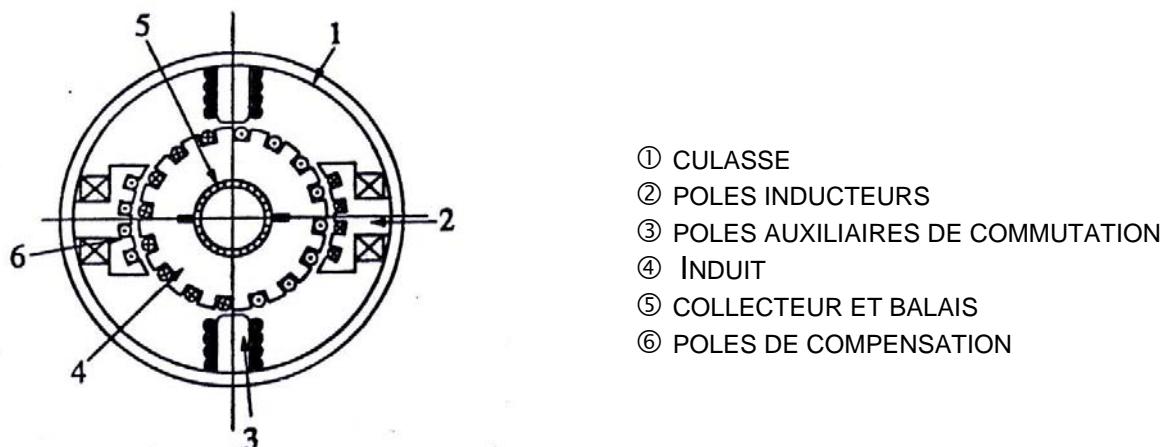
- Connaître le principe de fonctionnement du moteur à courant continu,
- Identifier les différents types de moteur à courant continu,
- Connaître les différents types de commande du moteur à courant continu et les éléments qui les caractérisent,
- Connaître les conditions de démarrage d'un moteur à courant continu.

I. FONCTION



II. PRESENTATION DU MOTEUR A COURANT CONTINU.

1. Présentation :



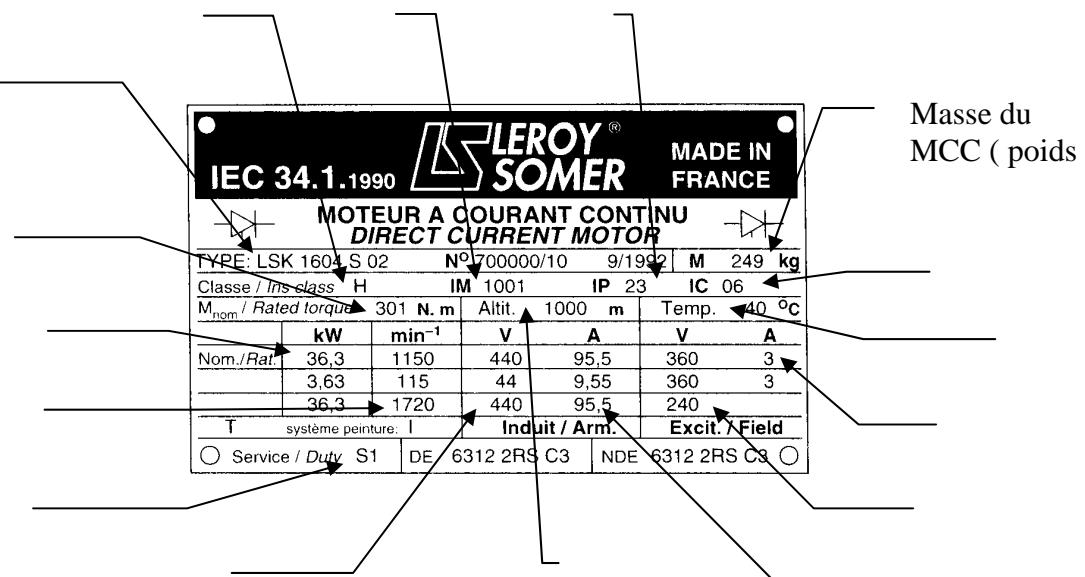
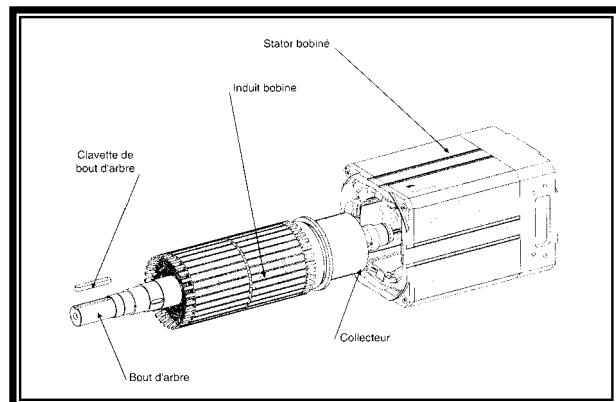
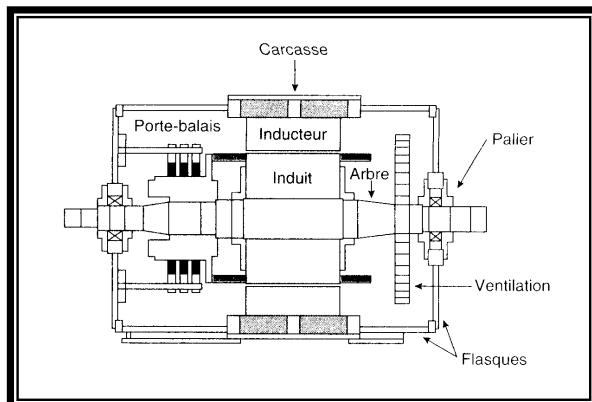
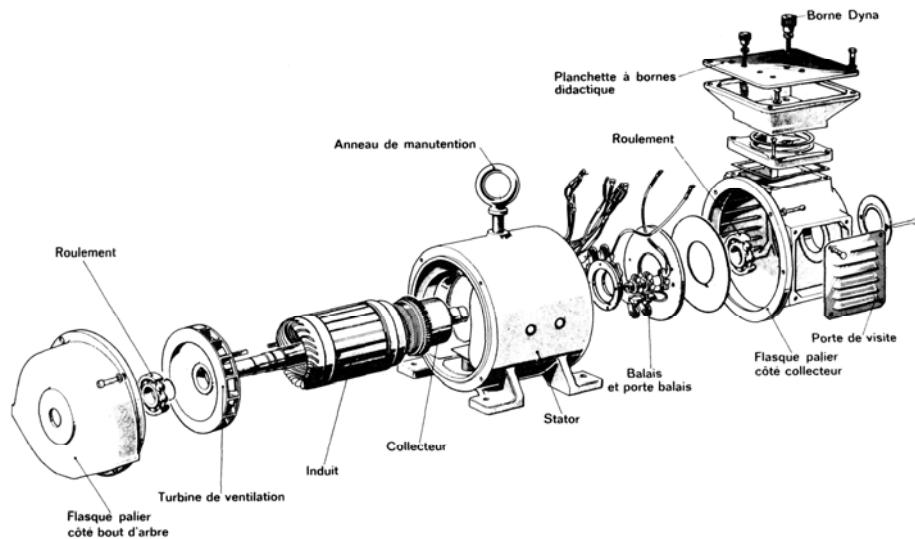
- L'inducteur comporte un bobinage fixe parcouru par le courant d'excitation i qui crée un champ magnétique dont le flux total est Φ . Dans les petits moteurs le bobinage est parfois remplacé par un aimant permanent (variation de flux impossible).
- L'induit comporte un bobinage avec de nombreuses prises connectées au collecteur à lames (inconvénient) de cuivre sur lequel frottent 2 balais fixes en carbone par lesquels arrive le courant I .

La tension aux bornes des balais est U

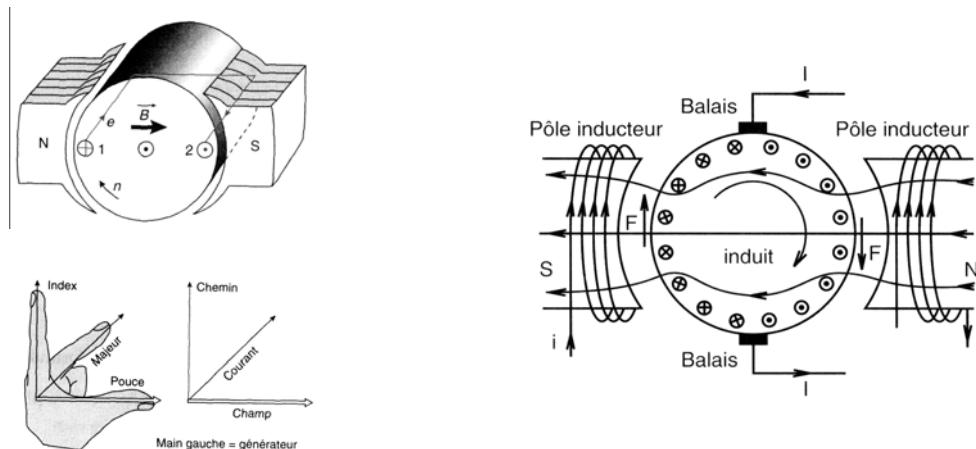
- Les pôles de compensation servent à limiter la réaction d'induit.



2. Vue éclatée et plaque signalétique d'un moteur à courant continu.



3. Principe de fonctionnement :



- Lorsque les inducteurs sont alimentés, ils créent un champ magnétique dans l'entrefer.
- Quand l'induit est alimenté, ses conducteurs situés sous un même pôle sont parcourus par des courants de même sens et soumis à une force.
- Les conducteurs situés sous le pôle opposé sont soumis à une force de même intensité et de sens opposé.
- Les deux forces créent un couple qui fait tourner l'induit du moteur.
- Pour inverser, le sens de rotation d'un moteur à courant continu, il suffit d'inverser les polarités de la tension d'alimentation de l'induit ou des inducteurs

4. Différents types de moteurs à courant continu.

Suivant le branchement de l'induit et du type d'inducteur, on peut réaliser 4 types de moteur à courant continu :

- * Moteur à excitation indépendante ou séparée,
- * Moteur à excitation shunt (ou dérivation) ,
- * Moteur à excitation série,
- * Moteur à excitation compound (longue ou courte dérivation)

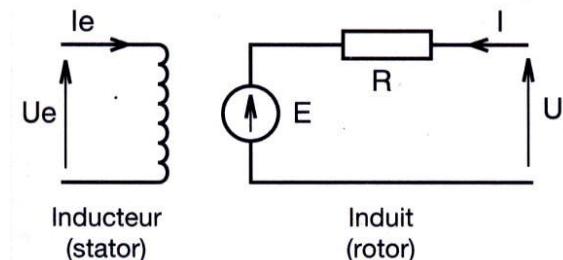
MOTEURS A COURANT CONTINU LES PLUS USITES :

Type	SYMBOLES	Caractéristiques - utilisation
Excitation séparée		<ul style="list-style-type: none"> - Moteur Standard possédant un couple de démarrage Cd faible. - Le plus répandu car son principe autorise une variation de vitesse (alimentation par variateur électronique). - Plage de variation de vitesse de n_n à $n_n / 6$ sans déclassement.
AIMANTS PERMANENTS		<ul style="list-style-type: none"> - L'excitation est assurée par des aimants permanents conférant à la machine un champ constant élevé. - Très utilisé en robotique pour ses possibilités de précisions dans le positionnement avec boucle d'asservissement et sa rapidité d'arrêt. - Lors de démarrage et ralentissement contrôlés
EXCITATION SERIE		<ul style="list-style-type: none"> - Très fort couple de démarrage. - Couple très important à basse vitesse (s'emballe à faible charge), couple faible à vitesse élevée. - Utilisé en traction électrique.

Nota : Le moteur est naturellement réversible.

5. Equation de fonctionnement du moteur :

- Moteur à excitation séparée.



R : résistance de l'induit en Ohms
 E : force électromotrice en Volt
 I : courant dans l'induit en ampères
 U : tension d'alimentation de l'induit
 Ie : courant d'excitation en ampères
 Ue: tension d'alimentation des inducteurs

- FORCE ELECTROMOTRICE (rappels)

$$E = \frac{p}{a} N n \Phi = K n \Phi$$

$$U = E + RI$$

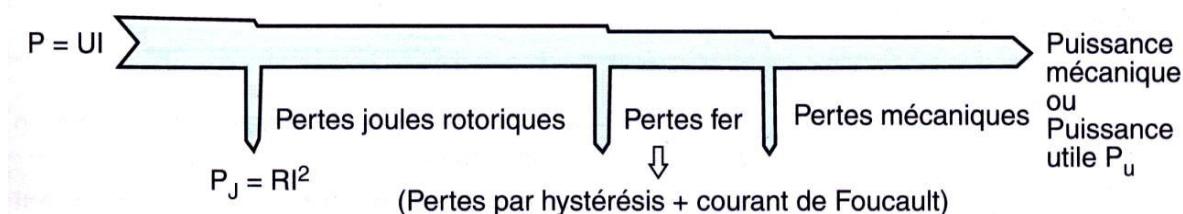
$$P = UI$$

$$Pe = EI$$

$$Te = \frac{Pe}{\Omega} = \frac{EI}{\Omega} = \frac{Kn\Phi I}{2\pi n} = \frac{K}{2\pi} \Phi I$$

p : nombre de paires de pôles
 a : nombre de voies d'enroulement
 N : nombre de conducteurs actifs
 Φ : flux utile par pôle en Webers
 n : vitesse en tours / seconde
 K : constante de vitesse en V / tr / s
 K : p/a N
 P : puissance absorbée en Watts
 Pe : puissance électromagnétique en Watts
 Te : couple électromagnétique en Nm

- BILAN DES PUISSEANCES DU MOTEUR



Si l'on néglige les pertes fer et les pertes mécaniques, on peut modéliser la machine à courant continu par les équations suivantes :

$$T = K_1 \Phi I \quad \text{et} \quad N = \frac{U}{K_2 \Phi}$$

- Le flux Φ crée par le circuit inducteur est indépendant du circuit induit.
- Le couple détermine les dimensions du moteur.
- On constate que les paramètres de commande, vitesse et couple sont indépendants ce qui permet d'obtenir une variation de vitesse sur ce type de moteur.

Si le flux est constant :

* La vitesse N est l'image de la tension U : $N = K_2 U$

$$* \text{ Le courant est l'image du couple} \quad T : T = K_1 I$$

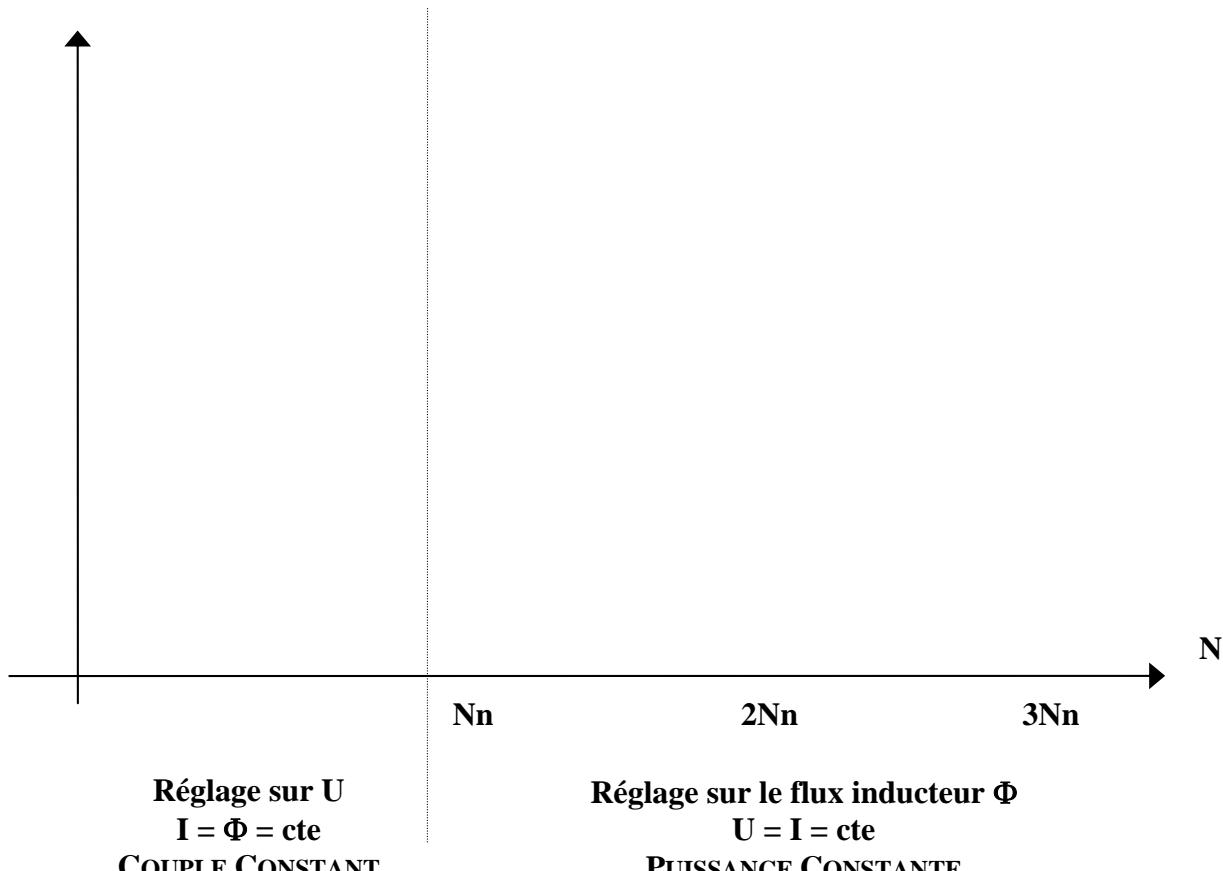
D'après ces équations, deux fonctionnements sont possibles pour la variation de vitesse :

☞ LA COMMANDE D'INDUIT : On fait varier la tension U

- Si l'on garde le flux constant alors $N = K_2 U$
- Ce procédé est utilisé pour des vitesses $N < N_n$
- Si, en plus, $I = \text{cte}$ alors $T = \text{cte}$ d'où un **FONCTIONNEMENT A COUPLE CONSTANT**
- La gamme de vitesse obtenue est comprise entre 1 et 100

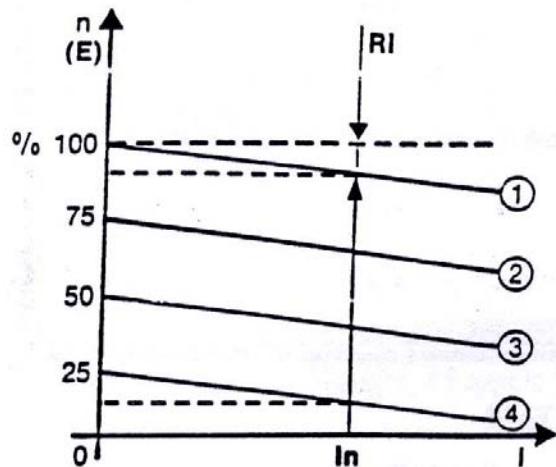
☞ LA COMMANDE D'INDUCTEUR : On fait varier le flux Φ

- Utilisé si on veut dépasser la vitesse nominale N_n
- Si $U = \text{cte}$ alors $N = \frac{K_3}{\Phi}$
- Si U et $I = \text{cte}$ alors $P = \text{cte}$ d'où un **FONCTIONNEMENT A PUISSANCE CONSTANTE**
La gamme de vitesse obtenue peut atteindre (2 à 3 fois N_n)



6. Caractéristiques électriques et électromécaniques

6.1. Caractéristique électrique

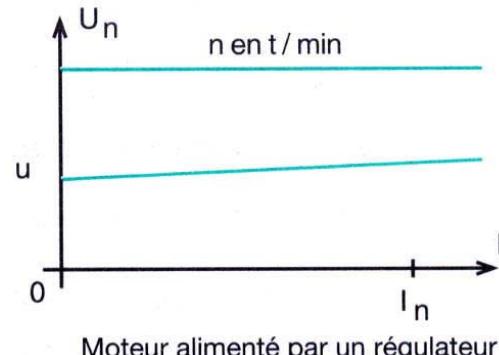
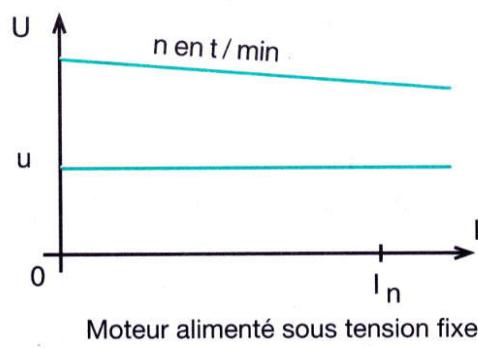


- Entre la marche à vide et la marche en charge (si U et $i = \text{cte}$) une chute de vitesse correspond à la chute du terme $\frac{RI}{K}$.

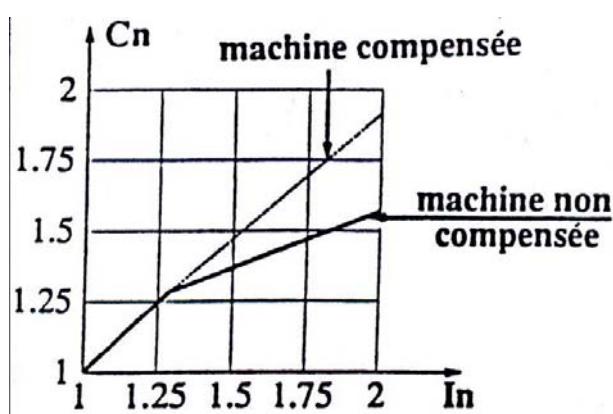
- Cette chute, en valeur absolue indépendante de la vitesse, amène une variation de vitesse relative plus importante à bas régime qu'à pleine vitesse.

- Si l'on veut une vitesse constante, la tension U doit, en permanence, compenser cette chute, variable non seulement avec la charge mais avec les autres facteurs perturbateurs, d'où l'intérêt d'une régulation.

Mode d'action du régulateur à Φ constant.



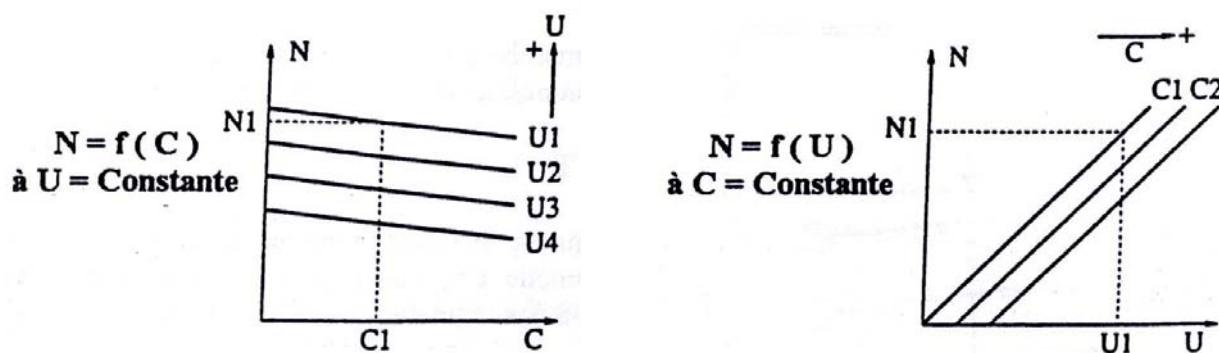
6.2. Couple disponible avec une machine compensée



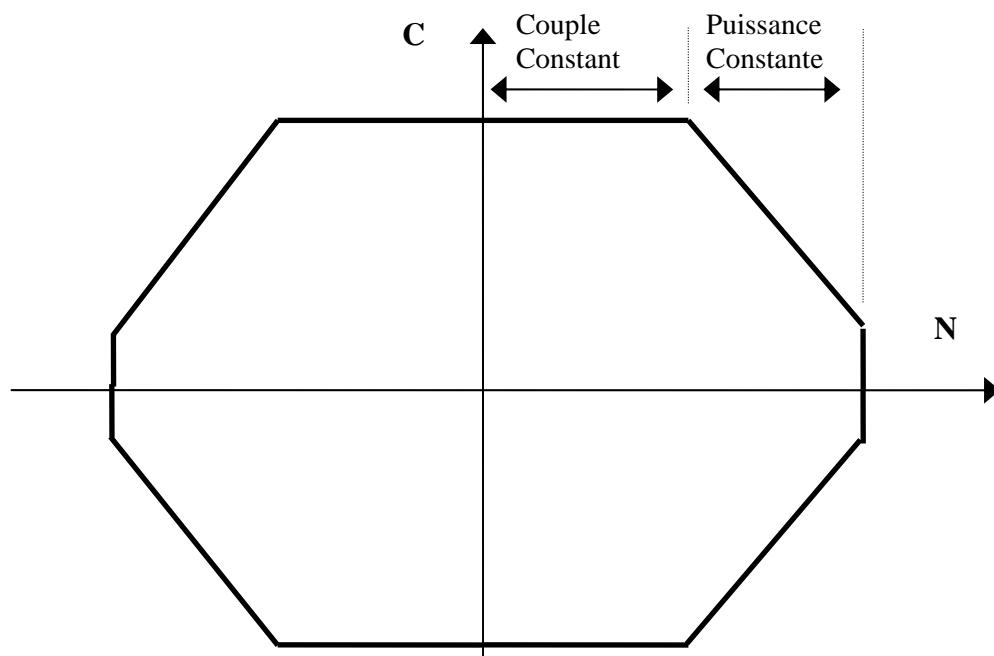
Avec des enroulements de compensation, le couple reste sensiblement proportionnel au courant même, jusqu'à 200 % de I_n .

La machine peut faire varier rapidement son courant, son couple, et peut disposer d'un couple supplémentaire sans augmentation importante de courant.

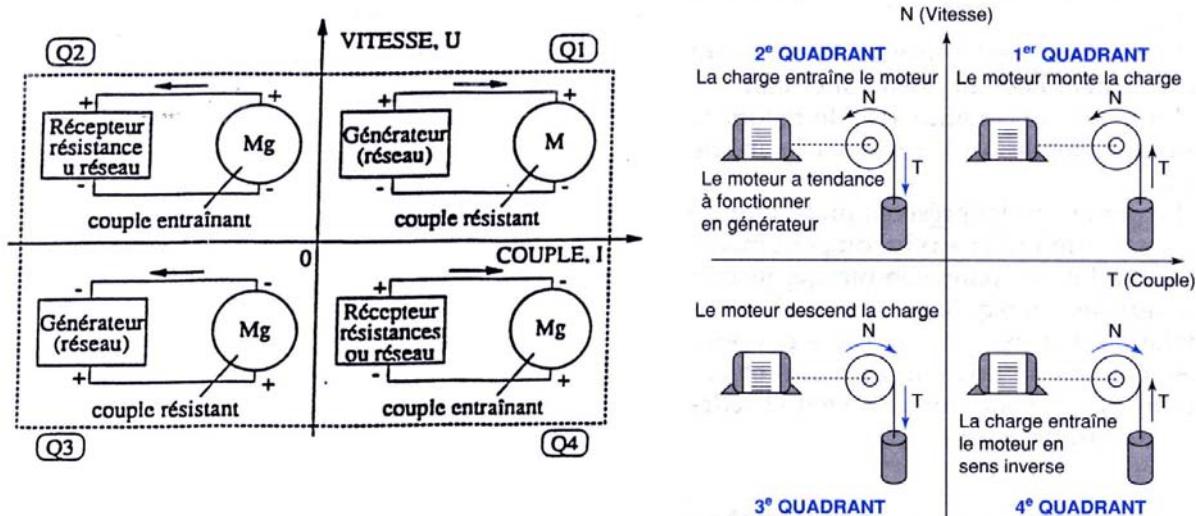
6.3. Caractéristiques électromécaniques.



7. Domaines de fonctionnement dans le plan couple / vitesse.



8. Fonctionnement du moteur à courant continu dans les 4 quadrants



III. COMMANDE DU MOTEUR A COURANT CONTINU

1. Généralités :

a) Inversion du sens de rotation :

Il faut changer soit :

- Le courant dans l'inducteur (courant d'excitation)
- Le courant dans l'induit (inversion de la tension d'alimentation) [à conseiller]

b) Problèmes de Démarrage :

- Limiter le courant de démarrage (soit en insérant une résistance **R**, soit en faisant varier **U** induit)
- Au démarrage, flux Φ inducteur maximum, donc courant d'excitation **i** maximum et la résistance dans le circuit inducteur le plus faible possible.

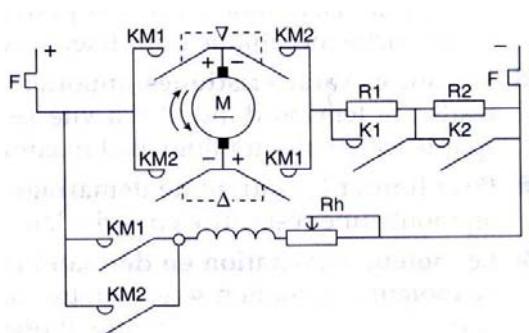
c) Problèmes de Fonctionnement :

- Si le flux inducteur tend vers 0 ou s'annule (cas d'une coupure du circuit inducteur) la vitesse de rotation tend vers l'infini : **le moteur s'emballe**.
- Il ne faut jamais alimenter l'induit d'un moteur à courant continu sans avoir alimenté son inducteur.

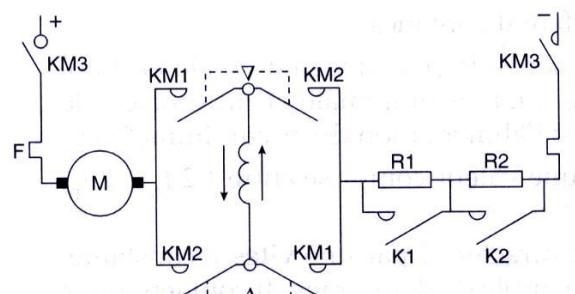
2. Démarrage d'un moteur à courant continu à excitation indépendante 2 sens de marche.

2.1. Avec insertion de résistances.

INDUIT

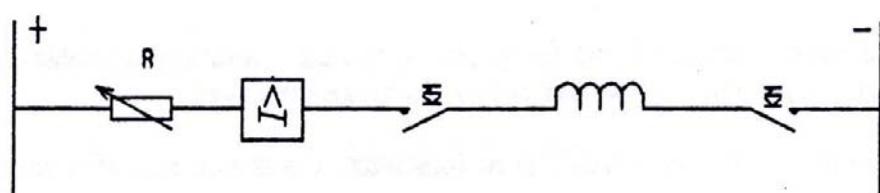


excitation en dérivation (shunt)

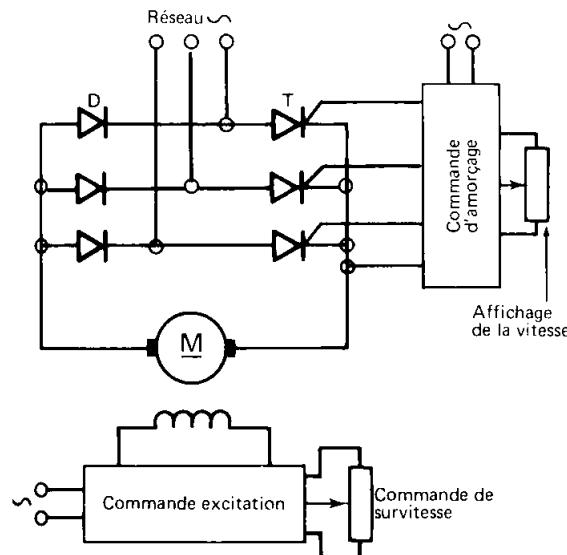


excitation série

INDUCTEUR



2.2. Avec alimentation électronique de puissance.



3. Freinage du moteur à courant continu

2 types de freinage :

- **FREINAGE MECANIQUE** : Association avec un électro-frein.

- **FREINAGE ELECTRIQUE** :

- Par diminution de la tension U (très peu utilisée)
- Freinage par contre courant.
- Freinage rhéostatique (débit sur résistance)
- Freinage par récupération (débit sur le réseau)

IV. MAINTENANCE DU MOTEUR A COURANT CONTINU.

Le moteur à courant continu possède 2 points faibles :

- **LE COLLECTEUR**
- **LES BALAIS**

Le collecteur est traversé par un courant très intense et le frottement des balais à sa surface provoquent une usure non négligeable qui constraint à un réunissage régulier. Le collecteur est également le siège d'arcs électriques dus aux phénomènes de commutation des courants quand le balai passe d'une lame à une autre.

Cet organe est, en plus, assez fragile. Il faut en effet maintenir côté à côté un nombre conséquent de lames tout en gardant un isolement correct entre les lames. Il est également soumis à une force centrifuge qui tend à éjecter les lames d'où la limitation en vitesse.

Les balais seront changés d'une façon périodique en respectant la qualité d'origine. La durée de vie dépend de l'application du moteur et de l'ambiance du travail.

Si le choix du moteur est correct, donc judicieux, l'entretien est réduit sur un moteur à excitation séparée.

V. CHOIX DU MOTEUR A COURANT CONTINU.

Il se fait à partir :

- Des caractéristiques de la machine à entraîner.
- Du régime de fonctionnement.

Les avantages du moteur à courant continu (**couple de démarrage, rendement élevé, gamme étendue de vitesse**) par rapport aux moteurs alternatifs n'existent pratiquement plus depuis l'introduction de calculateurs performants au niveau du contrôle de fonctionnement des machines alternatives.

Moteurs à courant continu LSK 1122 VL Caractéristiques électriques



Les caractéristiques électriques sont données pour :

- alimentation en triphasé pont complet
- degré de protection IP 23
- mode de refroidissement IC 06 (V.F.)
- service continu S1
- température ambiante ≤ 40 °C.

Masse totale : 100 kg
Moment d'inertie : 0,042 kg.m²
Puissance d'excitation : 0,45 kW
62 N.m
 $\eta_{\text{max méca}}$: 4 000 min⁻¹

P kW	Vitesse de rotation <i>n</i> pour tension d'induit <i>U</i>						<i>n</i> _{max} Elec min ⁻¹	M N.M	<i>I</i> A	η	L mH	<i>R</i> _{115°} Ω	<i>U</i> _{max} V	Indice	Délai
		260 V min ⁻¹	310 V min ⁻¹	400 V min ⁻¹	420 V min ⁻¹	440 V min ⁻¹	460 V min ⁻¹	500 V min ⁻¹							
3,5	560						840	60	18,5	0,73	144	4,7	500		
4,3	680						1010	60	18,5	0,75	144	4,7	500		
5,5		900					1100	58	18	0,76	144	4,7	500		
5,8			950				1150	58	18	0,77	144	4,7	500	01	**
6,2				990			1200	60	18	0,78	144	4,7	500		
6,4					120		1220	60	17,5	0,79	144	4,7	500		
6,7						1120	1280	57	17	0,79	144	4,7	500		
4,4	670						1000	63	22,5	0,75	103	3,3	500		
5,3	800						1190	63	22	0,78	103	3,3	500		
6,8		1050					1250	62	21,5	0,79	103	3,3	500		
7,2			1180				1310	58	21,5	0,8	103	3,3	500	02	**
7,6				1160			1370	63	21,5	0,8	103	3,3	500		
7,8					1200		1420	62	21	0,81	103	3,3	500		
8,2						1310	1500	60	20	0,82	103	3,3	500		
5,1	800						1190	61	25,5	0,77	77	2,4	500		
6,1	960						1430	61	25	0,79	77	2,4	500		
7,6		1260					1500	58	24	0,79	77	2,4	500		
8,2			1320				1570	59	24	0,81	77	2,4	500	0,3	**
8,8				1380			1640	61	24	0,83	77	2,4	500		
9,1					1440		1700	60	23,5	0,84	77	2,4	500		
9,4						1570	1800	57	22	0,85	77	2,4	500		
6,6	1000						1480	63	32	0,79	47	1,5	500		
7,9	1190						1770	63	31,5	0,81	47	1,5	500		
10		1580					1840	60	31	0,81	47	1,5	500		
10,8			1650				1930	63	31	0,83	47	1,5	500	04	**
11,6				1730			2020	64	31	0,84	47	1,5	500		
11,9					1810		2100	63	30,5	0,85	47	1,5	500		
12,8						1950	2260	63	30	0,85	47	1,5	500		
9,6	1330						1990	69	45	0,82	26	0,83	500		
11,3	1590						2360	68	44,5	0,82	26	0,83	500		
14,6		2090					2440	67	44	0,83	26	0,83	500		
15,6			2190				2560	68	43,5	0,85	26	0,83	500	05	**
16				2290			2680	67	43	0,85	26	0,83	500		
16,6					2400		2800	66	42,5	0,85	26	0,83	500		
18						2600	3000	66	42	0,86	26	0,83	500		

* : de plus grandes plages de vitesse par désexcitation peuvent être étudiées en fonction de l'application : nous consulter.

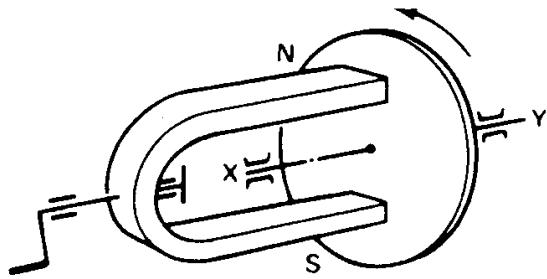
C- LE MOTEUR ASYNCHRONE

OBJECTIFS :

- Connaitre le principe de fonctionnement du moteur asynchrone
- Identifier les différents types de moteur asynchrone,
- Connaitre les modes de démarrage d'un moteur asynchrone.

I. RAPPELS SUR LA MACHINE ASYNCHRONE :

1.1. EXPERIENCE :



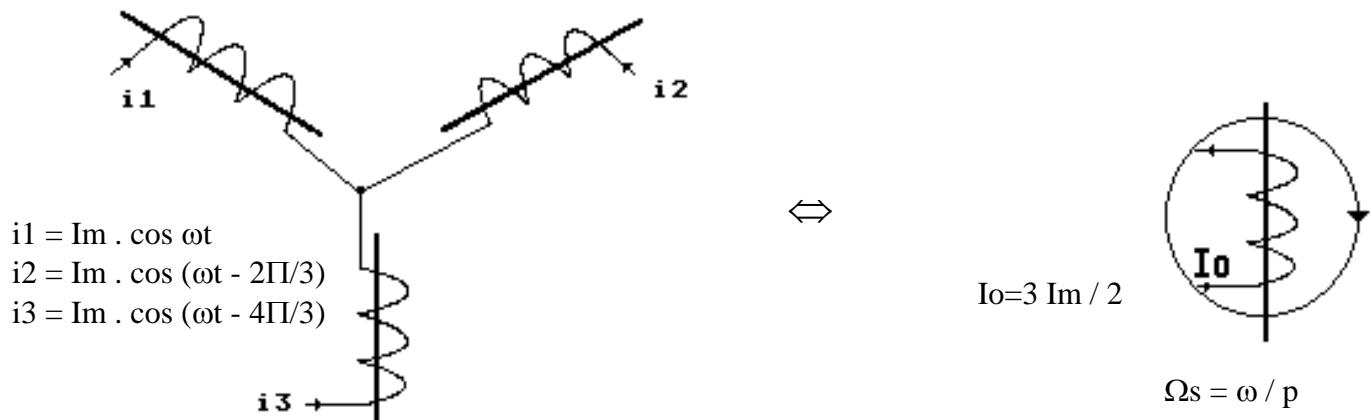
Lorsque l'on fait tourner l'aimant, on réalise un champ tournant qui induit des courants dans le disque (courants de Foucault).

D'après la loi de Lenz, ces courants vont s'opposer à la cause qui leur a donné naissance. C'est à dire qu'ils vont s'opposer au déplacement relatif de l'aimant par rapport au disque. D'où l'apparition d'un couple qui va mettre en rotation le disque.

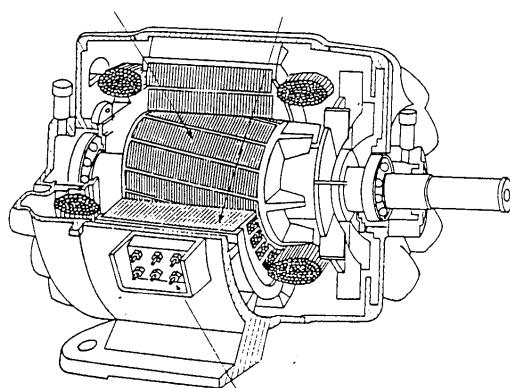
Remarque: la vitesse du disque est asynchrone ($\Omega_{\text{disque}} < \Omega_{\text{aimant}}$)

1.2. RAPPEL DE PHYSIQUE SUR LES CHAMPS TOURNANTS:

Un système de 3 bobines fixes parcourues par un système de 3 courants triphasés équilibrés équivaut à une bobine unique parcourue par un courant continu et tournant à la vitesse Ω_s .
Le champ créé sera à répartition spatiale sinusoïdale.

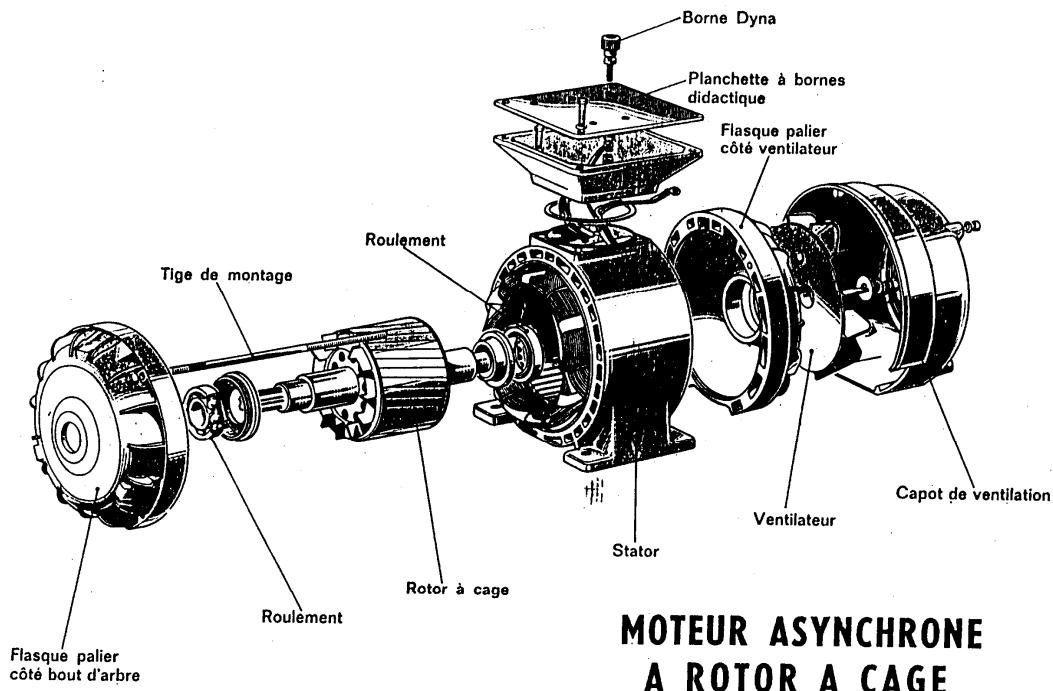


1.3. CONSTITUTION D'UN MOTEUR TRIPHASE :



On distingue 2 types de moteurs

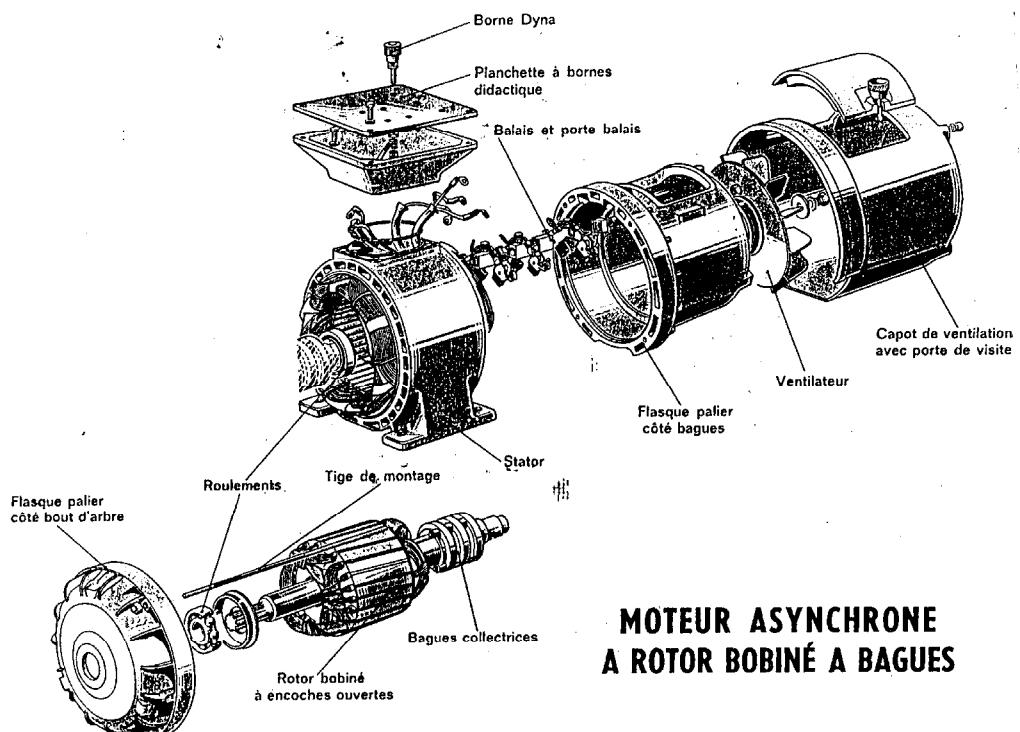
a- Le moteur asynchrone à cage (d'écurseuil)



Le stator est réalisé à partir d'un empilement de tôles d'acier au silicium (réduction des pertes par hystérésis et courants de Foucault) dans lequel sont montés les bobinages. Le tout est ensuite disposé dans la carcasse (acier ou alpax).

Le rotor possède un enroulement formé de barres très conductrices réparties à la périphérie et mises en court-circuit par 2 anneaux.

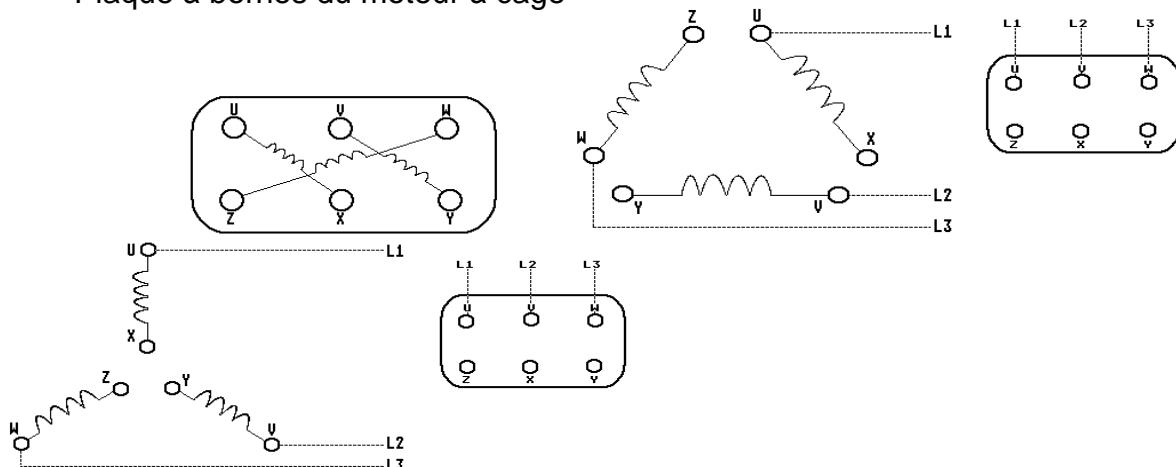
b- Le moteur asynchrone à rotor bobiné (ou à bagues)



Le stator est identique au précédent.

Le rotor est bobiné de la même manière que le stator. Les bobinages sont ramenés sur la plaque à bornes par l'intermédiaire de trois bagues.

Plaque à bornes du moteur à cage:



Exercice: Compléter le tableau ci-dessous relatif au choix du couplage des moteurs en fonction de la tension du réseau.

Tensions figurant sur la plaque signalétique des moteurs ----->

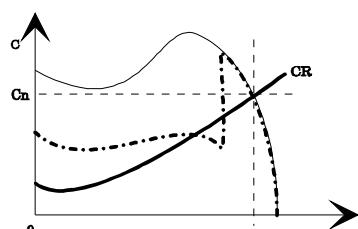
RESEAU MOTEUR 3 ~	127 v entre phases	127/220	220/380	380/660
127/220				
220/380				
380/660				

Remarque: La première tension indique la tension aux bornes d'un enroulement du moteur.

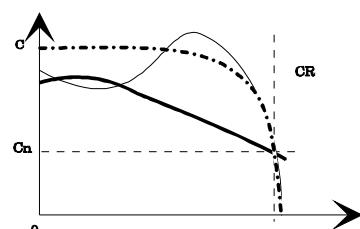
DIFFERENTS TYPES DE COUPLES RESISTANTS

Les moteurs électriques sont susceptibles d'entraîner une très grande diversité de machines ayant des couples résistants différents.

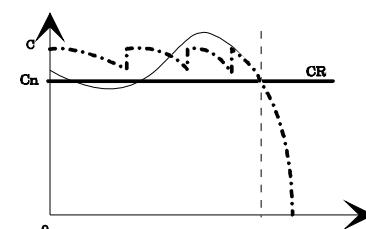
On peut distinguer trois grandes catégories de couples résistants parmi les plus répandus.



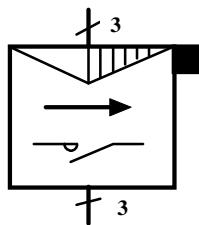
C.R. PARABOLIQUE
Exemple :



C.R. HYPERBOLIQUE
Exemple :



C.R. CONSTANT
Exemple :



LE MOTEUR ASYNCHRONE TRIPHASE

LES PROCEDES DE DEMARRAGE

COMPETENCES :

- ☞ Comprendre les lois et concepts associés aux différents schémas .
- ☞ Exploiter une nomenclature .
- ☞ Identifier dans un équipement , le type de démarrage utilisé .
- ☞ Justifier un type de démarrage par rapport au couple résistant de la machine entraînée.

PREREQUIS :

- ▀ Cours sur la classification générale des machines tournantes .
- ▀ Cours sur les moteurs asynchrones triphasés .
- ▀ Cours sur les caractéristiques d'exploitation du moteur asynchrone .
- ▀ Cours sur les circuits terminaux d'alimentation du moteur asynchrone .

DUREE :

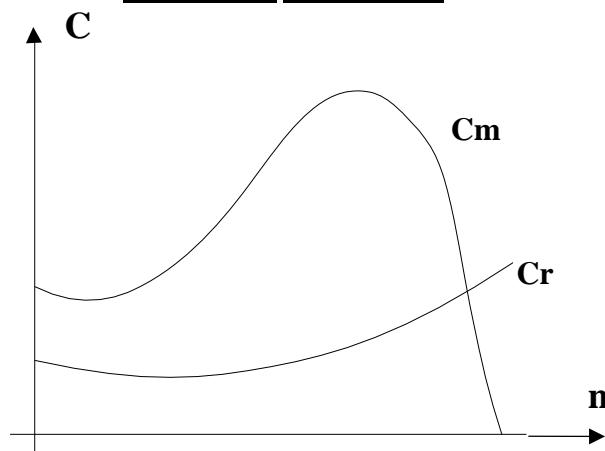
- ⌚ Durée envisagée environ 6 heures

ON DONNE :

- ▀ Le cours à compléter (Des pages 1 à 26 , par étapes de progression).
- ▀ Un tableau récapitulatif en fin de cours (page 27)

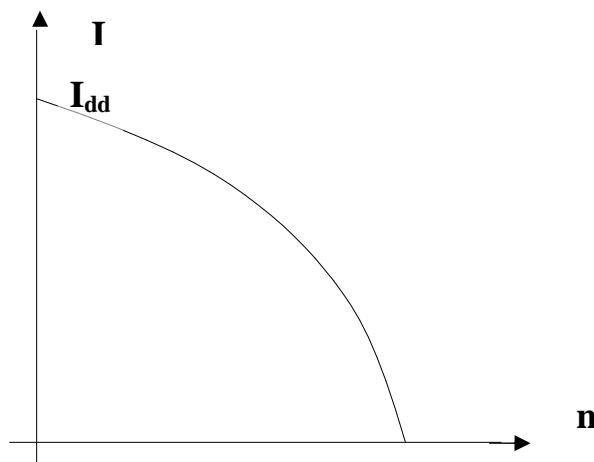
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES :

- ▀ Technologie et schémas d'électricité : *Nathan Technique*
- ▀ Cours de schémas « automatisme - électricité » : *Dunod*
- ▀ Electrotechnique et normalisation : *Nathan technique*
- ▀ Equipements et installations électriques : *Mémotech Educalive*

A. CONDITIONS DE DEMARRAGE .**1. CONDITIONS****→ CONDITION MECANIQUE**

La machine accouplée au moteur oppose pendant le démarrage un couple résistant et une inertie .

Le démarrage ne pourra s'effectuer que si **C_m > C_r** lors de la montée en vitesse .

→ CONDITION ELECTRIQUE

A la mise sous tension , le moteur se comporte comme un transformateur dont le secondaire est en court-circuit

Il en résulte *un appel de courant très important (4 à 8 In)*

Le moteur peut généralement supporter sans danger cette surintensité très brève .

Mais il en résulte une chute de tension inadmissible en ligne , d'où la nécessité dans certains cas d'utiliser des dispositifs réduisant la pointe de courant due au démarrage .

Cette réduction s '*accompagne* obligatoirement *d'une diminution du couple de démarrage*

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

Ex : $U_1 = 400 \text{ V}$, $C_1 = 100 \text{ Nm}$, $U_2 = 205 \text{ V} \Rightarrow C_2 = 26.2 \text{ Nm}$ ($C_2 = \frac{V_2^2}{V_1^2} \times C_1$)

Le courant de démarrage est égal à : $I_d = k \times \frac{U}{Z}$

Afin de diminuer ce courant de démarrage , **2 SOLUTIONS** s'imposent :

- **JOUER SUR LA TENSION D'ALIMENTATION U .**
- **JOUER SUR L'IMPEDANCE Z :**
 - à savoir *insérer des résistances soit sur le stator , soit sur le rotor en fonction de la nature du moteur asynchrone triphasé .*

→ CONCLUSION :

Le branchement du moteur au réseau de distribution peut se réaliser :

- SANS PERTURBATION

Pour les autres récepteurs et sans détérioration du moteur , l'équipement de démarrage est dit à **DEMARRAGE DIRECT** .

- AVEC PERTURBATION

A la fois pour le réseau et les autres récepteurs ou avec détérioration du moteur , l'équipement de force motrice doit assurer le **démarrage** suivant un procédé ***qui élimine ou qui réduit*** dans leurs limites réglementaires ***ces perturbations*** et qui évite toute détérioration.

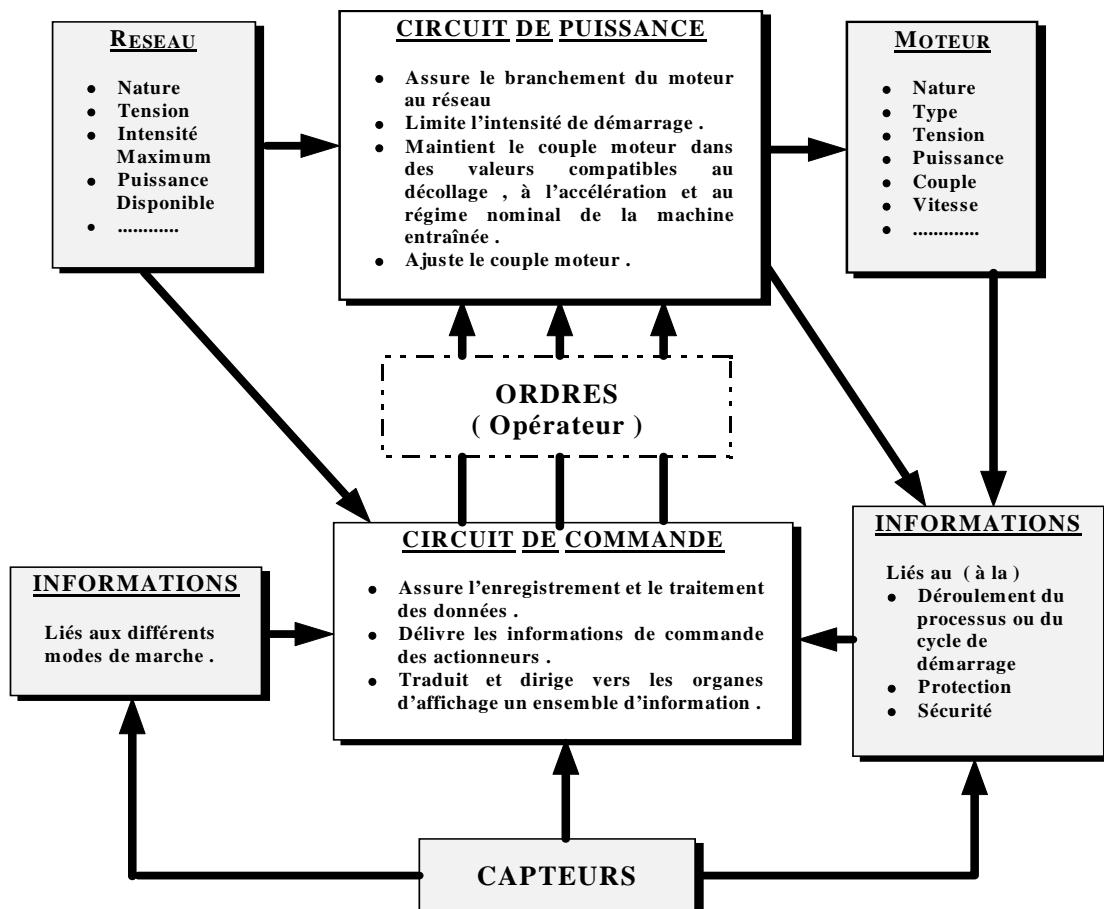
D'une manière générale et quel que soit le type de moteur , les différents procédés de démarrage ont un double rôle :

- Limiter les pointes de courant et les à-coups du couple .
- D'amener le moteur à son régime nominal le plus progressivement possible .

Chaque procédé conventionnel du type électromagnétique , électrolytique ou pneumatique (ex : direct , étoile / triangle) possède ses avantages et ses inconvénients .

Par contre , les démarreurs électroniques permettent d'optimiser les conditions de démarrage , de maintenance et le réglage des différents paramètres mis en jeu .

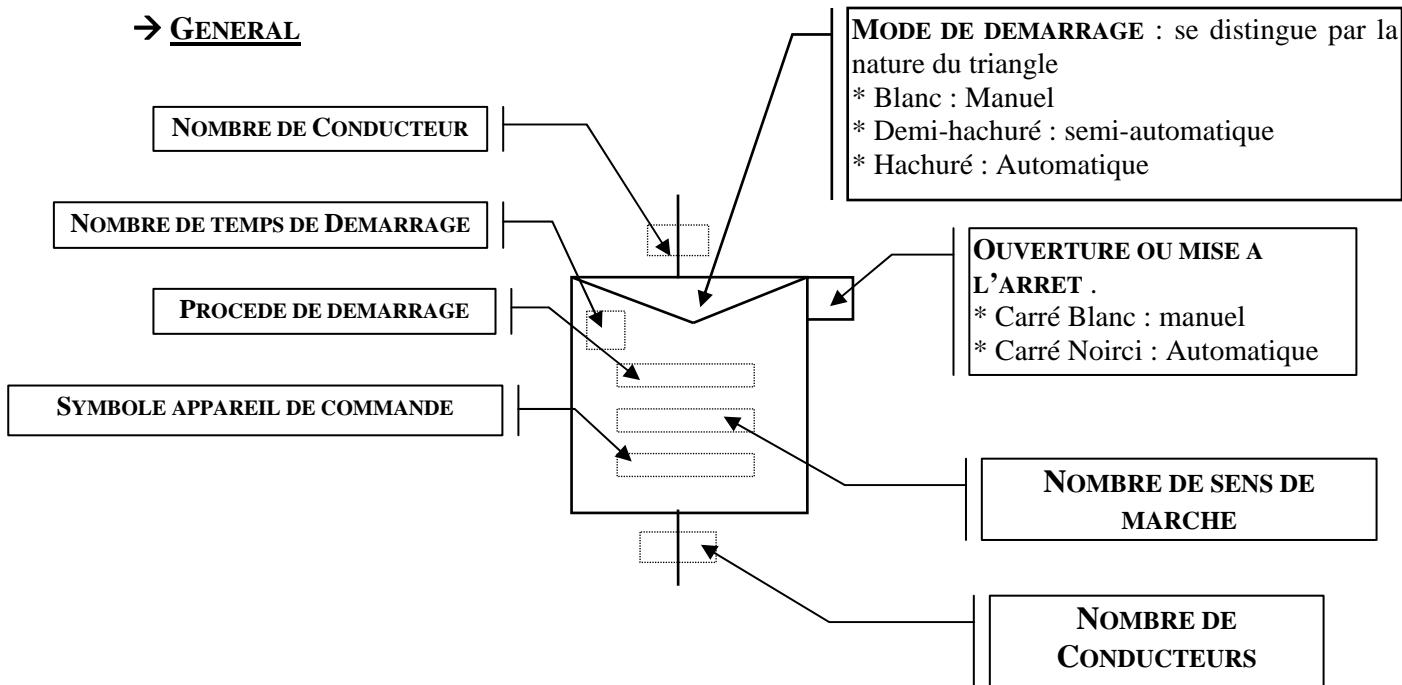
B. ORGANISATION GENERALE D'UN EQUIPEMENT DE DEMARRAGE .



PROCEDES DE DEMARRAGES ELECTROMECANIQUE

A. SCHEMA FONCTIONNEL D'UN DEMARREUR

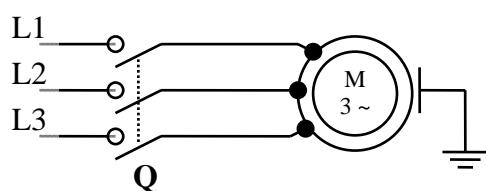
→ GENERAL



B. DEMARRAGE DIRECT

C'est le procédé de démarrage le *plus simple* qui ne peut être exécuté qu'avec un **Moteur Asynchrone à Cage d'Ecureuil** ou **Rotor en Court-Circuit**.

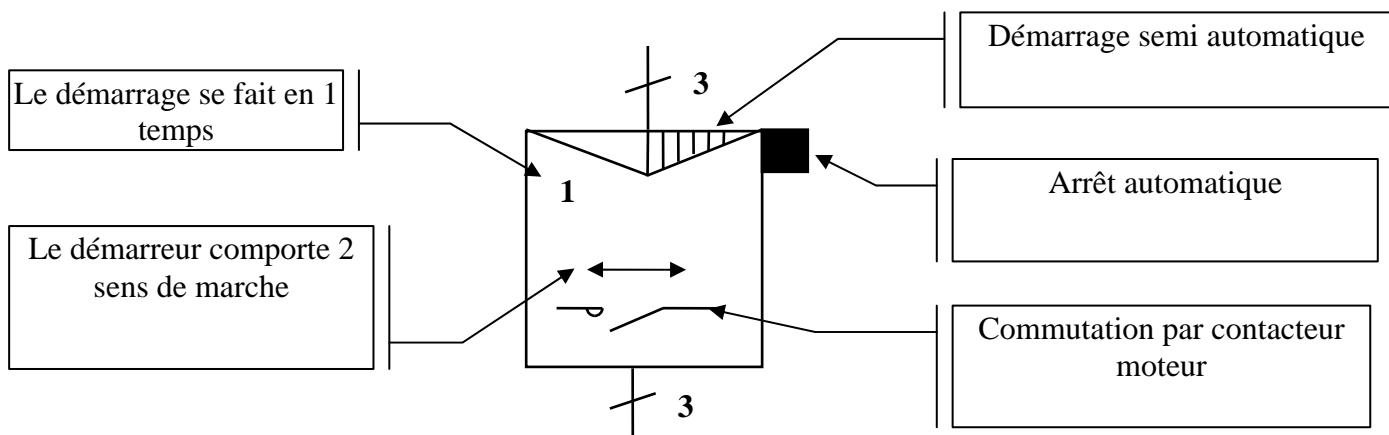
1. PRINCIPE :



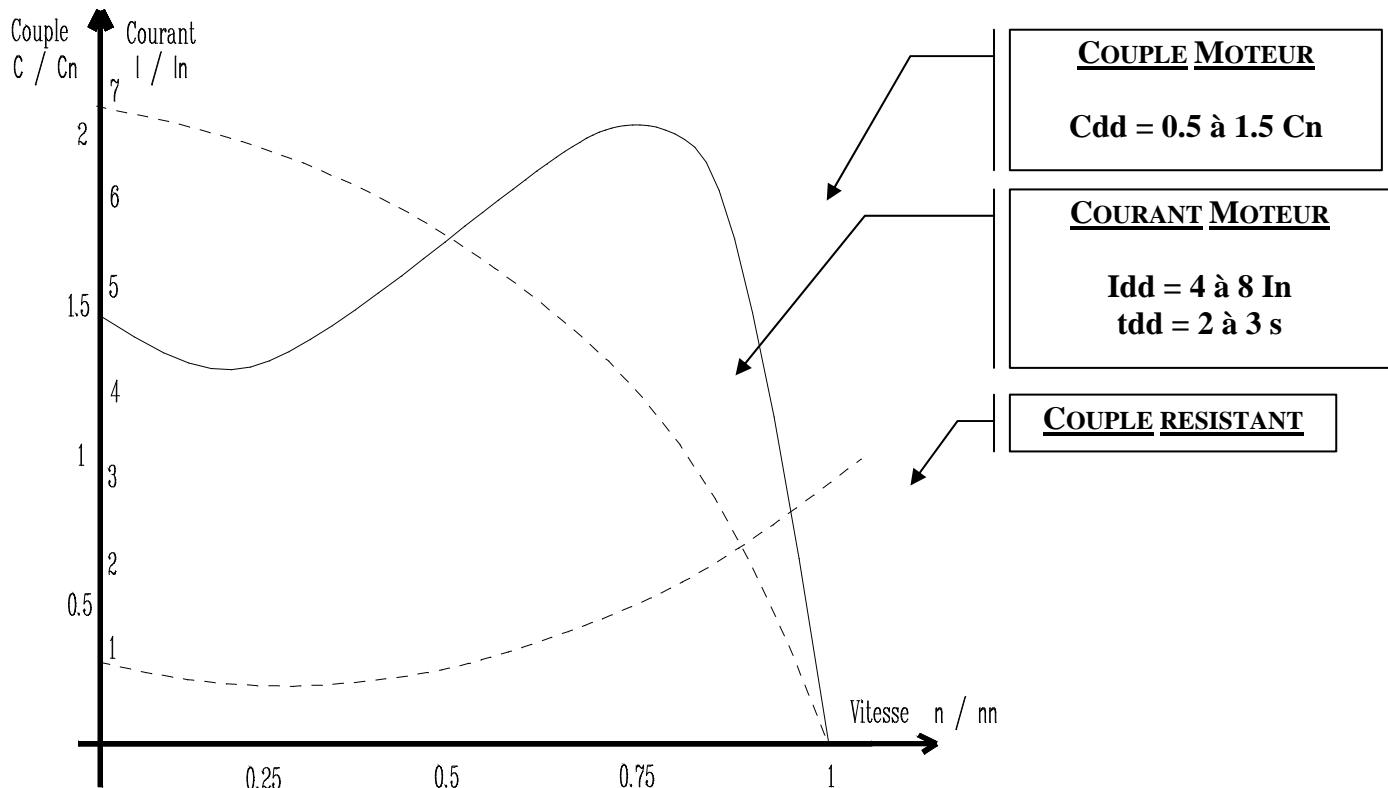
Le moteur est alimenté directement sous sa tension nominale.

Les enroulements du stator sont branchés en étoile ou en triangle suivant les tensions indiquées sur la plaque signalétique et la tension du réseau.

2. SCHEMA FONCTIONNEL



3. CARACTERISTIQUES INTENSITE / VITESSE et COUPLE / VITESSE



4. CONCLUSION

→ Conditions Technologiques

Le moteur asynchrone triphasé doit être du type rotor en court-circuit ou rotor à cage d'écureuil.

→ Avantages

- * Démarrage très simple à mettre en oeuvre et qui ne demande que peu de matériel.
- * Couple moteur très important au démarrage, la charge du moteur est donc admise au démarrage.
- * Choix possible du couplage des enroulements moteur.

→ Inconvénients

- * Appel de courant très important au démarrage.
- * Démarrage brusque.

→ Utilisations

- * Moteur de petite puissance ou de puissance faible par rapport au réseau (le réseau doit admettre le courant de démarrage)
- * Machines ne nécessitant pas une mise en vitesse progressive.
- * Machines nécessitant un bon couple de démarrage.

→ Précautions

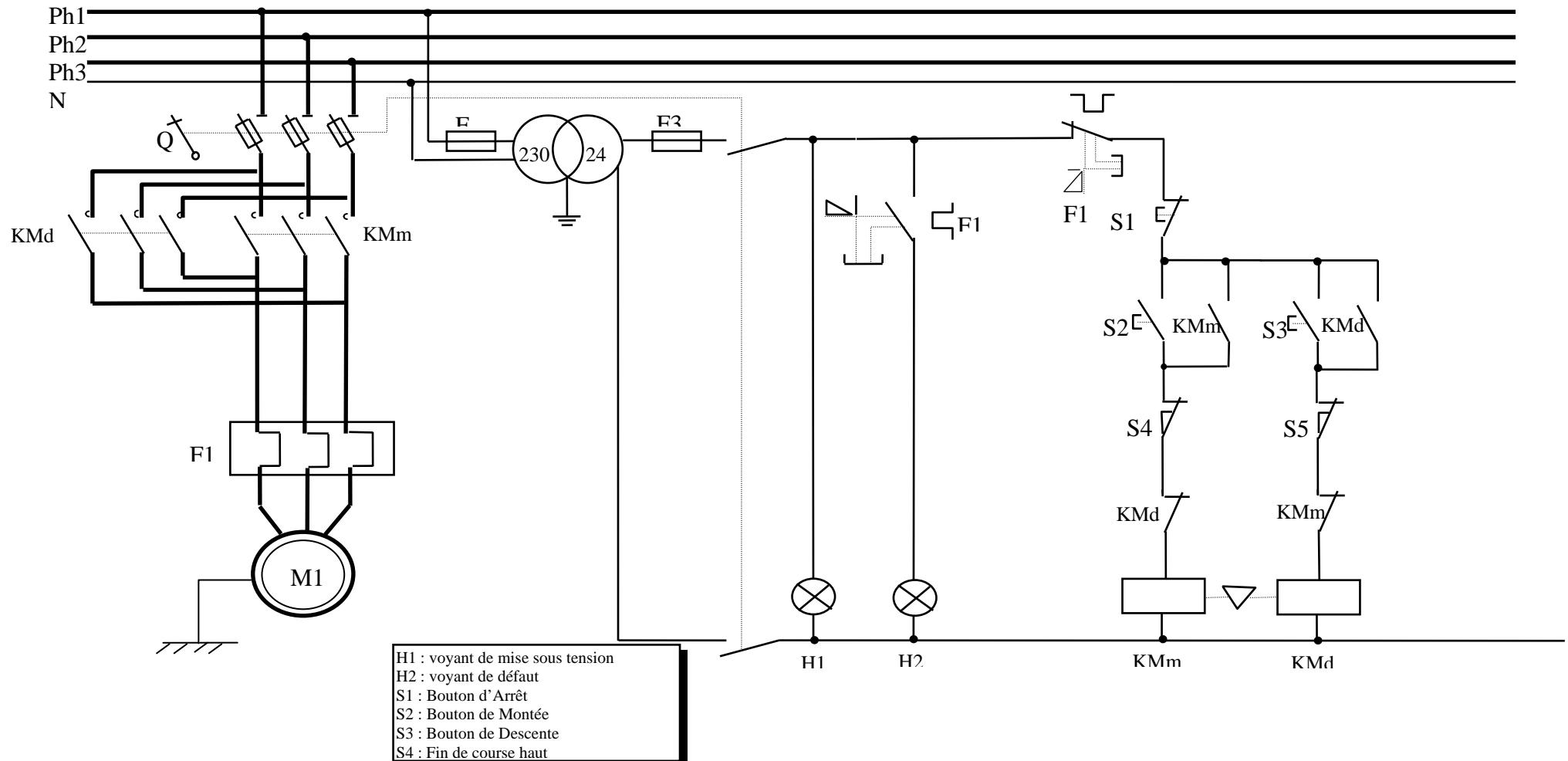
- * *L'important appel de courant pendant le démarrage risque de causer une chute de tension non négligeable : prévoir en conséquence le poste de transformation et la ligne d'alimentation de l'ensemble .*
- * *Cette chute de tension doit être limité à 5% afin d'obtenir la fermeture franche des contacteurs et de ne pas trop diminuer le couple de démarrage du moteur.*
- * *Le système de protection, tout en restant efficace en marche normale, doit supporter l'appel de courant.*

5. SCHEMAS DE REALISATION**DEMARRAGE DIRECT SEMI-AUTOMATIQUE 1 SENS DE MARCHE**

1

Démarrage Direct

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
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----



C. DEMARRAGE ETOILE / TRIANGLE .

1. PRINCIPE .

Ce démarrage consiste à changer le couplage des enroulements du stator pour limiter l'appel de courant. Le démarrage du moteur s'effectue en 2 temps :

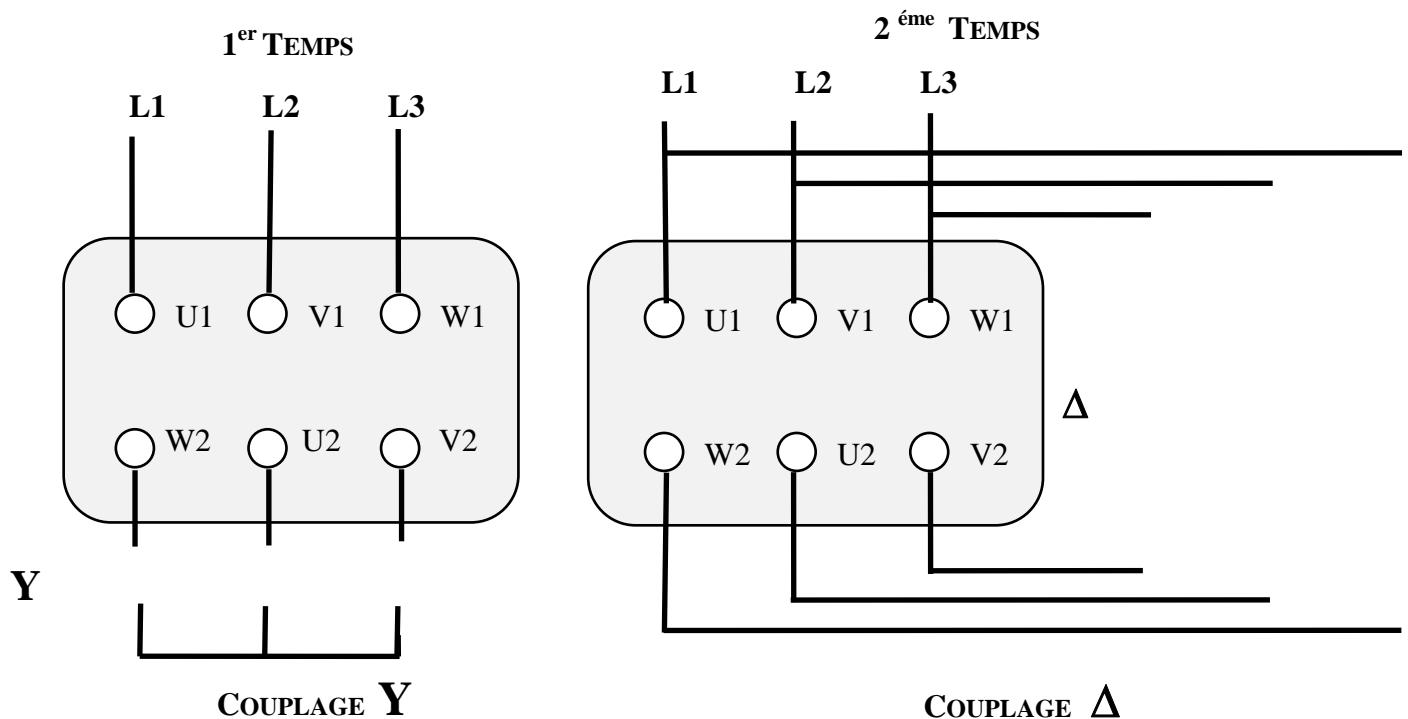
1^{er} TEMPS : Chaque enroulement du stator est alimenté sous tension réduite $V = \frac{U}{\sqrt{3}}$:

COUPLAGE ETOILE (Y)

2^{ème} TEMPS : Chaque enroulement du stator est alimenté sous sa tension nominale U :

COUPLAGE TRIANGLE (Δ).

→ Compléter les schémas suivant :



REMARQUE : Ce procédé ne s'applique qu'aux moteurs dont toutes les extrémités d'enroulements sont sorties sur la plaque à bornes et dont le couplage Triangle correspond à la tension du réseau d'alimentation .

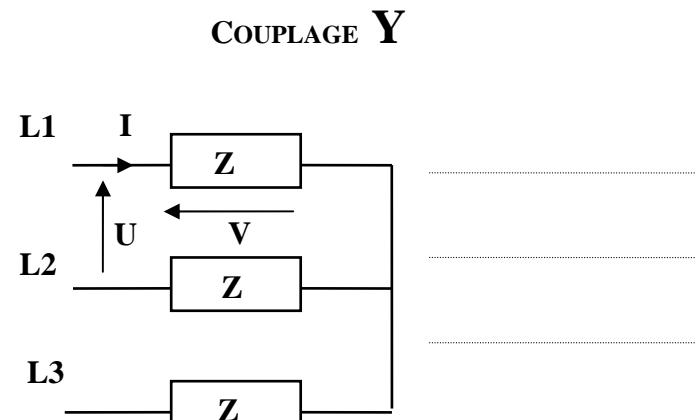
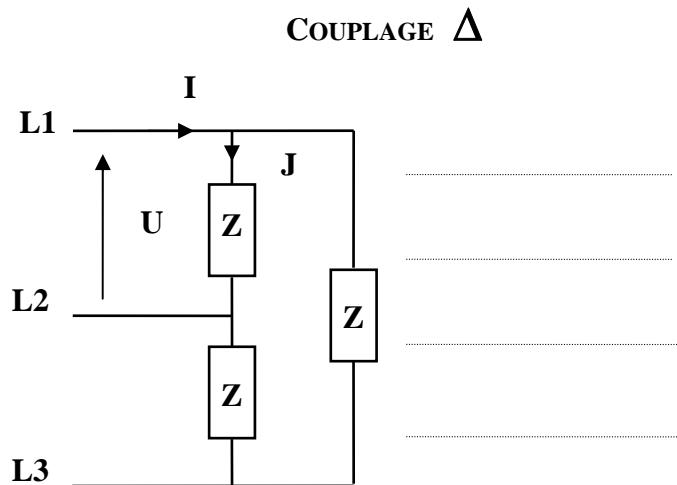
2. CARACTERISTIQUES

→ CARACTERISTIQUE INTENSITE / VITESSE

* RELATION $I_{\Delta} = f(I_Y)$

Démontrer la relation suivante : $I_{\Delta} = 3 I_Y$

La démonstration se fera à l'aide des schémas suivants :



Conclusion : $I_{\Delta} = I_Y$

→ CARACTERISTIQUE COUPLE / VITESSE

* RELATION $C_{\Delta} = f(C_Y)$

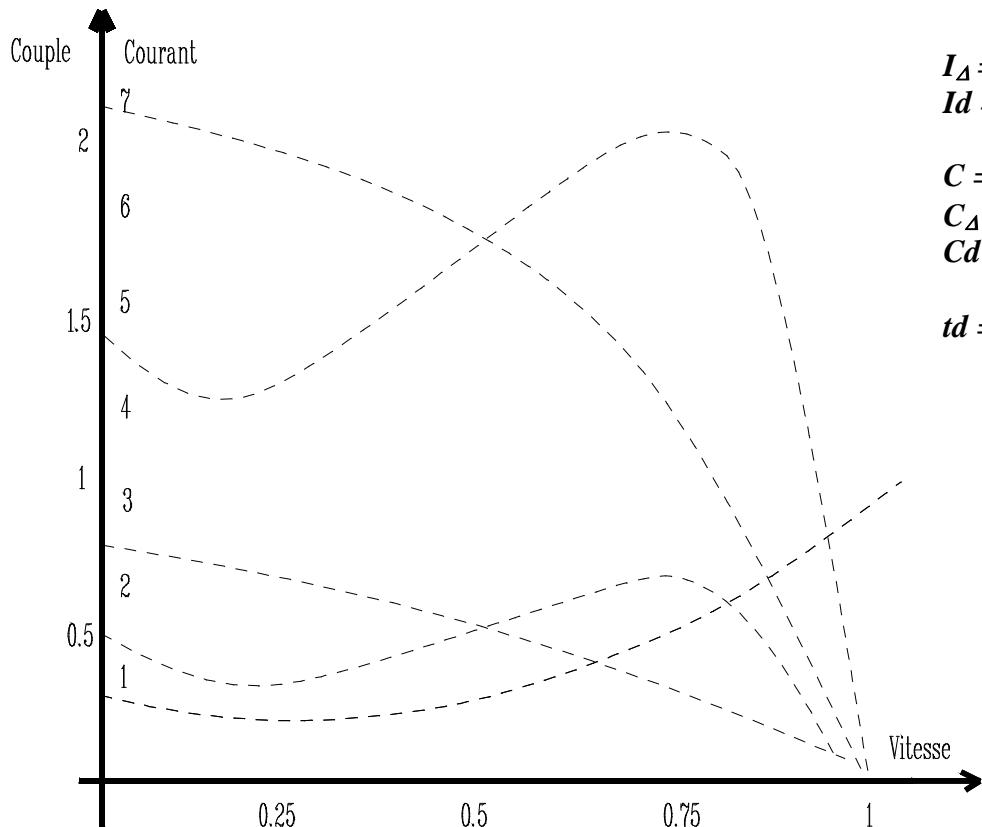
Démontrer la relation suivante : $C_{\Delta} = 3 C_Y$

On s'appuiera sur la relation $C = k V^2$

Triangle :

Conclusion : $C_{\Delta} = C_Y$

→ CARACTERISTIQUES INTENSITE / VITESSE ET COUPLE / VITESSE



- Tracer les caractéristiques Intensité / Vitesse et Couple / Vitesse de ce démarreur. Le passage d'étoile en triangle se fait quand $C_R = C_Y$
- Indiquer sur chaque caractéristique I_Δ , I_Y , C_Δ , C_Y , C_R
- Préciser le point de fonctionnement F

3. CONCLUSION

→ Conditions Technologiques

- * Le moteur Asynchrone Triphasé est du type rotor en court-circuit ou cage d'écureuil.
- * Chaque enroulement du stator doit supporter, en fonctionnement normal, la tension entre phases de la source d'alimentation.

Exemples :

RESEAU	132 / 230 V	230 / 400 V
MOTEUR	230 / 400 V	400 / 690 V

→ Avantages

- * *L'installation ne met pas en oeuvre beaucoup de matériel.*
- * *L'appel de courant au décollage est réduit au tiers de sa valeur en direct.*

→ Inconvénients

- * *Le couple au démarrage est très faible (réduit au tiers de sa valeur en direct) ce qui n'admet aucune charge importante lors de la mise en route du moteur.*
- * *La nécessité de couper l'alimentation du moteur lors du changement du couplage (passage de l'étoile en triangle) entraîne des phénomènes transitoires perturbateurs.*
- * *Le couplage des enroulements du stator en triangle est imposé en marche normale.*
- * *Le démarrage est assez long (de l'ordre de 3 à 6 secondes)*

→ Utilisations

Il est employé pour des moteurs qui n'entraînent pas leur charge au démarrage (démarrage à vide) :

machines-outils ; compresseurs centrifuges ; machines à bois ; groupes convertisseurs ; machines agricoles ; etc..

4. LIMITES D'EMPLOI DES DEMARRAGES DIRECT ET ETOILE / TRIANGLE SI LE RESEAU EST UN RESEAU BT

TENSION		MOTEURS ASYNCHRONES TRIPHASES	
RESEAU	DEMARRAGE DIRECT	DEMARRAGE ETOILE / TRIANGLE	
230 V	3 kW (4 Ch)	5.5 kW (7.5 Ch)	
400 V	5.5 kW (7.5 Ch)		11 kW (15 Ch)

5. SCHEMAS DE REALISATION

Exemples : page 5 ; DEMARRAGE ETOILE / TRIANGLE SEMI-AUTOMATIQUE 1 SENS DE MARCHE

page 6 ; DEMARRAGE ETOILE / TRIANGLE SEMI-AUTOMATIQUE 2 SENS DE MARCHE

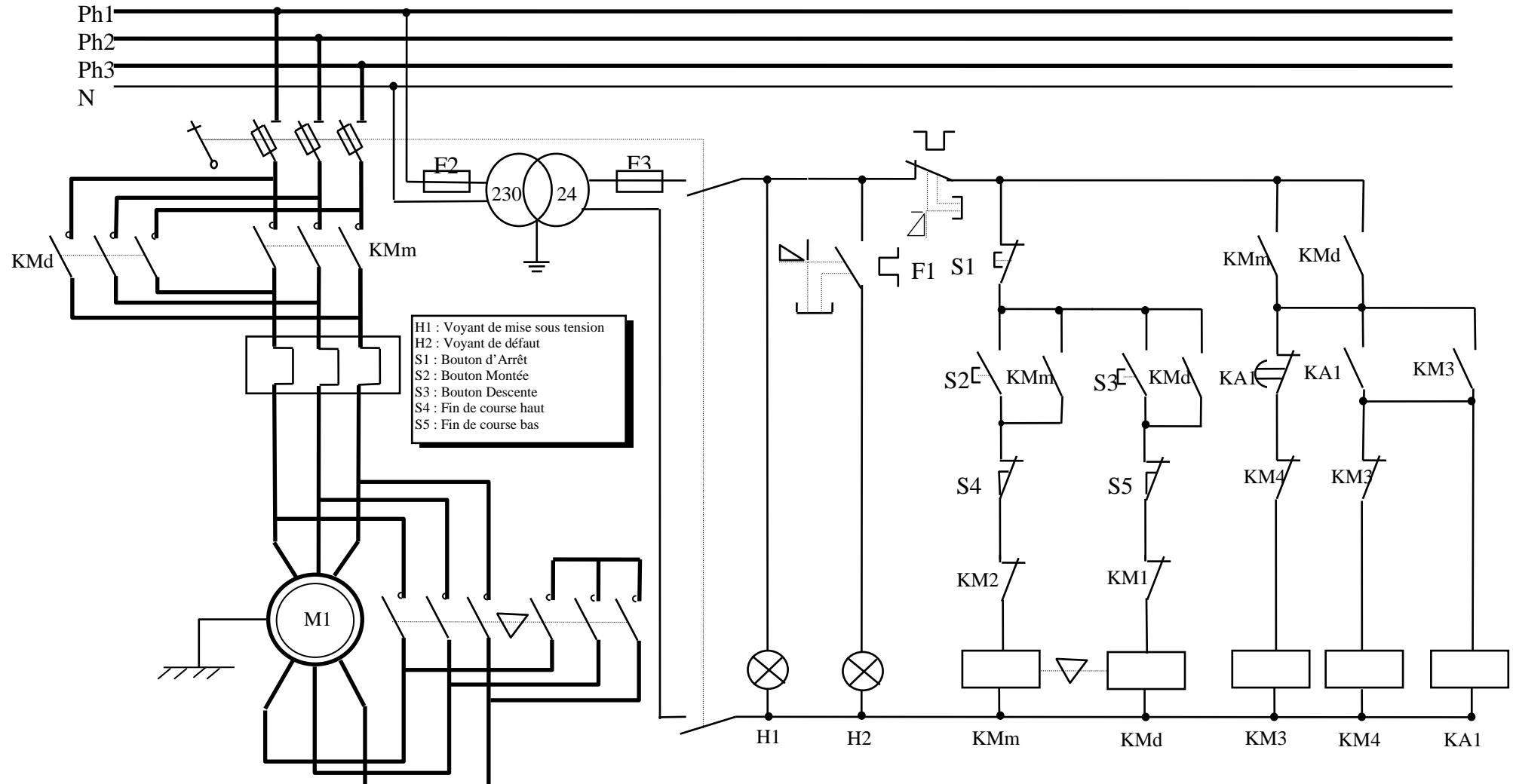
6. CHOIX DE L'APPAREILLAGE

Voir étude du document page 7 (à compléter)

2

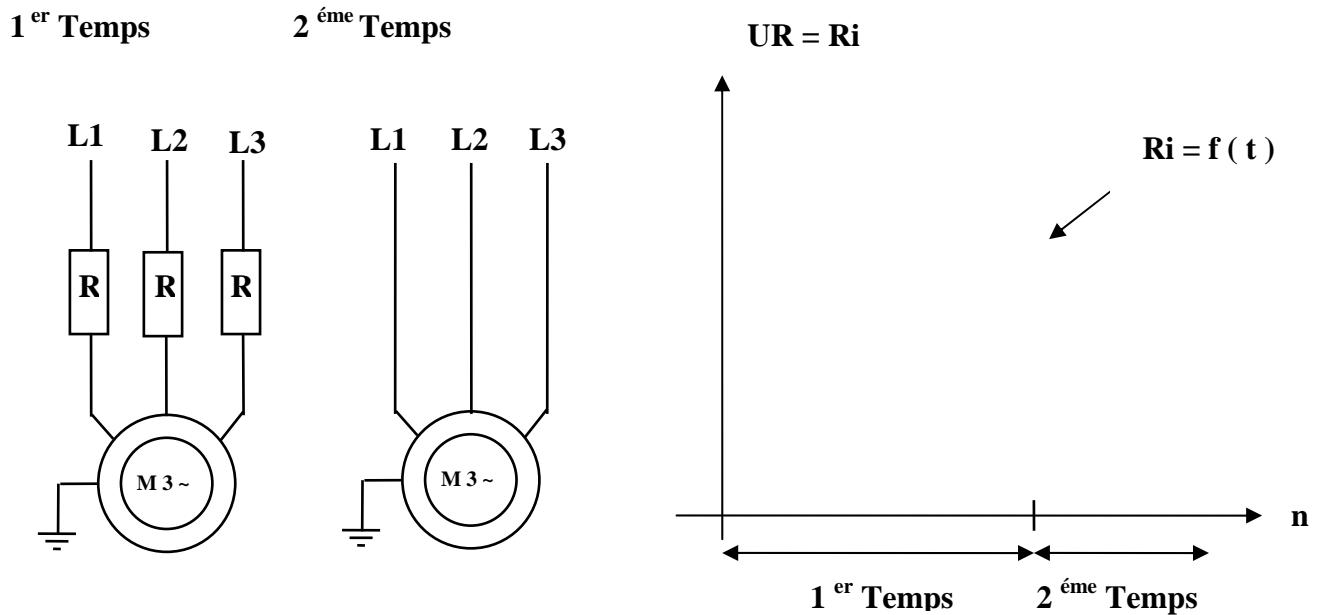
Démarrage étoile triangle

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
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----



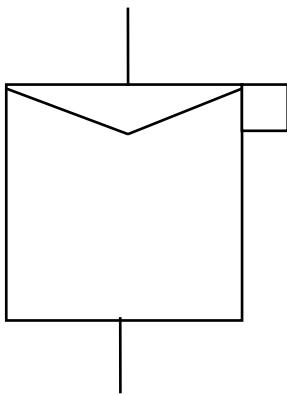
D. DEMARRAGE PAR ELIMINATION DE RESISTANCES STATORIQUES**1. PRINCIPE**

Ce type de démarrage s'effectue généralement en 2 temps .

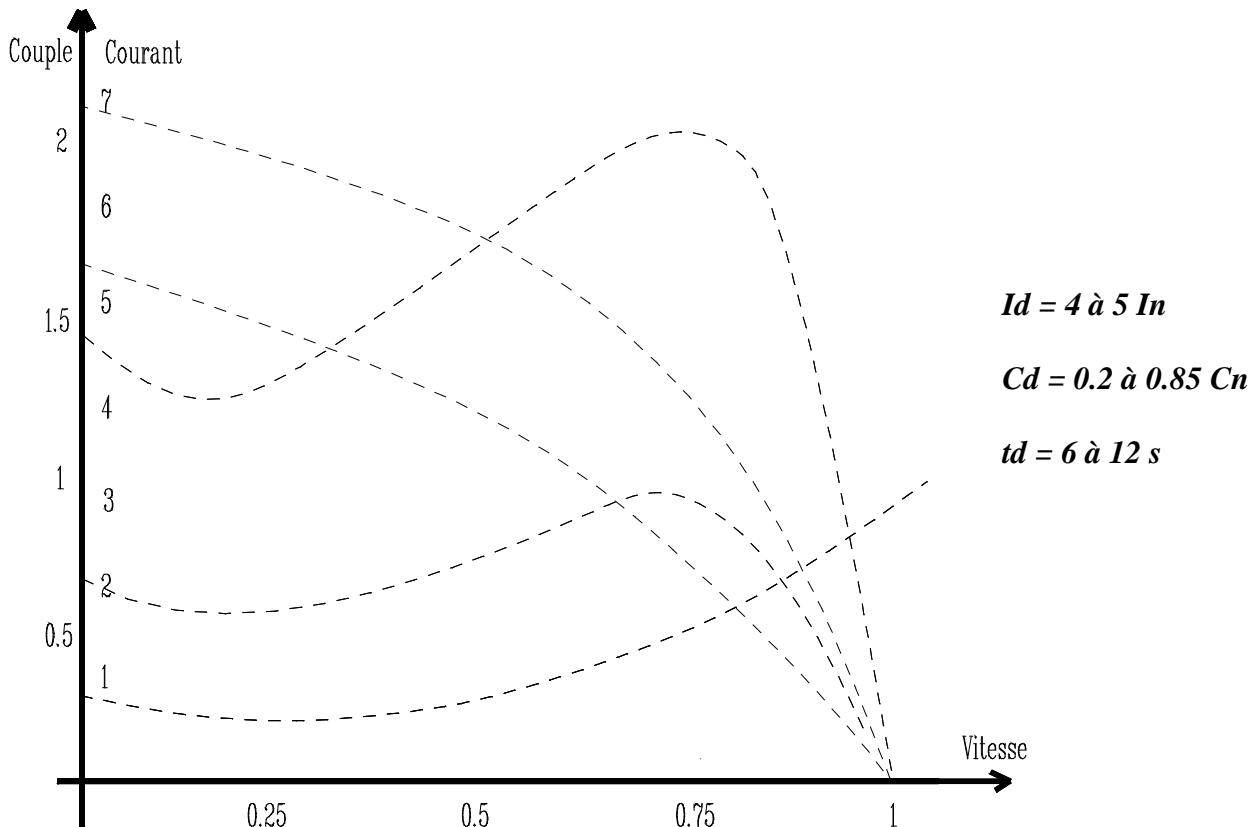


1^{ER TEMPS} : Les enroulements du stator sont alimentés à travers des résistances (donc sous tension réduite).

2^{EME TEMPS} : Les enroulements du stator sont alimentés directement sous leur tension nominale .

2. SCHEMA FONCTIONNEL (à compléter)

3. CARACTERISTIQUES INTENSITE / VITESSE ET COUPLE / VITESSE (à compléter)



4. CONCLUSION

→ Conditions Technologiques

Le moteur Asynchrone Triphasé est du type rotor en Court-Circuit ou rotor à Cage d'Ecureuil

→ Avantages

- * En augmentant le nombre de temps de démarrage , il est possible de régler toutes valeurs caractéristiques telles que courant et couple de démarrage .
- * Il n'y a aucune coupure d'alimentation du moteur pendant le démarrage .
- * L'utilisateur a le choix de coupler les enroulements du stator en étoile ou en triangle .

→ Inconvénients

- * Le courant de démarrage est important dans le cas d'un démarrage en 2 temps . L'appel de courant ne diminue que proportionnellement à la racine carrée du couple .
- * Le couple au démarrage est moyen .
- * Consommation d'énergie active pendant le démarrage .
- * Le temps de démarrage est assez long , à éviter si les démaragements sont fréquents .

→ Utilisations

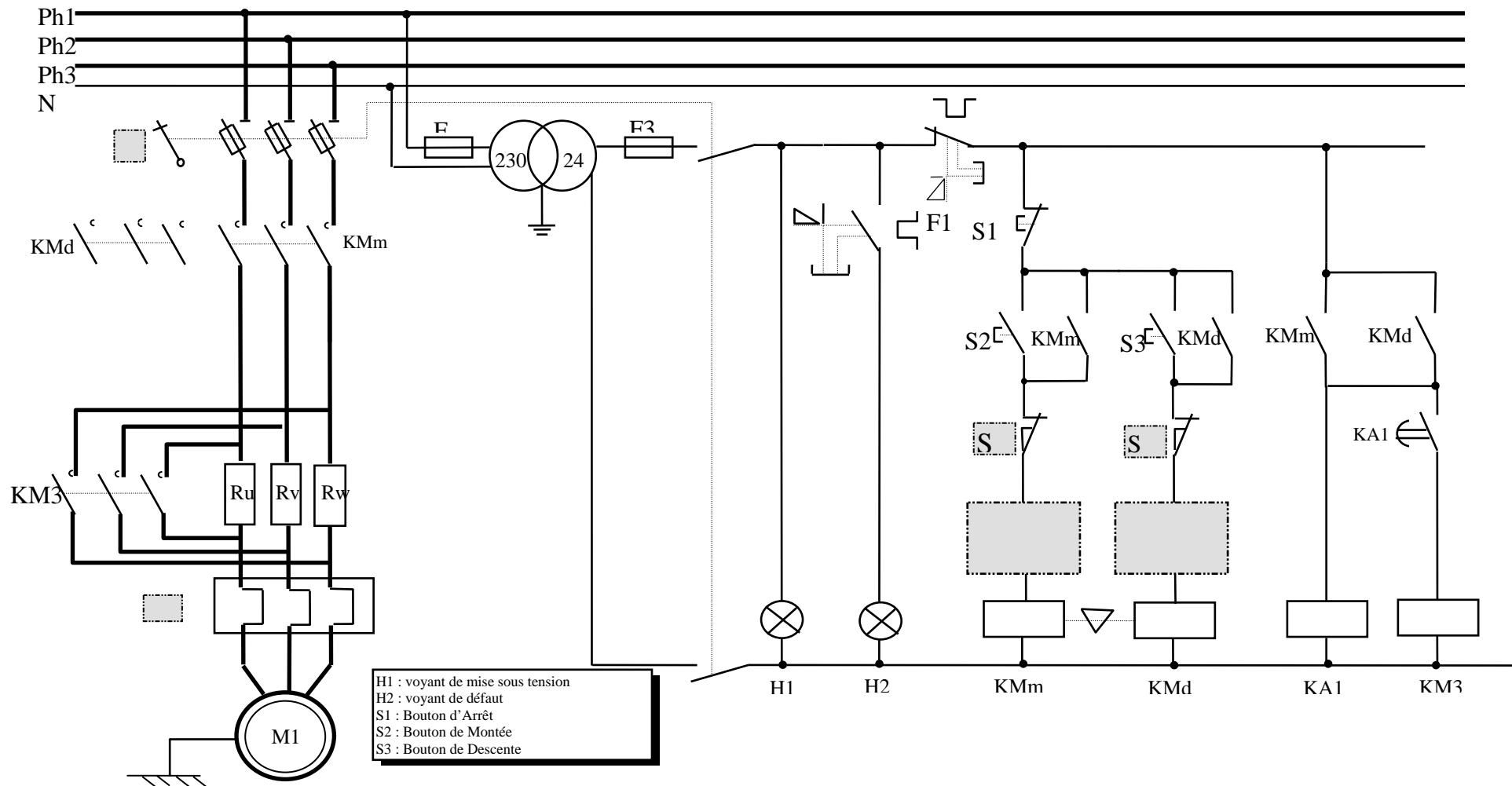
Il est employé pour des moteurs à fortes inertie qui ne démarrent pas avec leur charge maximale .

Exemples : Ventilateurs , pompes , turbines , broyeurs ...

3

Démarrage statorique

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
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----



E . DEMARRAGE PAR AUTOTRANSFORMATEUR**1. PRINCIPE**

Ce démarrage consiste à utiliser un autotransformateur qui permet d'alimenter le moteur sous tension réduite .

Le démarrage du moteur s'effectue en 3 temps :

→ 1^{er} TEMPS : le moteur est alimenté sous une tension très réduite délivrée par l'autotransformateur couplé en étoile .

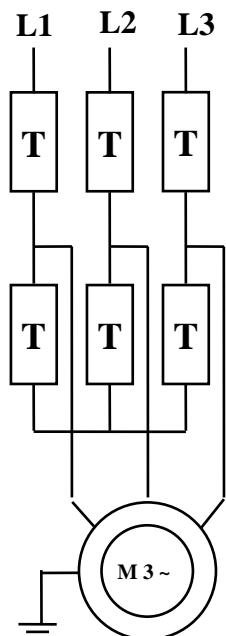
→ 2^{eme} TEMPS : Le moteur est alimenté sous une tension réduite à travers une partie des enroulements de l'autotransformateur .

→ 3^{eme} TEMPS : Le moteur est alimenté sous tension nominale

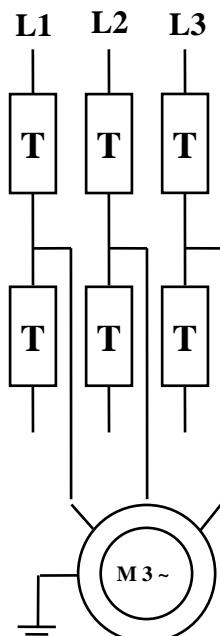
* **Remarques :**

- (1) Le démarrage peut également se faire en 2 temps par ouverture du point neutre immédiatement suivi du court-circuitage des selfs .
- (2) Avec ce dispositif , le moteur n'est jamais séparé du réseau d'alimentation : le courant n'est plus interrompu et les phénomènes transitoires sont supprimés .
- (3) Le 2^{ème} temps , principalement destiné à amortir les transitions électriques , est principalement choisi de durée très brève . Le temps est équivalent au temps de passage d'un contacteur .

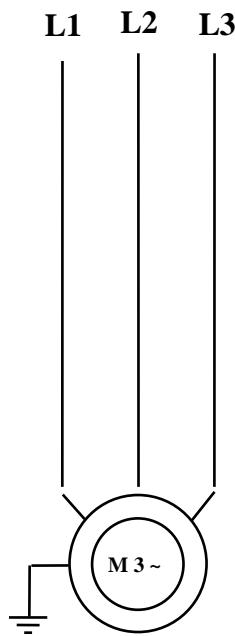
1^{er} Temps



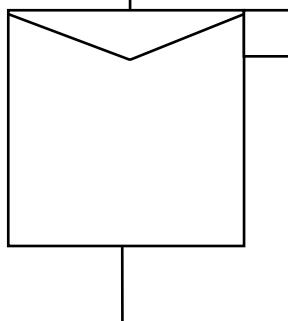
2^{eme} Temps



3^{eme} Temps

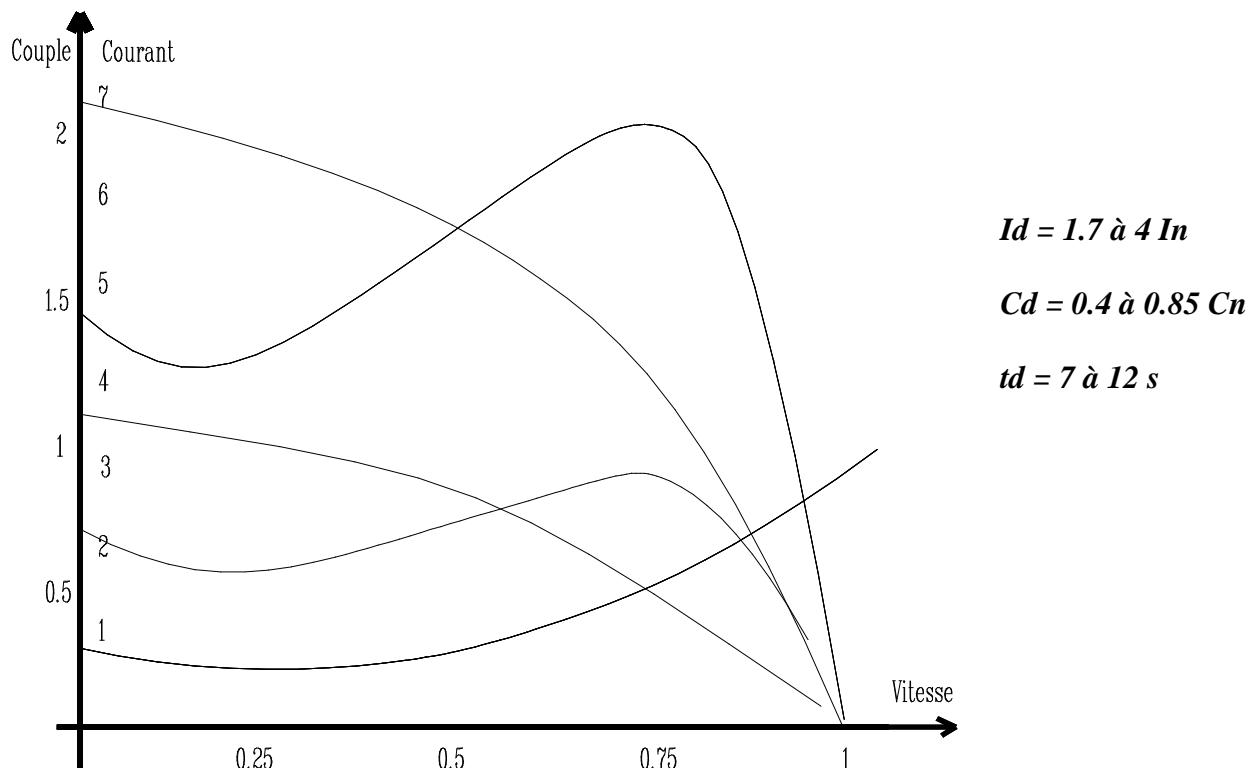


2. SCHEMA FONCTIONNEL (à compléter)



3. CARACTERISTIQUES INTENSITE / VITESSE ET COUPLE / VITESSE (à compléter)

Les différents passages s'effectuent quand $C_m = C_r$



Remarque : Le tension appliquée aux bornes des enroulements du moteur , lors du démarrage , est réduite dans un rapport m correspondant au rapport de transformation .
Le couple de démarrage et la pointe de courant au démarrage sont réduits dans le même rapport (m^2)

4. CONCLUSION

→ Conditions Technologiques

Le moteur Asynchrone Triphasé est du type rotor en court-circuit ou Rotor à cage d'écureuil .

→ Avantages

- * *Le courant de démarrage est assez faible (de l'ordre de 1.7 à 4 fois I_N)*
- * *Il est possible de faire varier les valeurs caractéristiques telles que couple et courant de démarrage en modifiant le rapport de transformation de l'autotransformateur .*
- * *Démarrage en 2 ou 3 temps*
- * *Il n'y a pas de coupure d'alimentation pendant la phase de démarrage .*
- * *le choix du couplage des enroulements du stator est possible .*

→ Inconvénients

- * *Le couple au démarrage est moyen (de l'ordre de 0.4 à 0.8 C_N)*
- * *Le prix de revient de l'autotransformateur est élevé (à utiliser pour les puissances supérieures à 75 kW).*
- * *Le temps de démarrage est assez long (de l'ordre de 7 à 12 s)*

→ Utilisations

Ce type de démarrage est employé sur des machines de fortes puissances et à forte inertie .

Exemples : Compresseurs rotatifs et à pistons , pompes , ventilateur

→ Précautions

Dans le cas du démarrage en 3 temps , l'autotransformateur doit être calculé pour que le passage sur la self ne crée par un couple de freinage .

Le constructeur de l'autotransformateur doit en être informé .

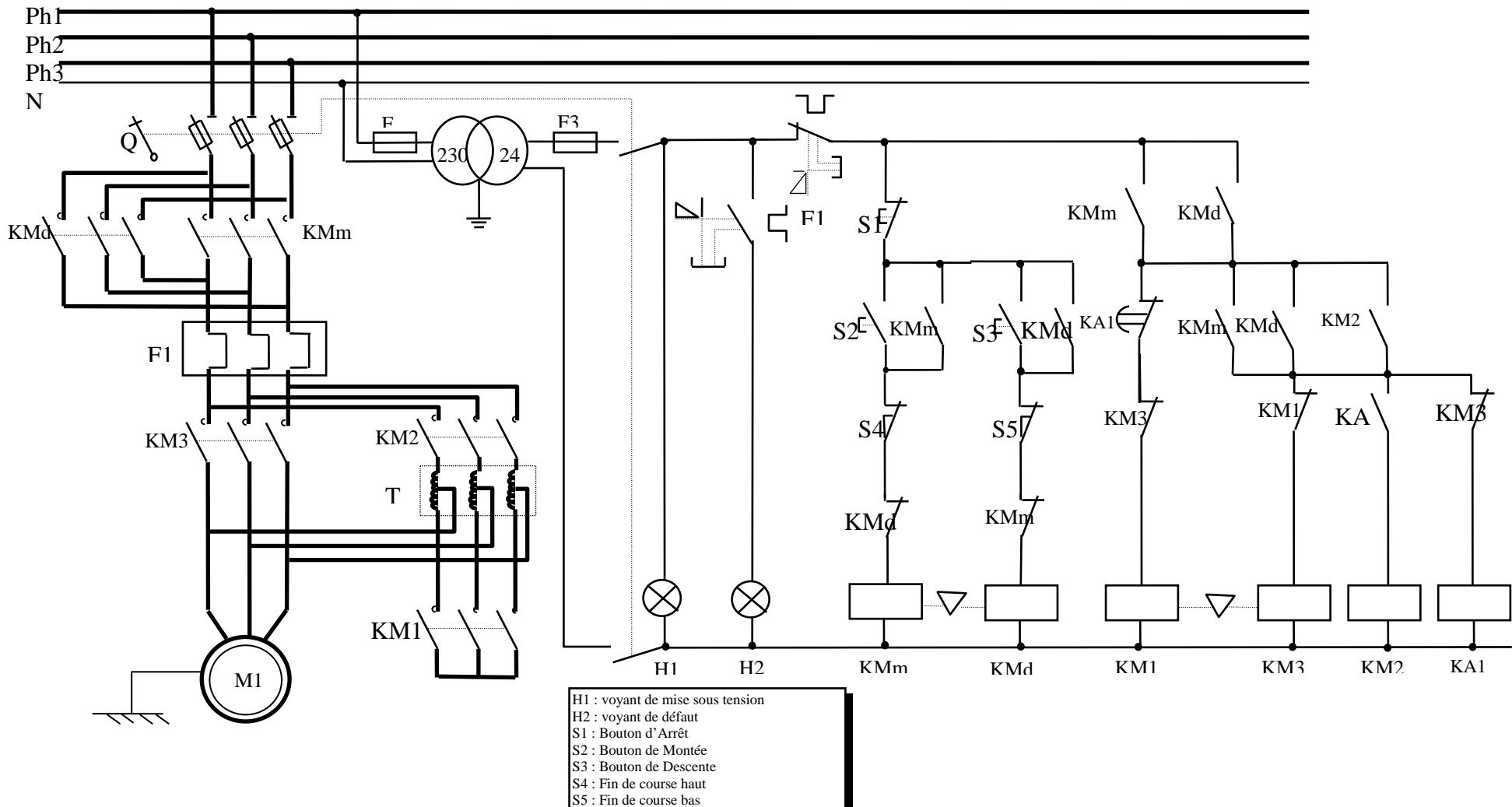
5. SCHEMA DE REALISATION

.

4

Démarrage par auto transformateur pour monte charge

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	34	35
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----



F. DEMARRAGE PAR ELIMINATION DE RESISTANCES ROTORIQUES

1. PRINCIPE

Ce démarrage consiste à alimenter directement les enroulements du stator sous leur tension nominale et à coupler les enroulements du rotor (bornes K , L , M) en étoile .

Il s 'exécute en plusieurs temps :

1^{er} Temps : *On limite le courant dans les enroulements du rotor en insérant dans ce circuit des résistances .*

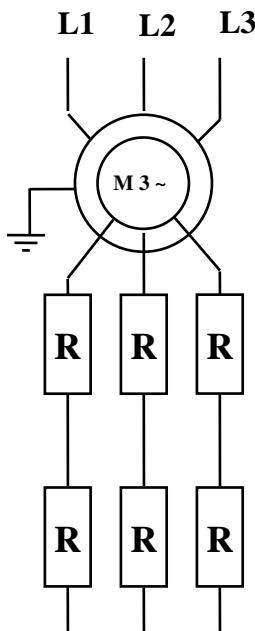
2^{ème} Temps : *On diminue les résistances du circuit rotorique en éliminant une partie des résistances .*

Dernier temps: *On supprime toutes les résistances rotoriques ce qui donne un rotor en court-circuit (couplé en étoile)*

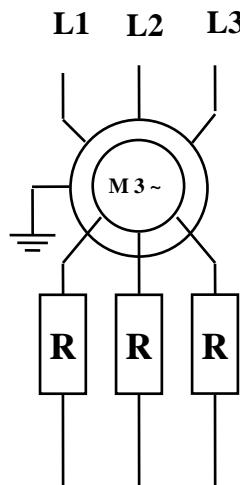
REMARQUES :

- On utilise obligatoirement un moteur à bagues qui ne peut démarrer en un temps .
- La suppression des résistances peut s'exécuter en plusieurs fois , ce qui ajoute , autant de temps supplémentaire , au démarrage du moteur (Ici 3 Temps donc 2 série de résistances)

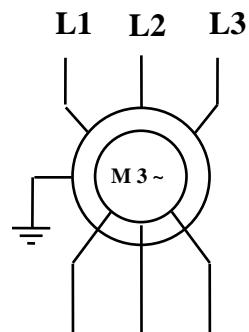
1^{er} Temps



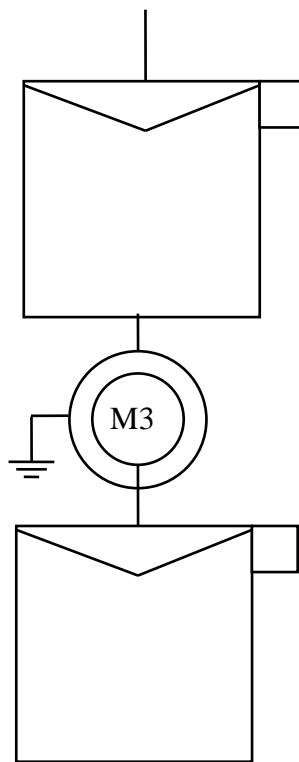
2^{ème} Temps



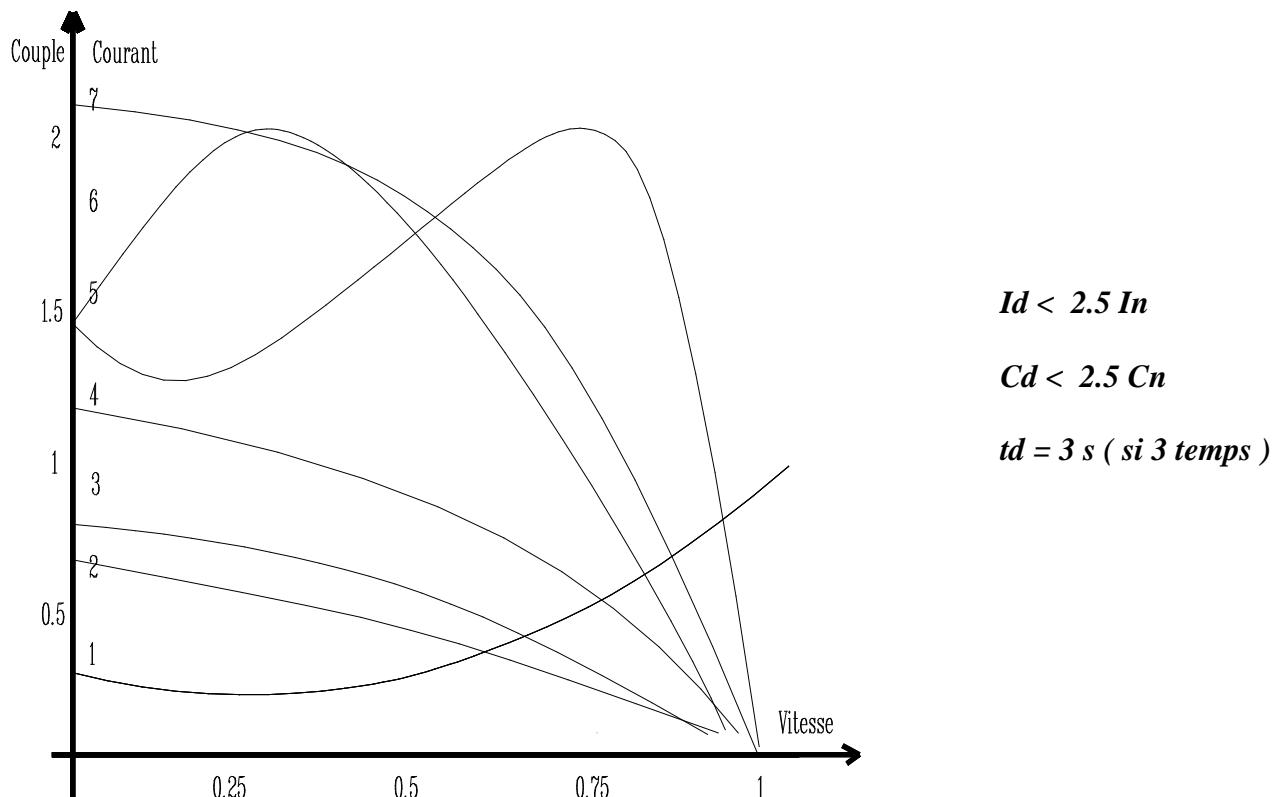
3^{ème} Temps



2. SCHEMA FONCTIONNEL (à compléter)



3. CARACTERISTIQUES INTENSITE / VITESSE et COUPLE / VITESSE (à compléter)



Les différents passages s'effectuent quand $C_m = C_r$

COMMENTAIRES :**Relations Mathématiques**

$$C = \frac{K(V)^2}{\omega} \times \frac{\frac{R_{rotor}}{g}}{\frac{(R_{rotor})^2}{g^2} + (L_2\omega)^2}$$

Le couple est maximum pour : $R_{rotor} = gL_2\omega$

Dans la zone linéaire de la courbe $C = f(n)$ on a :

$$\frac{R_{rotor}}{g} \gg L_2\omega \quad \text{d'où} \quad C \approx \frac{k(V)^2}{\omega} \times \frac{g}{R_{rotor}}$$

CARACTERISTIQUE C = f(n)

- L'accroissement de la résistance du circuit rotorique , a pour effet de déplacer le couple maximal du moteur vers les faibles vitesses , sans modifier sa valeur .
- Le calcul de la résistance insérée dans chaque phase permet de déterminer de façon rigoureuse la courbe couple / vitesse obtenue : pour un couple donné , la vitesse est d'autant plus basse que la résistance est élevée

Il en résulte que celle-ci doit être insérée en totalité au moment du démarrage et que la pleine vitesse est atteinte lorsqu'elle est entièrement court-circuitée .

CARACTERISTIQUE I = f(n)

- Le courant absorbé est sensiblement proportionnel au couple fourni , ou du moins , n'est que peu supérieur à cette valeur théorique .
- Le moteur à rotor bobiné (ou à bagues) , avec un démarrage rotorique , s'impose donc pour tous les cas où les pointes de courant doivent être minimales et pour toutes les machines démarrant à pleine charge .

1. CONCLUSION**→ Conditions Technologiques**

Le moteur Asynchrone Triphasé est du type ROTOR BOBINE (où à BAGUES) avec les sorties reliées à des bagues .

→ Avantages

- * En augmentant le nombre de temps de démarrage , il est possible de régler les valeurs caractéristiques telles que courant et couple au démarrage .
- * Le courant de démarrage est faible (de l'ordre de 2 à 2.5 fois le courant nominal)
L'appel de courant , pour un couple de décollage donné , est le plus faible , par rapport aux autres modes de démarrage .
- * Le couple de démarrage est important (de l'ordre de 1 à 2.5 fois le couple nominal).
- * Il n'y a pas de coupure d'alimentation pendant la phase de démarrage .
- * Le choix du couplage en étoile ou triangle des enroulements du stator est possible .

→ Inconvénients

- * Le moteur a un prix de revient élevé (rotor bobiné avec sorties reliées à l'extérieur)
- * Le prix d'achat plus élevé en raison du rhéostat .
- * Les bagues et balais nécessitant une surveillance et un entretien assez important et sont susceptibles de provoquer des difficultés dans certaines ambiances (chaleur , poussières , ...) ou même seulement par des marches à vide ou des arrêts prolongés .
- * Le temps de démarrage est assez long (de l'ordre de 3 à 10 secondes).

→ Utilisations

- * Le moteur Asynchrone Triphasé à rotor bobiné (ou à bagues) s'impose pour tous les cas où les pointes de courant doivent être minimales et pour toutes les machines démarrant à pleines charge ou à forte inertie .
- * Il est plus particulièrement réservé aux machines aux démarriages difficiles , longs et fréquents , et aux machines nécessitant une mise en vitesse progressive .

Exemples : Matériel de levage , téléski ,

→ Précautions

Il faut dimensionner correctement les résistances de démarrage .

Comparatif Des Démarrages Electromécaniques

	Moteurs à cage					Moteurs à bagues
	Démarrage direct	Démarrage étoile-triangle	Démarrage statorique	Démarrage par auto-transformateur	Démarrage rotorique	
Courant initial de démarrage	4 à 8 In	1,3 à 2,6 In	4,5 In	1,7 à 4 In	< 2,5 In	
Couple initial de démarrage	0,6 à 1,5 Cn	0,2 à 0,5 Cn	0,6 à 0,85 Cn	0,4 à 0,85 Cn	< 2,5 Cn	
Avantages	Moteur à cage économique et robuste					
	<ul style="list-style-type: none"> • Démarreur simple, peu onéreux. • Couple de démarrage important. 	<ul style="list-style-type: none"> • Démarreur relativement peu onéreux. • Bon rapport couple/courant 	<ul style="list-style-type: none"> • Possibilité de réglage des valeurs au démarrage. • Pas de coupure d'alimentation pendant le démarrage. • Forte réduction des pointes de courant transitoires. 	<ul style="list-style-type: none"> • Bon rapport couple/courant. • Possibilité de réglage des valeurs au démarrage. • Pas de coupure d'alimentation pendant le démarrage. 	<ul style="list-style-type: none"> • Très bon rapport couple/courant. • Possibilité de réglage des valeurs au démarrage. • Pas de coupure d'alimentation pendant le démarrage. 	
Inconvénients	<ul style="list-style-type: none"> • Pointe de courant très importante. • S'assurer que le réseau admet cette pointe. • Ne permet pas un démarrage doux et progressif. 	<ul style="list-style-type: none"> • Couple au démarrage faible. • Pas de possibilité de réglage. • Coupure d'alimentation au changement de couplage et phénomènes transitoires. • Moteur bobiné en triangle pour Un. 	<ul style="list-style-type: none"> • Faible réduction de la pointe de démarrage. • Nécessite des résistances. 	<ul style="list-style-type: none"> • Nécessite un auto-transformateur onéreux. 		<ul style="list-style-type: none"> • Moteur à bagues plus onéreux. • Nécessite des résistances.
Durée habituelle du démarrage	<ul style="list-style-type: none"> • 2 à 3 secondes 	<ul style="list-style-type: none"> • 3 à 7 secondes 	<ul style="list-style-type: none"> • 7 à 12 secondes 	<ul style="list-style-type: none"> • 7 à 12 secondes 		<ul style="list-style-type: none"> • 3 temps 2,5 s • 4 et 5 temps 5 s
Applications typiques	<ul style="list-style-type: none"> • Petites machines même démarrant à pleine charge. 	<ul style="list-style-type: none"> • Machines démarrant à vide. • Ventilateurs et pompes centrifuges de petite puissance. 	<ul style="list-style-type: none"> • Machines à forte inertie sans problèmes particuliers de couple et de courant au démarrage. 	<ul style="list-style-type: none"> • Machines de forte puissance ou de forte inertie, dans les cas où la réduction de la pointe de courant est un critère important. 		<ul style="list-style-type: none"> • Machines à démarrage en charge, à démarrage progressif, etc.

FORMULAIRE:

Vitesse de rotation du moteur $\Omega <$ Vitesse de rotation du champ tournant Ω_s
 \Rightarrow glissement

$$g = \frac{\Omega_s - \Omega}{\Omega_s}$$

$$g = \frac{n_s - n}{n_s}$$

$$n_s = \frac{f}{p}$$

$$\Omega_s = \frac{\omega}{p}$$

$$P_u = T \Omega$$

$$\Omega = \frac{2\pi N}{60}$$

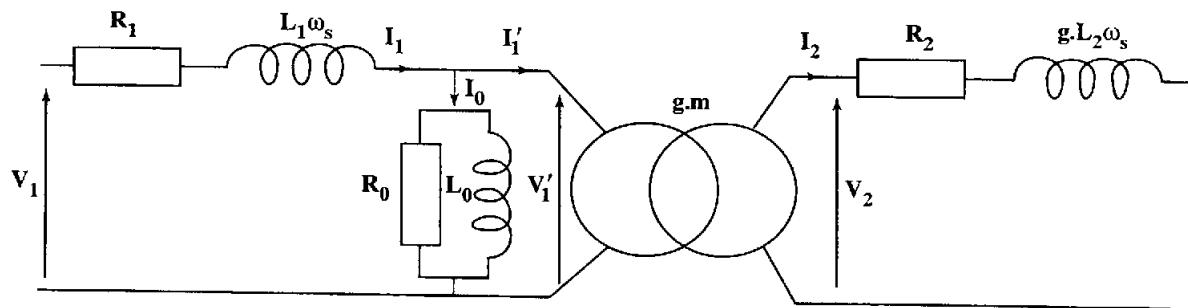
$$P_a = \sqrt{3} U I \cos \varphi$$

MODELISATIONS

On peut trouver dans la littérature différents modèles qui dépendent chacun des hypothèses prises pour les définir. Par exemple, si l'on considère :

- \Rightarrow la machine en régime établi,
- \Rightarrow avec un champ tournant à répartition spatiale sinusoïdale,
- \Rightarrow machine non saturée
- \Rightarrow et si l'on souhaite modéliser la séparation stator / rotor par un transformateur

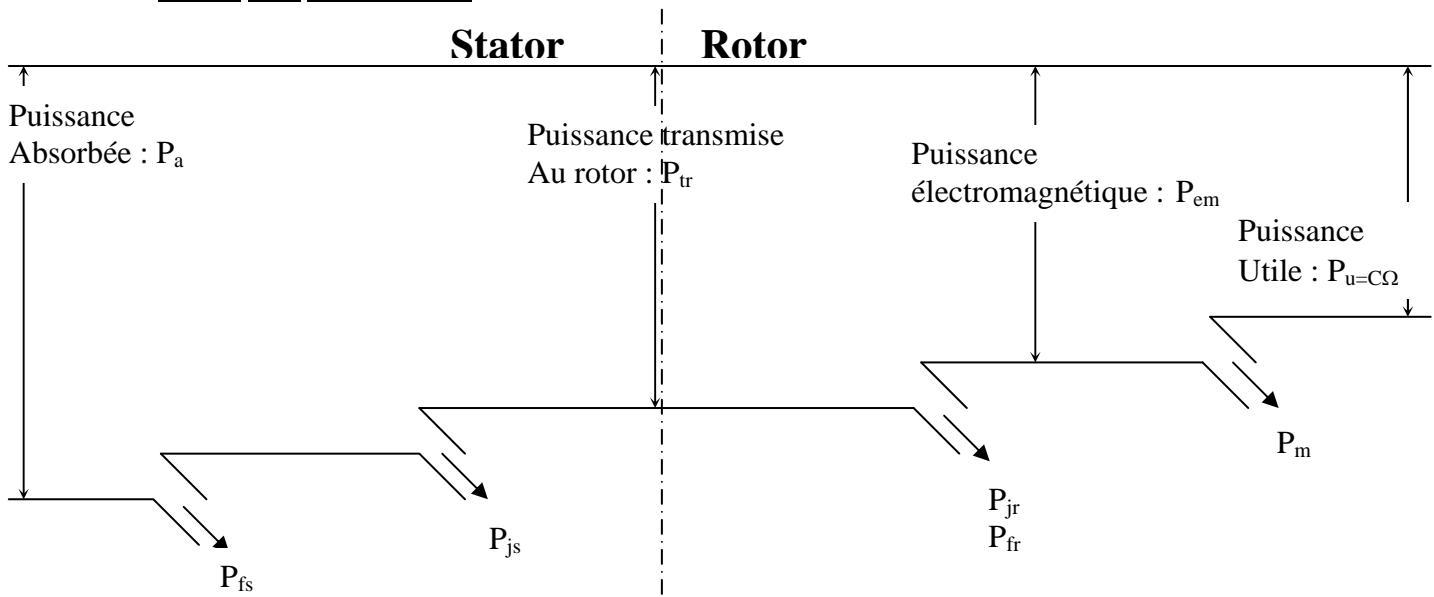
On obtiendra le schéma suivant **par phase** :



STATOR

ROTOR

V_1 : Tension aux bornes d'un enroulement statorique
 V_2 : Tension aux bornes du rotor
 Z_1 ($R_1, L_1 \omega_s$) : Impédance d'un enroulement statorique
 R_0 : Résistance représentant les pertes fer
 L_0 : Inductance magnétisante statorique
 Z_2 ($R_2, gL_2 \omega_s$) : Impédance rotorique ramenée au stator
 $g.m$: rapport de transformation de tension (rotor/stator)
 g : glissement = $\frac{\Omega_s - \Omega_{\text{rotor}}}{\Omega_s}$
 $\Omega_s = \frac{\omega_s}{p}$ avec p = nombre de paires de pôles
 ω_s : Pulsation des courants statoriques ($\omega_s = 2\pi \cdot f_s$)

BILAN DES PUSSANCES**EXERCICE :**

- Donner l'expression des pertes joule au rotor, mécaniquement, puis électriquement

$$P_{jr} = g.P_{tr} = g.C.\Omega_s = C.\Delta\Omega = 3R_2I_2^2$$

- Donner l'expression de I_2^2 en fonction de R_2 , $g L_2 \omega_s$ et $V'1$

$$I_2^2 = \left(\frac{V_2}{Z_2} \right)^2 = \frac{(gmV'1)^2}{(R_2^2 + (gL_2 \omega_s)^2)^2} = \frac{(gmV'1)^2}{R_2^2 + (gL_2 \omega_s)^2}$$

- Afin de simplifier le modèle précédent, on peut formuler des hypothèses complémentaires :

- ⇒ Les pertes Joule au rotor sont négligeables : $R1=0$
- ⇒ Les pertes fer au stator sont négligées $R_0 = \infty$
- ⇒ Fonctionnement de la machine à flux forcé : $L1\omega_s = 0$ *Conséquence : $V'1 = VI$*

- Si $u = U\sqrt{2} \cos(\omega t)$ que vaut alors le flux max imposé par cette tension ?

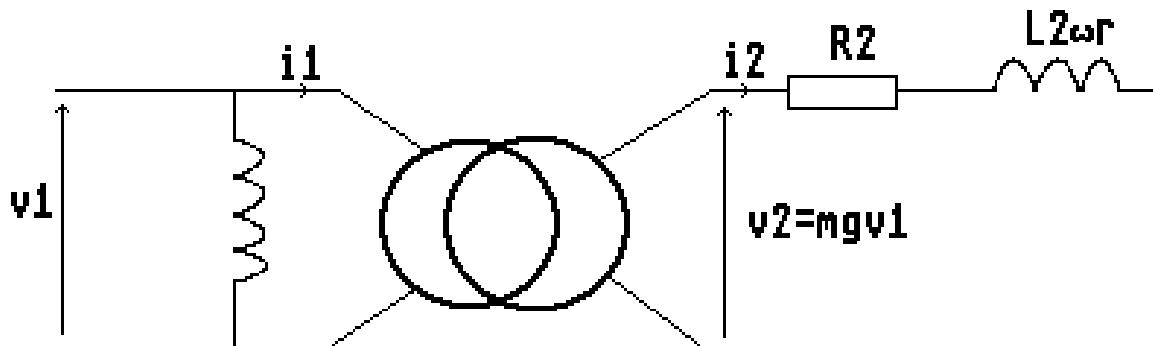
$$u = N \frac{d\varphi}{dt} \text{ donc } d\varphi = \frac{u}{N} dt = \frac{U\sqrt{2}}{N} \cos(\omega t) dt$$

Attention :
N : nombre de spires

$$\varphi = \frac{U\sqrt{2}}{N\omega} \sin(\omega t) + \varphi_0 (= 0) \text{ donc } \Phi_{max} = \frac{U\sqrt{2}}{N\omega} = \frac{\sqrt{2}}{2\pi N} \cdot \frac{U}{f}$$

CONCLUSION : *La nature de la tension (valeur efficace et fréquence) impose alors le flux dans la machine:*

➤ Dessiner le nouveau schéma équivalent :



➤ Montrer alors que l'expression du couple devient:

$$C = \frac{3p}{\omega_s} \cdot m^2 V_1^2 \frac{R_2}{\frac{R_2^2}{g} + g(L_2 \omega_s)^2}$$

$$C = \frac{3R_2 I_2^2}{g \Omega_s} = \frac{3R_2}{g \Omega_s} \cdot \frac{(gmV_1)^2}{R_2^2 + (gL_2 \omega_s)^2} = \frac{3p}{\omega_s} \cdot m^2 V_1^2 \frac{gR_2}{R_2^2 + (gL_2 \omega_s)^2} = \frac{3p}{\omega_s} \cdot m^2 V_1^2 \frac{R_2}{\frac{R_2^2}{g} + g(L_2 \omega_s)^2}$$

➤ Cette fonction $C = f(g)$ passe par un maximum lorsque $\frac{R_2^2}{g} + g(L_2 \omega_s)^2$ est minimum, c'est à dire

lorsque $\frac{R_2^2}{g} = g(L_2 \omega_s)^2$ puisque leur produit est constant (axiome)

➤ Montrer que le couple maximum C_{max} vaut alors : $C_{max} = K (V_1/f)^2$, et déterminer K

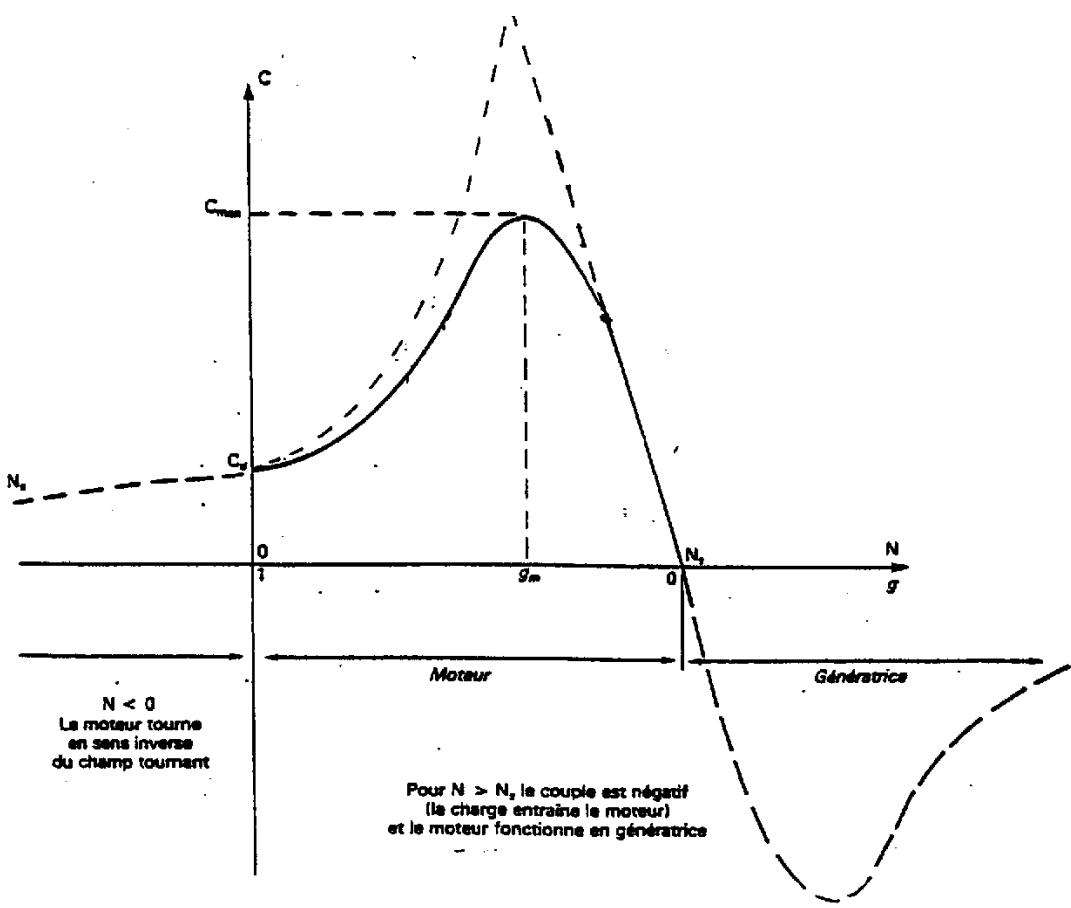
$$C_{max} = \frac{3pm^2 V_1^2}{\omega_s} \cdot \frac{ggL_2 \omega_s}{(gL_2 \omega_s)^2 + (gL_2 \omega_s)^2} = \frac{3pm^2 V_1^2}{\omega_s} \cdot \frac{L_2 \omega_s}{2(L_2 \omega_s)^2} = \frac{3pm^2}{8\pi^2 L_2} \left(\frac{V_1}{f}\right)^2$$

➤ Que peut-on dire de la relation entre le couple max et le flux max dans la machine ?

D'après ce qui a été vu plus haut : $C_{max} = K' (\Phi_{max})^2$

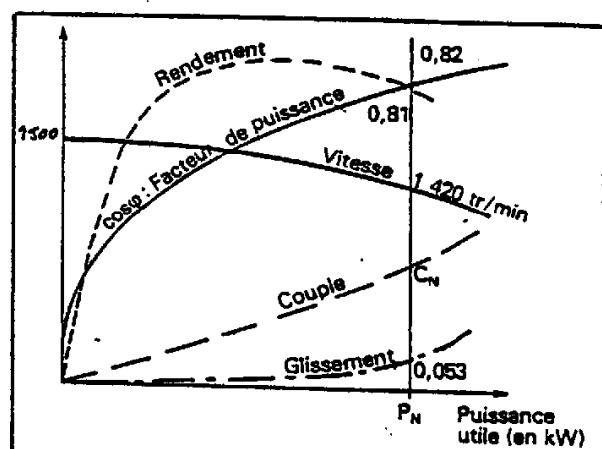
CONCLUSION : Pour faire travailler la machine à $C_{max} = \text{Constante}$, il faut avoir $U/f = \text{Cte}$, ou $\Phi = \text{Cte}$

2. CARACTERISTIQUES MECANIQUES



3. PROPRIETES D'UN MOTEUR A CAGE

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> Robustesse de leur construction. Facilité de branchement. Simplicité de changement de sens de rotation. Vitesse dépendant peu de la charge. Facteur de puissance élevé ($\cos \varphi > 0,8$). Peu d'entretien et de surveillance (pas de balais). Rendement élevé à charge nominale Encombrement réduit. Extrême simplicité de l'appareillage de commande en cas de démarrage direct. Prix le plus faible de tous les moteurs à induction. 	<ul style="list-style-type: none"> Gamme restreinte des vitesses, surtout au-dessus de 1 000 tr/mn (en alimentation directe sur réseau 50 Hz). (les variateurs électroniques de vitesse à fréquence variable permettent de remédier à ce défaut). Forte intensité électrique au démarrage. Ne supporte pas les démarques de longue durée. Faible couple au démarrage.



4. VARIATION DE VITESSE

INTRODUCTION

Il n'y a que trois procédés pour faire varier la vitesse d'un moteur asynchrone: $n = \frac{f}{p}(1 - g)$

- *Action sur le nombre de pôles*
- *Action sur le glissement*
- *Action sur la fréquence*

COUPLAGE DE POLES

Moteur à enroulements séparés

Deux enroulements totalement indépendants sont bobinés sur le même stator; leur nombre de pôles étant différents => 2 vitesses fixes mais pas de variation continue.

Couplage type DAHLANDER (à puissance constante)

Si un rapport des vitesses 1/2 est suffisant, on peut utiliser un seul enroulement et jouer sur le couplage des bobines.

