

INITIATION AUX RESEAUX ELECTRIQUES

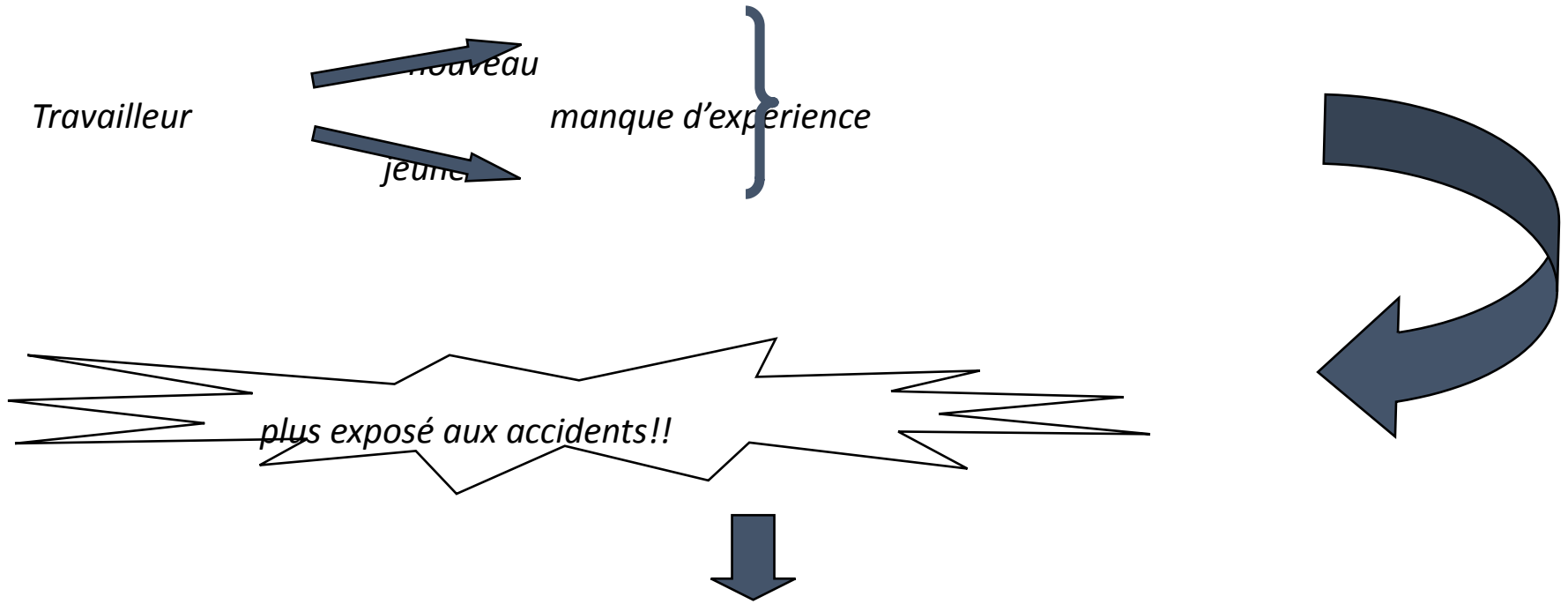
2019/2020

L3 ESTI

PLAN

- SECURITE ELECTRIQUE
- SYSTÈME TRIPHASE
- PRODUCTION
- TRANSPORT
- DISTRIBUTION
- APPAREILLAGE DE PROTECTION
- SCHEMA DE LIAISON A LA TERRE

SECURITE ELECTRIQUE



- 1) 1 victime sur 3 n'a pas encore un an d'expérience quand survient l'accident du travail...
- 2) les accidents du travail sont presque 2 fois plus fréquents chez les jeunes que chez les travailleurs plus âgés...

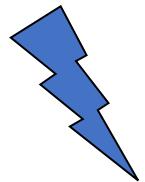
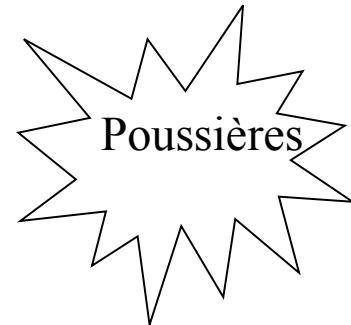
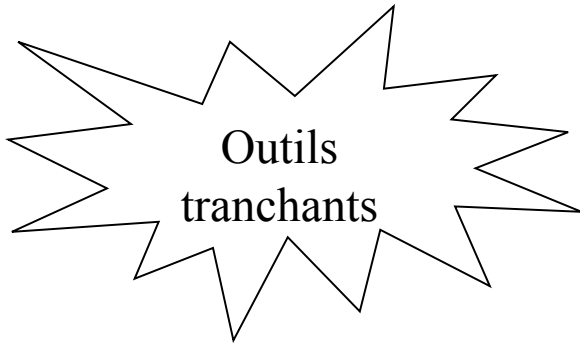
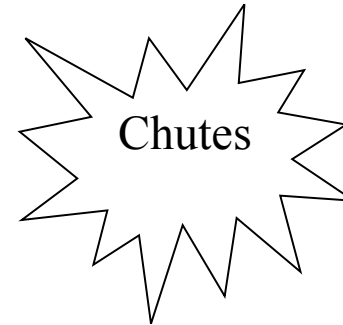
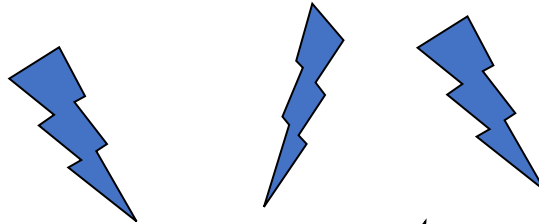
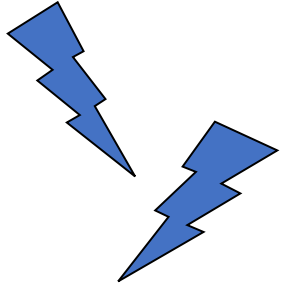
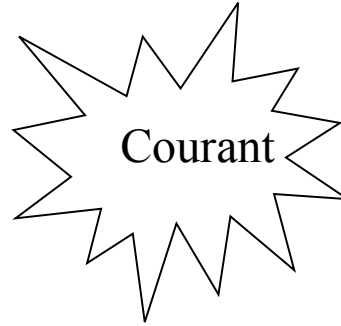
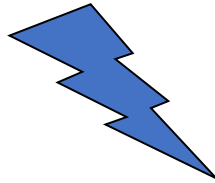
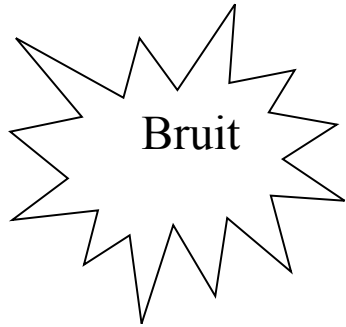
Les risques, c'est quoi?

- Tout ce qui peut mener à des accidents ou à des atteintes à la santé
- Partout (école, atelier, entreprise, route, maison, sport, ...)
- Aussi au travail

**il faut les connaître pour
pouvoir les prévenir**



Les risques en section électricité



Courant

Risques:

- Le courant électrique est invisible
- Le corps humain est un bon conducteur

Conséquences:

- Electrocutions
- Brûlures

Courant

- La gravité des accidents électriques dépend:
 - de l'intensité du courant traversant le corps
 - du trajet du courant à travers le corps
 - du temps d'exposition
 - de la fréquence du courant
 - du type du courant
- Calcul de l'intensité:
 - $I = U/R$
 - I = intensité du courant en (A)
 - U = tension en (V)
 - R = impédance en (Ω)

Courant

- L'impédance varie selon les différents trajets du courant à travers le corps:

<u>Chemin du courant</u>	<u>Impédance</u>
• main - main	1000 Ω
• main - pied	1000 Ω
• main - pieds	750 Ω

(Valeurs applicables pour 220V/ 50 Hz)

- L'impédance dépend :
 - de la tension
 - de la fréquence
 - de l'état de la peau
 - du type de vêtements et de souliers

Courant

<u>Effets du passage du courant alternatif</u>		
Intensité	Perception des effets	Temps
0,5 à 1 mA	seuil de perception suivant l'état de la peau	
8 mA	choc au toucher, réactions brutales	
10 mA	contraction des muscles des membres	4 mn 30
20 mA	début de téτανisation de la cage thoracique	60 s
30 mA	paralysie ventilatoire	30 s
40 mA	fibrillation ventriculaire	3 s
75 mA	fibrillation ventriculaire	1 s
300 mA	paralysie ventilatoire	110 ms
500 mA	fibrillation ventriculaire	100 ms
1 000 mA	arrêt cardiaque	25 ms
2 000 mA	centre nerveux atteints	instantané

Courant

- En présence d'une tension de 220 V/ 50 Hz, on atteint rapidement les 80 mA critiques
- Le parcours passant par le coeur est particulièrement critique
- Le courant alternatif est le plus dangereux, puisqu'il agit sur la sensibilité d'excitation des muscles
- Le courant continu est moins dangereux à l'utilisation normale, mais présente un risque accru lors des périodes d'arrêt et de mise en marche

Courant

Exemples de cas menant à une électrocution:

- Contact avec un seul conducteur relié au réseau de distribution de l'énergie électrique (retour du courant à la source par corps mal isolé)
- Contact avec 2 conducteurs (le corps humain joue le rôle de récepteur)
- Contact indirect (contact d'un conducteur avec une partie métallique d'un appareil électrique. Retour du courant à la source par corps mal isolé).

Note :

Dans les installations bien conçues, des détecteurs de courant différentiel (FI) détectent les défauts et coupent automatiquement l'alimentation en courant électrique.

Courant

Manœuvres d'auto-dégagement:

Dans des situations spécifiques, des moyens de dégagement du circuit électrique sont possibles par ex. :

- Jeter l'équipement électrique (p. ex. foreuse électrique).
- Si une téτανisation de la main rend ce geste impossible, essayer de mettre la carcasse de l'outil électrique en contact avec des parties mises à terre (p. ex. des radiateurs, des poutres en acier). Cette action provoque le déclenchement des fusibles ou du disjoncteur.
- Basculer le corps vers l'arrière en s'appuyant sur les talons des chaussures. Cette manœuvre provoque une élévation des semelles qui entraîne une augmentation de la résistance des souliers (talons). Ceci provoque un abaissement du courant suffisant (quelques mA en cas de basse tension) pour arrêter la téτανisation.

Courant

Effets du courant électrique:

- Sursaut → autre accident (p.ex. chute)
- Brûlure → guérison très lente
- Electrification, voire électrocution

Séquelles:

- Plus la durée de passage est longue, plus les complications et séquelles sont importantes:
 - complications cardio-vasculaires, neurologiques,...
 - dommages aux tissus (p.ex. cicatrices dues aux brûlures)
 - rétraction des tendons,...

Courant

Prévention:

- Effectuer les interventions **hors tension**
- Les **cinq règles** de sécurité ci-dessous doivent être respectées dans tous les cas:
 1. mise hors tension
 2. protection contre la remise sous tension
 3. contrôle de l'absence de tension
 4. mise à la terre et en court-circuit
 5. séparation, isolation, protection des parties voisines sous tension
- S'assurer que le courant est coupé en utilisant un appareil de contrôle.

Courant

Prévention:

- Utiliser du matériel et de l'outillage à isolation renforcée
- Ne pas employer d'échelles métalliques
- Fermer les portes des tableaux électriques – si ce n'est pas possible, installer un balisage de sécurité à au moins 1 mètre du tableau
- Adapter immédiatement les schémas électriques en cas de modifications
- Contrôler l'état du matériel et remplacer immédiatement tout câble défectueux



Courant

Prévention:

- En cas de mesurage de grandeurs électriques
 - Utiliser les équipements de protection individuelle adaptés
 - Ne pas porter d'objets mécaniques
 - Utiliser des appareils de mesure adaptés aux tensions qui peuvent être rencontrées
 - Choisir l'échelle de mesure la plus grande



Risque d'incendie

- Le risque d'incendie se manifeste dans les cas de surintensité
 - Surcharge (sursurintensité de faible valeur et de longue durée): plusieurs appareils branchés sur la même prise, dispositifs de protection mal adaptés,...
 - Court-circuit (sursurintensité de valeur élevée et de courte durée): échauffement subit entraînant la fusion des conducteurs, mise en contact accidentel de deux conducteurs dénudés,...
- La présence de solvants, de gaz, ... est un facteur aggravant (risque d'explosion)

Risque d'incendie

Prévention:

- Veiller à ce que les installations soient équipées des protections adéquates et nécessaires (fusibles, interrupteurs différentiels,...)
- Contrôler les appareils électriques, les interrupteurs, les prises,... à la moindre défaillance; les éliminer si nécessaire



Poussières

Risque:

- Travaux de rainurage, incorporation d'appareillage,...

Conséquences:

- Inhalation de poussières de plâtre, ciment, laines minérales, silice, amiante,...
- Projection dans les yeux

Prévention:

- Porter les équipements de protection individuelle (masque et lunettes de sécurité)

Poussières

Prévention:

- **S'informer** de la présence de produits dangereux avant de commencer le travail (s'il s'agit d'amiante, suivre les procédures de prévention spécifiques)
- Privilégier les outils équipés d'une **aspiration intégrée**
- **Ventiler** lors de travaux dans des endroits clos et/ou confinés
- **Utiliser les protections appropriées:**
 - respiratoires (masque avec élément filtrant ou à adduction d'air)
 - lunettes de sécurité
 - gants

Manutention

Risques:

- Postures: travail bras au-dessus des épaules, sur les genoux,...
- Gestes répétitifs

Prévention:

- Varier les positions de travail
- Mettre le travail à hauteur (tables élévatrices, tréteaux,...)
- Privilégier les appareillages électriques pré-câblés

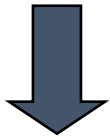
Chute

Risques:

- Travail en hauteur (échelles, échafaudages, toits,...)
- Ouvertures dans le sol non recouvertes et non signalées
- Couverture fragile (toit,...)

Conséquences:

En général, chute de plusieurs mètres



Gravité variable: fractures, séquelles importantes (paralysie,...), mort

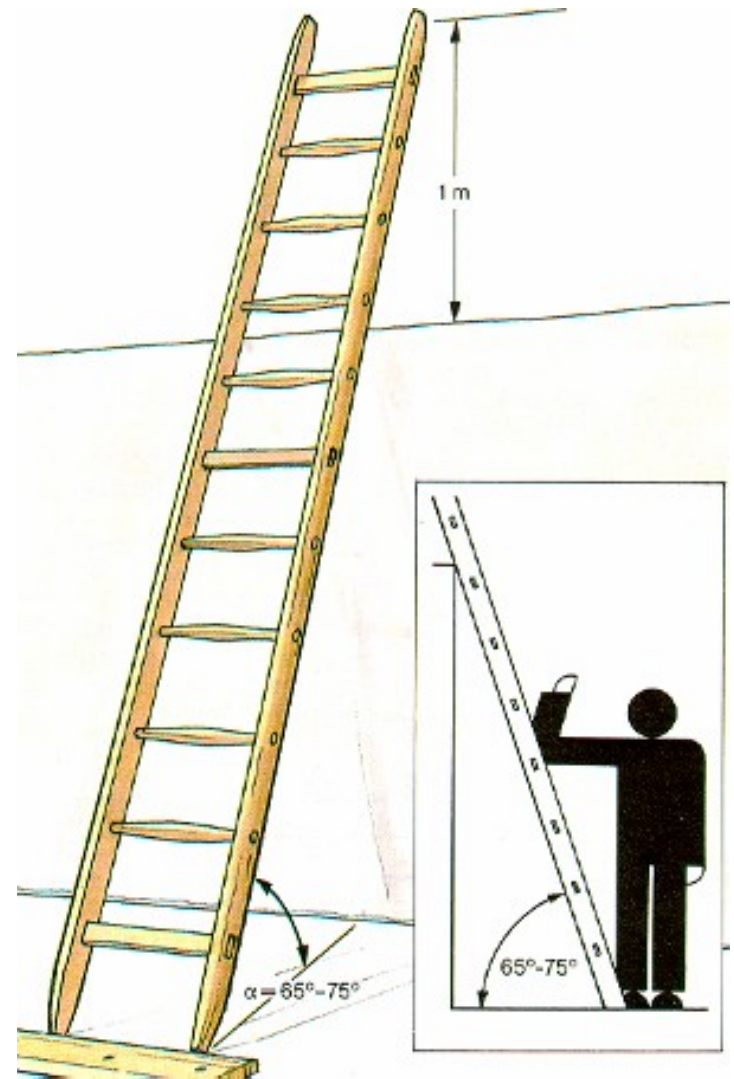
Chute

Prévention:

- Règle générale: utiliser le matériel approprié

Echelles:

- Utiliser seulement une échelle
 - en bon état
 - d'une longueur suffisante
- La placer correctement:
 - sol stable
 - inclinaison suffisante
 - lieux sans risque (pas devant une porte, près d'une ligne électrique, ...)



Chute

Echafaudages

- L'échafaudage doit être choisi en fonction de la charge et en fonction de la largeur du plancher
- Les placer sur un sol stable et hors de portée de lignes électriques
- Répartir les charges (ne pas surcharger les planchers)
- Mettre en place les gardes-corps et les plinthes
- Prévoir des protections latérales

Outil tranchant

Risque:

- Utilisation de lames tranchantes (cutters, couteau d'électricien,...) pour dénuder les câbles,...

Prévention:

- Privilégier des outils sécurisés pour dénuder les câbles (de type Jokari, p.ex.)
- Porter des gants anti-coupures

Bruit

- Les perceuses, rainureuses,... sont des machines bruyantes. Elles dépassent parfois le niveau sonore maximal.

Conséquences:

- Détérioration de l'ouïe, irréversible à long terme => **surdité**
- Mais aussi: accélération du rythme cardiaque, élévation de la tension artérielle, troubles digestifs, fatigue et augmentation des risques d'accident.

Prévention:

- **Se protéger les oreilles** en portant un casque

anti-bruit ou toute autre protection de l'ouïe adéquate.



SYSTÈME TRIPHASE

Phase 1 : L1 : $v_1 = V_{\max} \sin \omega t$

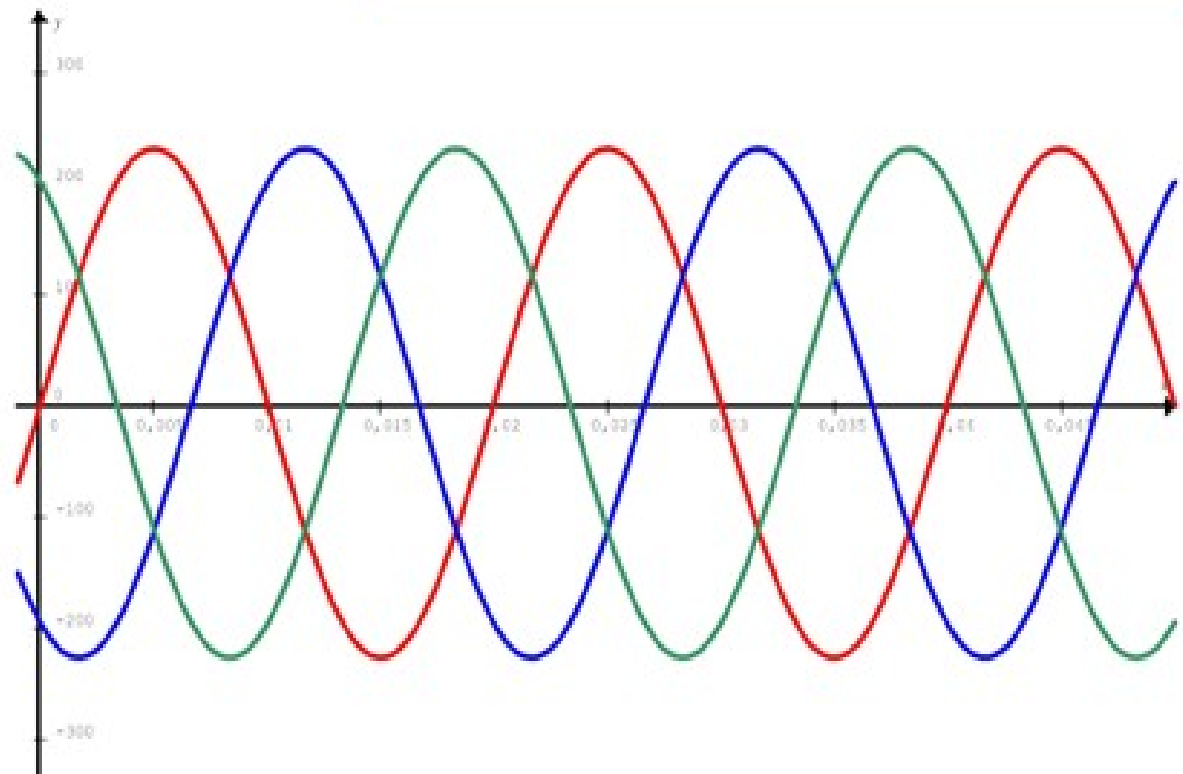
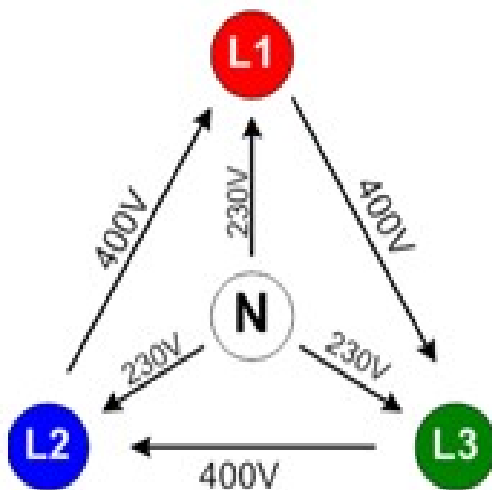
V_{\max} = amplitude

$\omega = 2\pi f$

Phase 2 : L2 : $v_2 = V_{\max} \sin (\omega t - 2\pi/3)$

Phase 3 : L3 : $v_3 = V_{\max} \sin (\omega t - 4\pi/3)$

On note V pour une tension simple
On note U pour une tension composée



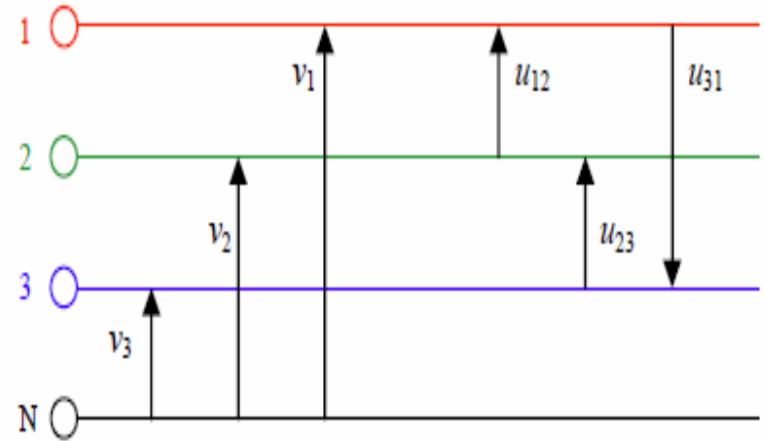
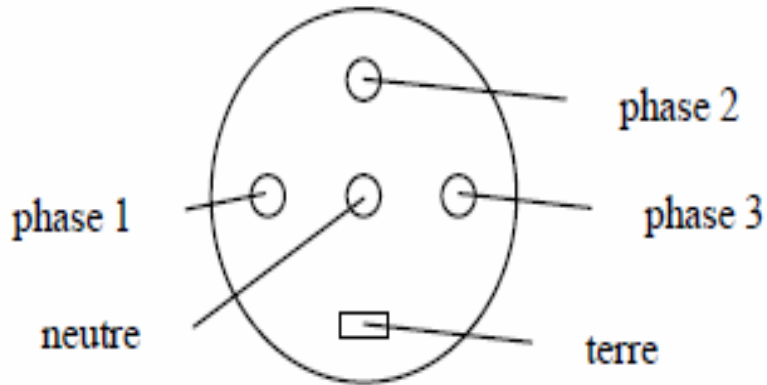
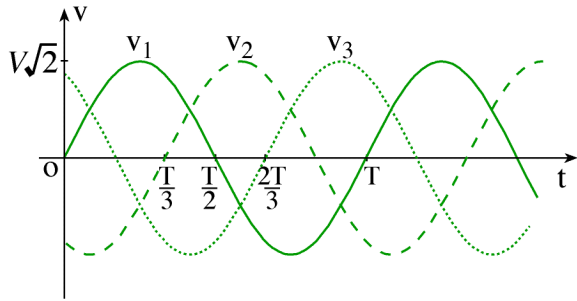
Dans tout système de distribution triphasé (quatre fils), il existe un **neutre électrique**:

La tension entre une des **phases et le neutre** est appelée **tension simple** (230V) alors la tension entre **2 phases** est appelée **tension composée** (400V). Le neutre joue le rôle de protection contre les **surtensions** !!!

L1, L2, L3; A, B, C; R, S, T; U, V, W :

Les **phases** sont les conducteurs chargés de **véhiculer l'énergie** vers le récepteur. Dans un récepteur triphasé **équilibré**, le courant circulant dans le **neutre est nul**. Il n'existe que dans les phases. La tension de chaque phase est décalée de **120°** les unes par rapport aux autres.

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



Exemple

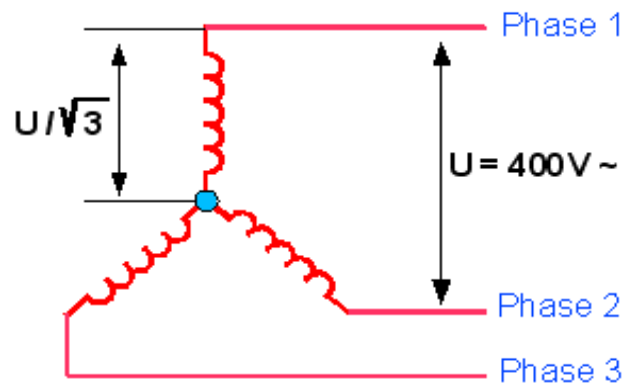
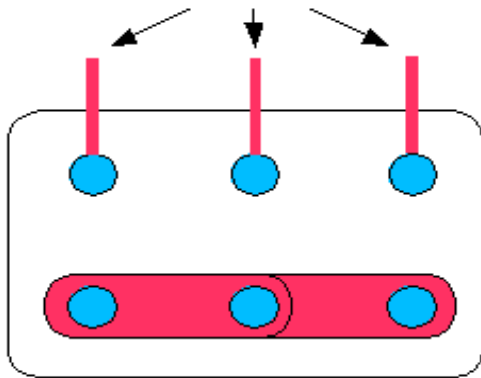
$V = 230 \text{ V}$ **Tension simple** (entre phase et neutre)

$U = 400 \text{ V}$ **Tension composée** (entre deux phases)

Couplage

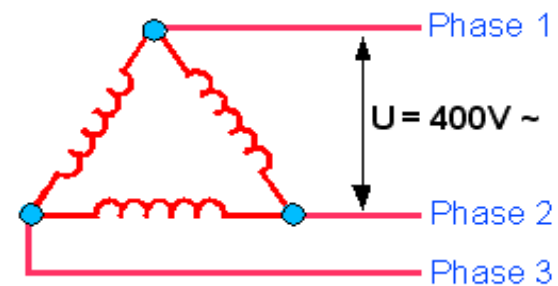
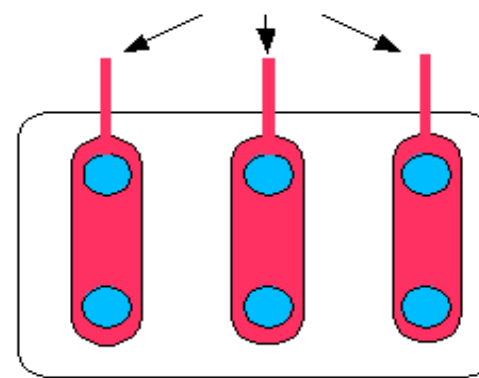
Montage étoile

Réseau triphasé

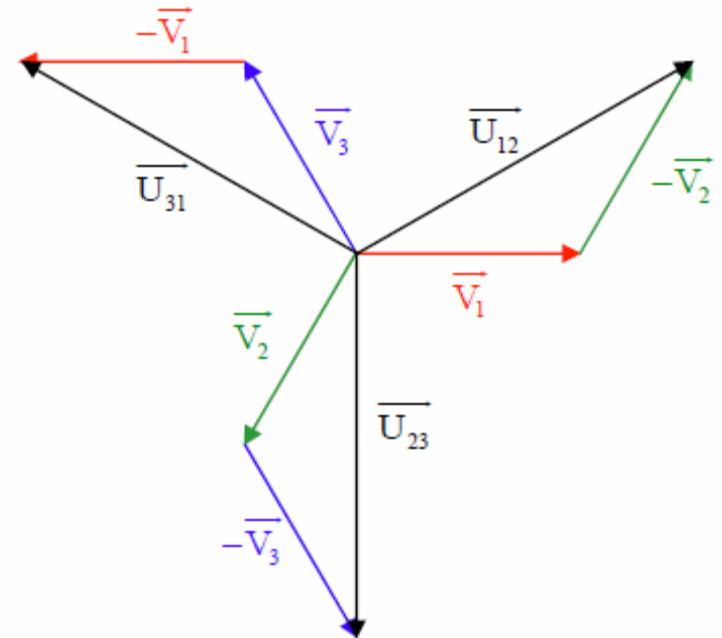
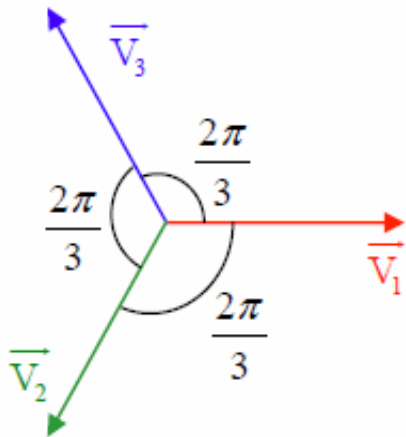


Montage triangle

Réseau triphasé



Vecteurs de Fresnels associés



$$U_{12} = U_{1N} - U_{2N}$$

$$U_{12} = V_1 - V_2$$

$$U_{23} = U_{2N} - U_{3N}$$

$$U_{23} = V_2 - V_3$$

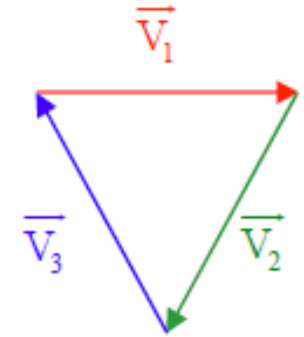
$$U_{31} = U_{3N} - U_{1N}$$

$$U_{31} = V_3 - V_1$$

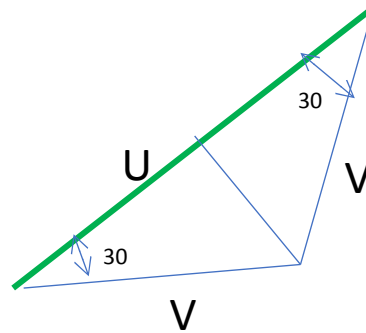
$$U_{12} + U_{23} + U_{31} = 0$$

L'oscillogramme des trois tensions montre qu'elles sont :

- ❖ sinusoïdales
- ❖ de même période T et par conséquent de même pulsation ω
- ❖ de même amplitude
- ❖ décalées d'un tiers de période donc de $2\pi/3$



Relation entre U et V



Cette relation est toujours vrai quelque soit la charge.

Les puissances actives et réactives absorbées par un groupement de dipôles sont respectivement égales à la somme des puissances actives et réactives absorbées par chaque élément du groupement

$$P = P_1 + P_2 + P_3 \quad \text{et}$$

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

Pour un récepteur équilibré:
 Pour un récepteur équilibré:

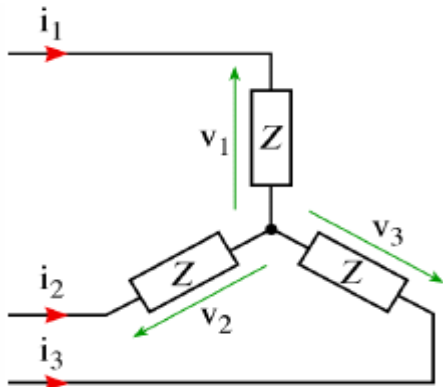
$$P_1 = P_2 = P_3 \quad \text{et} \quad Q_1 = Q_2 = Q_3$$

$$P_1 = P_2 = P_3 \quad \text{et} \quad Q_1 = Q_2 = Q_3$$

Finalement $P = 3 P_1$ et $Q = 3 Q_1$
 Finalement $P = 3 P_1$ et $Q = 3 Q_1$

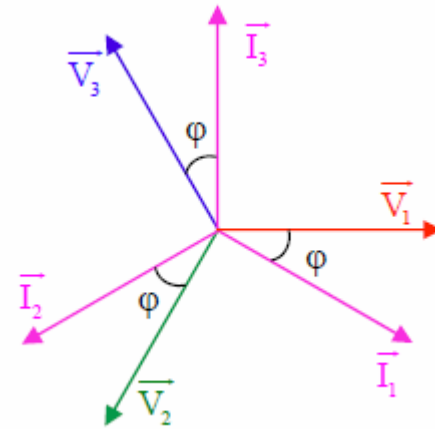
Facteur de puissance : $k = \frac{P}{S}$
 Facteur de puissance : $k = \frac{P}{S}$

Couplage étoile

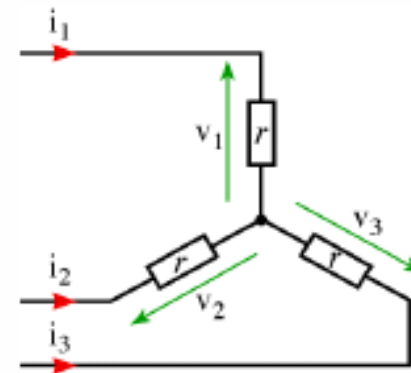


$$\bar{I}_1 = \bar{I}_2 = \bar{I}_3 = \bar{I} = \frac{\bar{V}}{Z}$$

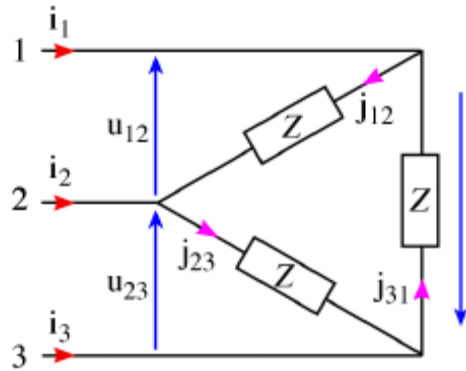
$$\bar{I}_1 + \bar{I}_2 + \bar{I}_3 = \bar{I}_N = \bar{0}$$



Pertes par effet joule



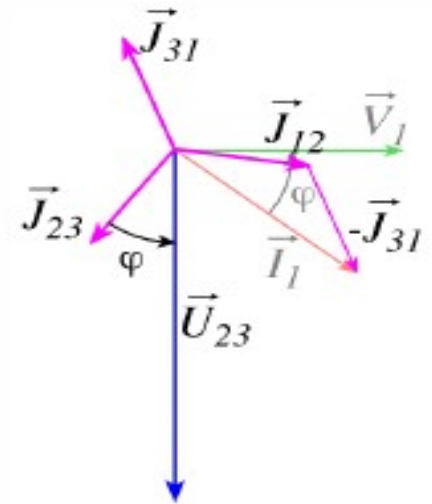
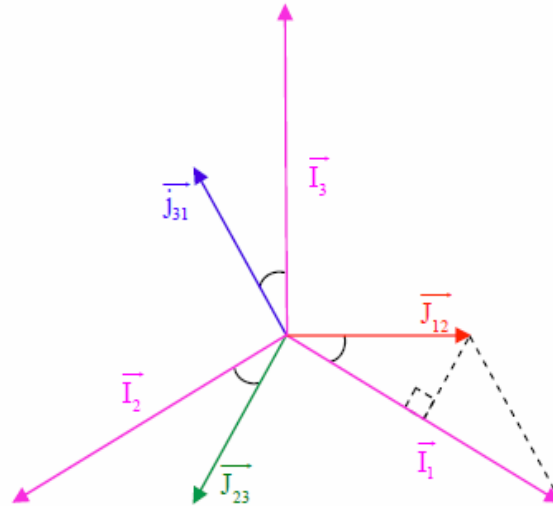
Couplage triangle



$$J_{12} = J_{23} = J_{31} = J = \frac{U}{Z}$$

$$I = J\sqrt{3}$$

$$\vec{J}_{12} + \vec{J}_{23} + \vec{J}_{31} = \vec{0}$$



$$\dot{i}_1 = \dot{j}_{12} - \dot{j}_{31} \Rightarrow$$

$$\dot{I}_1 = \dot{J}_{12} - \dot{J}_{31}$$

$$\dot{i}_2 = \dot{j}_{23} - \dot{j}_{12} \Rightarrow$$

$$\dot{I}_2 = \dot{J}_{23} - \dot{J}_{12}$$

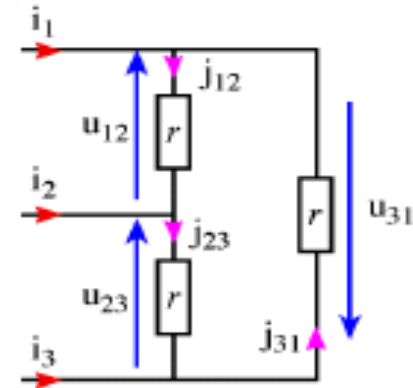
$$\dot{i}_3 = \dot{j}_{31} - \dot{j}_{23} \Rightarrow$$

$$\dot{I}_3 = \dot{J}_{31} - \dot{J}_{23}$$

❑ Pertes par effet joule

$$R = \frac{2r \cdot r}{2r + r} = \frac{2}{3}r$$

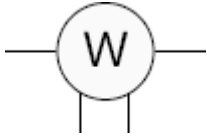
❑ Wattmètre



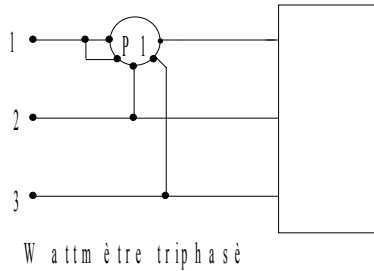
Le Wattmètre permet de mesurer la puissance active P en monophasé ou en triphasé. Il possède au moins quatre bornes : deux bornes pour mesurer la tension et deux bornes pour mesurer le courant. Il y a donc deux branchement à réaliser : un branchement en parallèle (comme un voltmètre pour mesurer la tension) et un branchement en série (comme un ampèremètre pour mesurer le courant). Le wattmètre tient compte du déphasage

Principe du Wattmètre

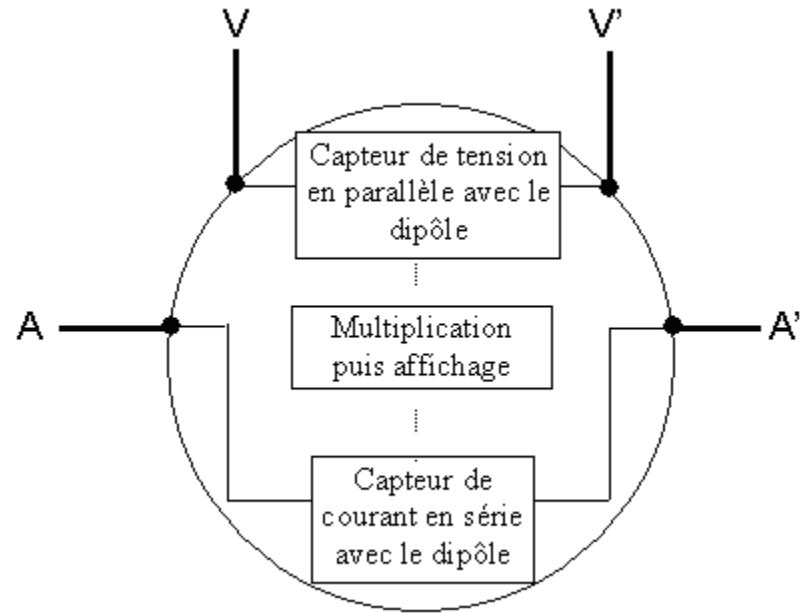
Symbole du Wattmètre



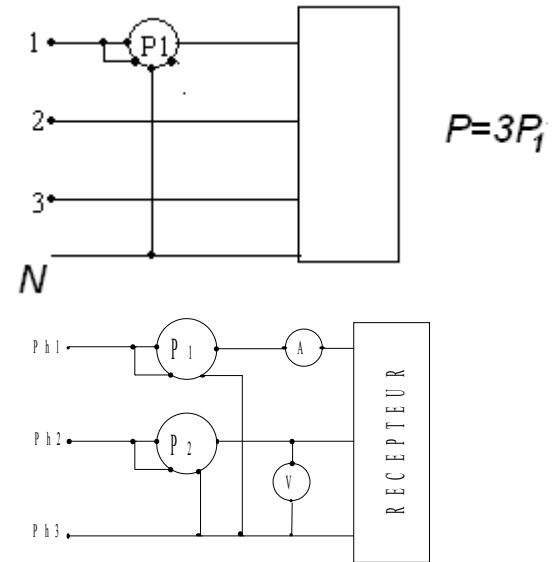
Mesure en triphasé 3 fils



Mesure par la méthode double Wattmètres



Mesure en monophasé (système équilibré)



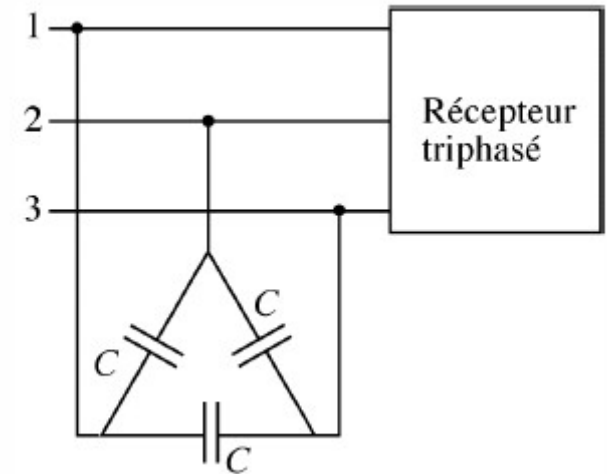
☐ Tableau récapitulatif

	Couplage étoile	Couplage triangle
Relation entre U et V	$U = V\sqrt{3}$	$U = V\sqrt{3}$
Relation entre I et J	$I = J$	$I = J\sqrt{3}$
Déphasage	$\varphi (\dot{I}, \dot{V})$	$\varphi (\dot{J}, \dot{U})$
Puissance active	$P = 3.P_1 = 3VI \cos\varphi$ $P = \sqrt{3}UI \cos\varphi$	$P = 3.P_1 = 3UJ \cos\varphi$ $P = \sqrt{3}UI \cos\varphi$
Pertes joules	$P = 3rI^2$ $P = \frac{3}{2} RI^2$	$P = 3rJ^2$ $P = \frac{3}{2} RJ^2$
Résistance équivalente	$R = 2r$	$R = \frac{2}{3} r$
Puissance réactive	$Q = \sqrt{3}UI \sin\varphi$	$Q = \sqrt{3}UI \sin\varphi$
Puissance apparente	$S = \sqrt{3}UI$	$S = \sqrt{3}UI$
Facteur de puissance	$k = \cos\varphi$	$k = \cos\varphi$

Amélioration du facteur de puissance

Couplage triangle

	Puissance active	Puissance réactive	Facteur de puissance
Charge seule	P	$Q = P \operatorname{tg} \varphi$	On a $\cos \varphi$
les trois condensateurs seuls	0	$Q_c = -3C\omega U^2$	0
Charge + condensateurs	P	$Q' = Q + Q_c = P \operatorname{tg} \varphi'$	On veut $\cos \varphi'$



Tension aux bornes d'un condensateur: U

Puissance réactive absorbée par un condensateur : $Q_{c1} = -C\omega U^2$

Puissance réactive absorbée par les trois condensateurs : $Q_c = 3Q_{c1} = -3 C\omega U^2$

➤ Couplage des condensateurs en étoile

En utilisant le même raisonnement que précédemment, on montre que la capacité du condensateur est donnée par la relation :

$$C = \frac{P(\operatorname{tg}\varphi - \operatorname{tg}\varphi')}{\omega U^2}$$

Le couplage en étoile est donc *moins intéressant* puisque la capacité des condensateurs nécessaires est *trois fois plus grande* que pour le couplage triangle. Plus la capacité est grande, plus le condensateur est volumineux et onéreux.

☐ Puissance active

Si le couplage est étoile l'ensemble du récepteur consomme:

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

Si le couplage est triangle l'ensemble du récepteur consomme:

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

Quel que soit le couplage: $P = \sqrt{3} UI \cos \varphi$ unité en Watt.

☐ Puissance réactive

Si le couplage est étoile l'ensemble du récepteur consomme:

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

Si le couplage est triangle l'ensemble du récepteur consomme:

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

Quel que soit le couplage: $Q = \sqrt{3} UI \sin \varphi$ unité en var.

☐ Puissance apparente

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \text{ unité VA} = \sqrt{3} U I \text{ unité VA}$$

☐ Théorème de Boucherot

Cette loi permet de connaître très rapidement le courant consommé par l'ensemble d'une installation et le facteur de puissance global. Pour cela il suffit de faire un bilan des puissances active et réactive consommées par chaque appareil et de faire la somme algébrique.

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \text{ et } \cos\varphi = \frac{P}{S} \Rightarrow I = \frac{S}{\sqrt{3}U} \text{ et } \cos\varphi = \frac{P}{S}$$

PRODUCTION

- Les centrales sont donc classées en fonction
 - de la source d'énergie ou la force
 - qui produit ce mouvement de rotation.

Énergie Capacité de produire un travail (changement, mouvement...)

- Énergie **potentielle**
 - Arc tendu, ressort comprimé, objet soulevé...
- Énergie **cinétique** (vitesse et masse)
 - Balle de fusil, le vent, vapeur...(objet en mouvement)
- Énergie **chimique**
 - Poudre à canon, essence, charbon...
- Énergie **nucléaire** (fission et fusion d'atomes)
- Énergie **thermique** (chaleur)
- Énergie **mécanique** de rotation (objet qui tourne)
- Énergie **électrique** (mouvement d'électrons)

- Une centrale électrique est une machine à transformer l'énergie.
- L'efficacité est variable.
- Les conséquences sur l'environnement et notre bien-être sont parfois très sérieuses.

Centrale hydroélectrique

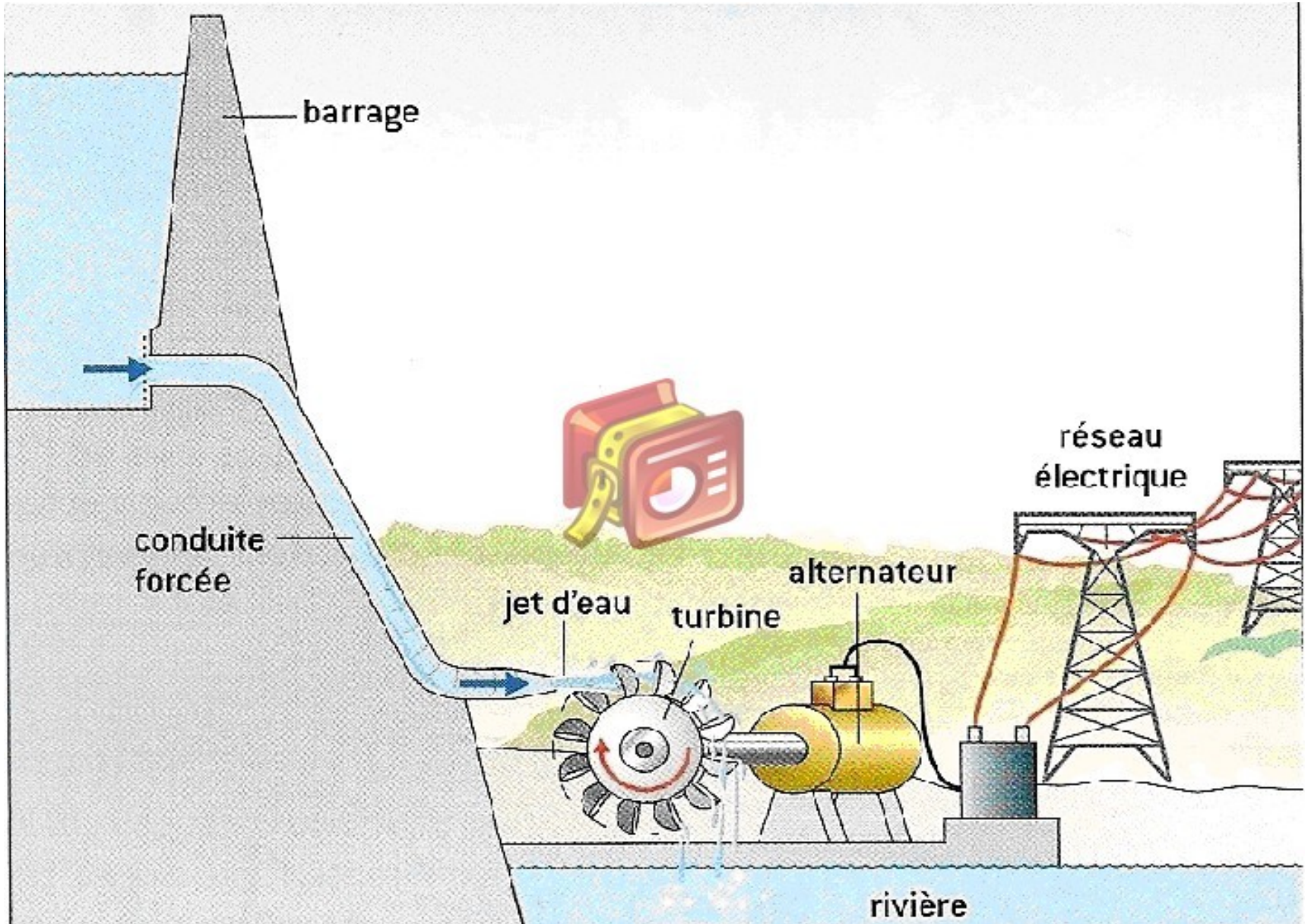
- Un barrage élève le niveau de l'eau (énergie potentielle)
- En tombant dans une conduite forcée elle gagne de la vitesse donc de l'énergie cinétique.
- Elle fait ensuite tourner la turbine, son énergie est alors changée en énergie mécanique de rotation.
- Ceci fait tourner le rotor de l'alternateur. L'énergie mécanique est alors changée en énergie électrique.

Centrale hydroélectrique

Avantages et inconvénients

- Grande production d'électricité
- Faible coût de production pendant plusieurs années
- Énergie propre :
 - Peu de pollution atmosphérique
 - Source d'énergie renouvelable, l'eau
- Délai de construction assez grand.
- Parfois loin des grands centres.
 - Donc grandes lignes de transports.
- Inondations de grands territoires.
- Impact sur les populations et l'environnement.

Centrale hydroélectrique



Centrale thermique classique

- On brûle des hydrocarbures (pétrole, charbon, gaz).
 - Énergie chimique est changée en énergie thermique.
- On produit ainsi de la vapeur d'eau.

Les molécules d'eau bougent à grande vitesse.

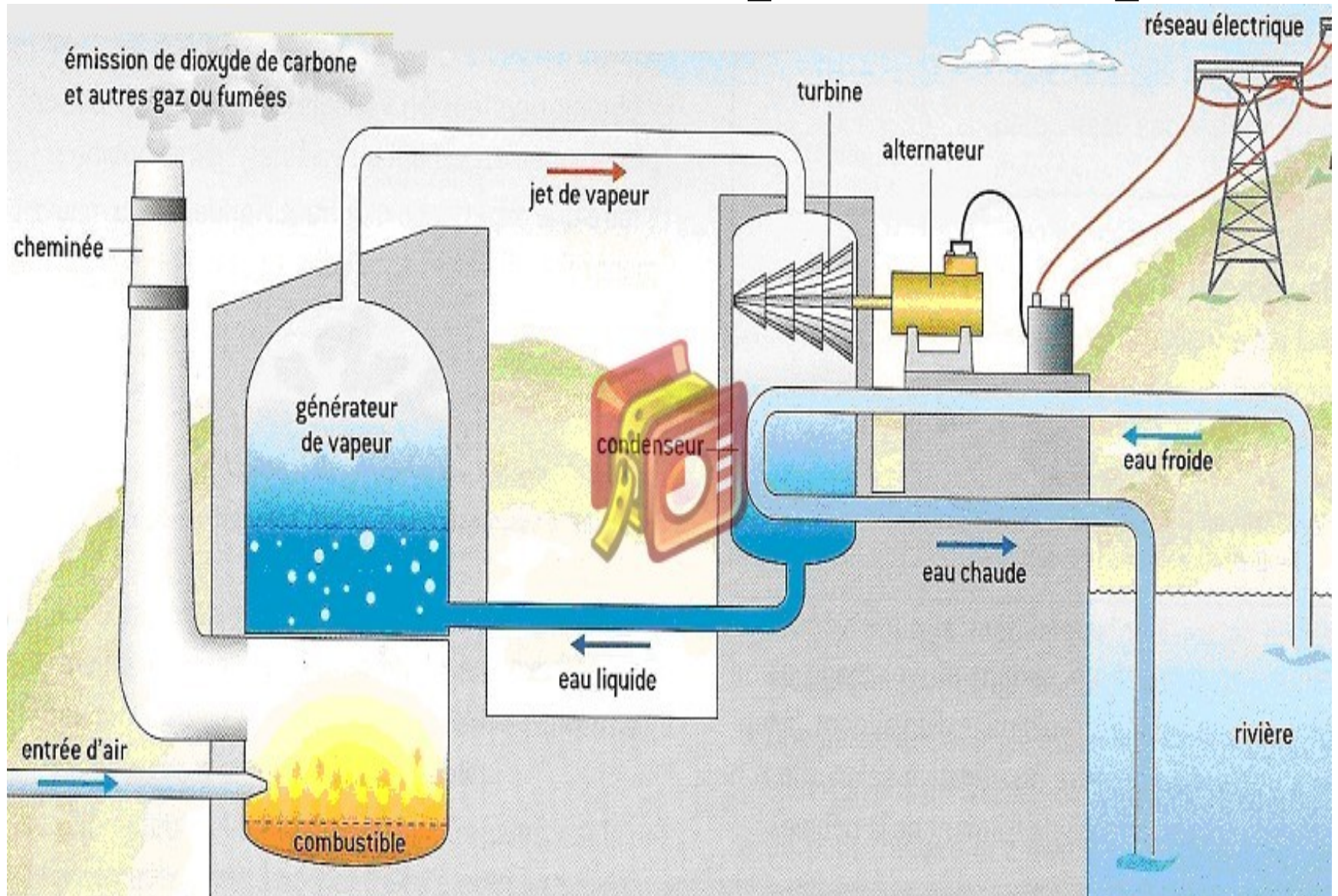
 - L'énergie thermique est changée en énergie cinétique.
- La vapeur fait ensuite tourner une turbine.
 - L'énergie cinétique est changée en énergie mécanique de rotation.
- La turbine entraîne l'alternateur.
 - L'énergie mécanique est changée en énergie électrique.

Centrale thermique classique

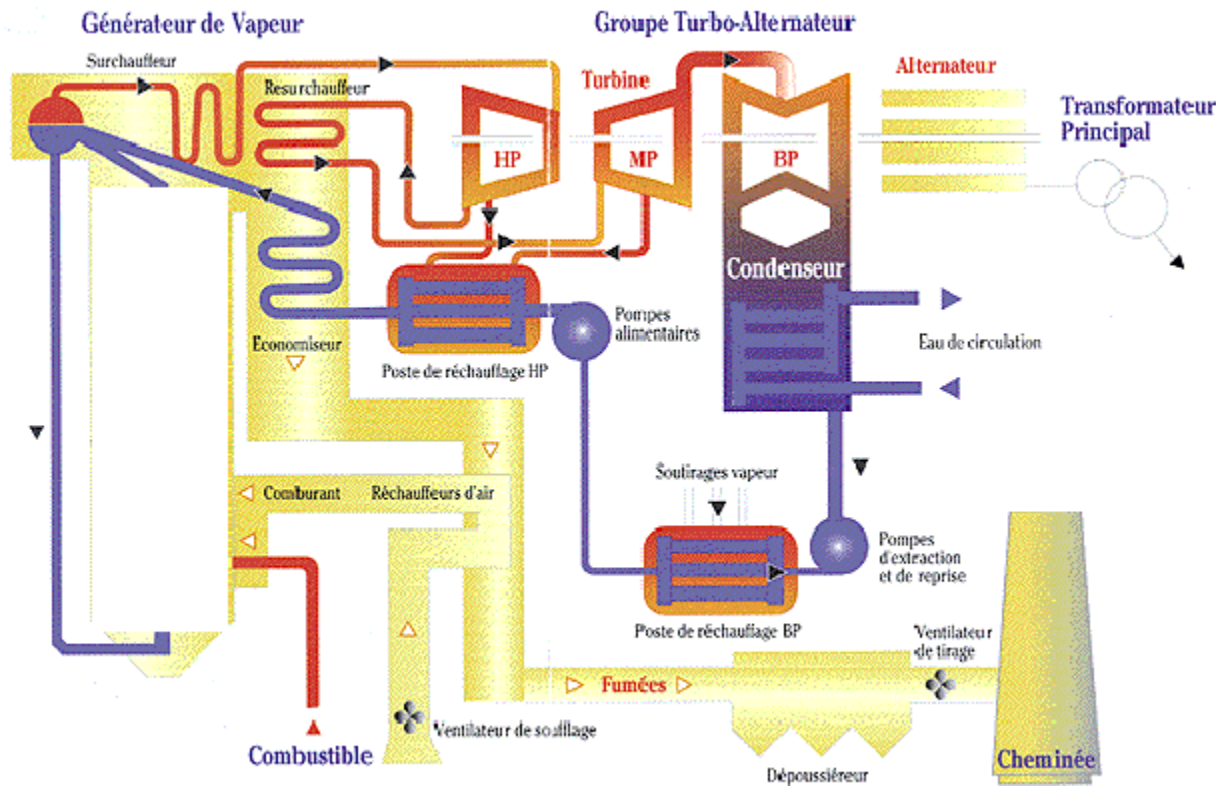
Avantages et inconvénients

- Construction rapide
 - Technique bien connue
 - On peut l'installer presque partout.
 - Bonne production
 - Système d'appoint lorsque la demande est forte
 - Faible coût de construction
- Source d'énergie non renouvelable
 - Pollution : poussières et atmosphérique
 - Pluie acide et gaz à effet de serre
 - Coût de production parfois très élevé.
 - Conséquences à long terme sont majeures pour l'environnement.

Centrale thermique classique



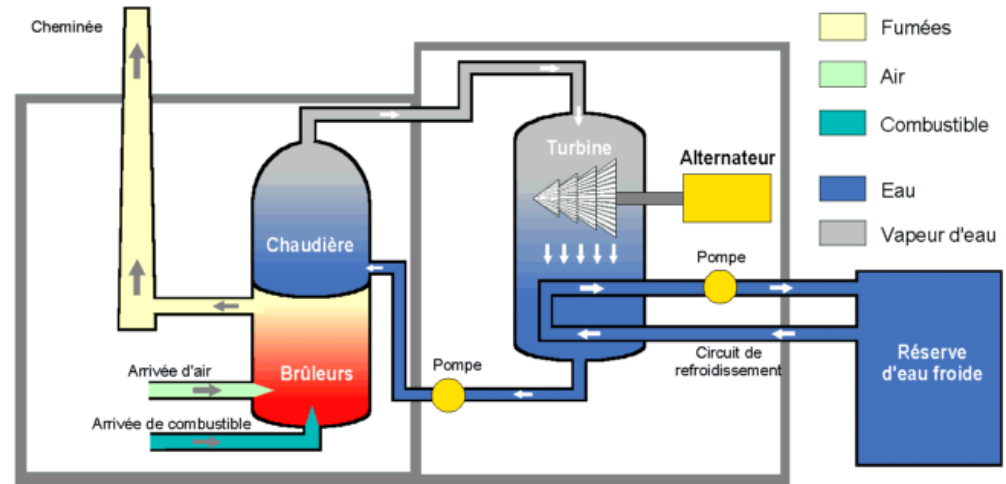
Centrale thermique à charbon



Dans les centrales qui brûlent du charbon, les gaz de combustion passent par des dépoussiéreurs électrostatiques où ils sont débarrassés de la presque totalité des cendres volantes qu'ils ont entraînés, puis ils sont évacués par de hautes cheminées.

Centrale thermique à charbon

Dans les centrales qui brûlent du charbon, les gaz de combustion passent par des dépoussiéreurs électrostatiques où ils sont débarrassés de la presque totalité des cendres volantes qu'ils ont entraînés, puis ils sont évacués par de hautes cheminées.

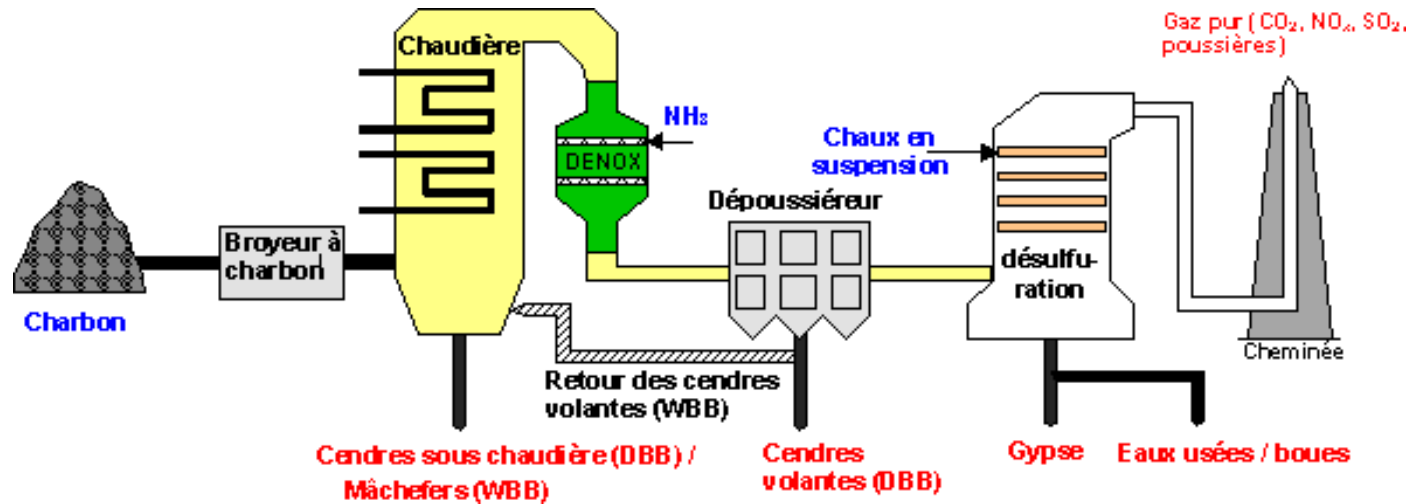


Le condenseur est la source froide où la vapeur revient à l'état liquide. Il est constitué de milliers de tubes très petits dans lesquels circule l'eau de refroidissement. La vapeur circule à l'extérieur de ces tubes, et se condense par la suite. Des pompes d'extraction réinjectent l'eau dans le circuit du générateur.

La turbine sert principalement pour transformer l'énergie thermique en énergie cinétique donc pour obtenir du mouvement

Centrale thermique à charbon

Finale­ment, l'alternateur, fixé sur le même arbre que la turbine, transforme le travail méca­nique en courant électrique. Nous obtenons donc l'énergie électrique.



Voici les formes que prennent l'énergie avant d'arriver à la dernière phase, l'énergie électrique.

Énergie chimique ⇒ Énergie thermique ⇒ Énergie cinétique ⇒ Énergie électrique

Centrale thermique nucléaire

- Dans un réacteur la fission de l'atome d'uranium 235 produit beaucoup de chaleur.
 - L'énergie nucléaire se change en énergie thermique.
- Avec cette chaleur on produit de la vapeur.
 - Énergie thermique changée en énergie cinétique
- La vapeur fait tourner la turbine.
 - L'énergie cinétique est changée en énergie mécanique de rotation.
- La turbine entraîne l'alternateur.
 - L'énergie mécanique est changée en énergie électrique.

Centrale thermique nucléaire

Avantages et inconvénients

- Produit beaucoup d'électricité.
- Coût de production intéressant
- Près des grands centres
- Énergie propre pour l'atmosphère.
- Utilise peu de combustible.
- Déchets radioactifs
 - difficiles à gérer
- Délai de construction (années)
- Coût de construction et de démolition élevé
- Demande beaucoup de sécurité et d'entretien
 - pour éviter un accident grave.

Centrale à turbine à gaz

- La combustion du mazout léger + air comprimé,
 - produit un mélange gazeux qui fait tourner directement la turbine.
 - L'énergie chimique est ainsi changée en énergie cinétique et thermique. (Dans la chambre à gaz)
- Ces énergies sont ensuite changées en énergie mécanique (turbine) et en énergie électrique (alternateur).

Centrale à turbine à gaz

Avantages et inconvénients

- Mise en marche et arrêt rapide
- Source d'appoint
- Production moyenne
- Situé proche des centres
- Fonctionnement coûte cher.
 - Pétrole
 - Pollution atmosphérique
 - Source d'énergie renouvelable non

Centrale diesel

- Le moteur diesel actionne directement l'alternateur.
- L'énergie chimique du diesel est changée en énergie
 - mécanique de rotation
 - qui est changée en énergie électrique par l'alternateur.
 - À noter : il n'y a pas de turbine.

Centrale diesel

Avantages et inconvénients

- Construction facile
- Idéal pour une région isolée,
 - là où le transport d'électricité est impossible ou trop coûteux.
- Fonctionnement coûteux :
 - entretien du moteur et prix du diesel.
- Pollution atmosphérique
- Source d'énergie non renouvelable.

Centrale éolienne

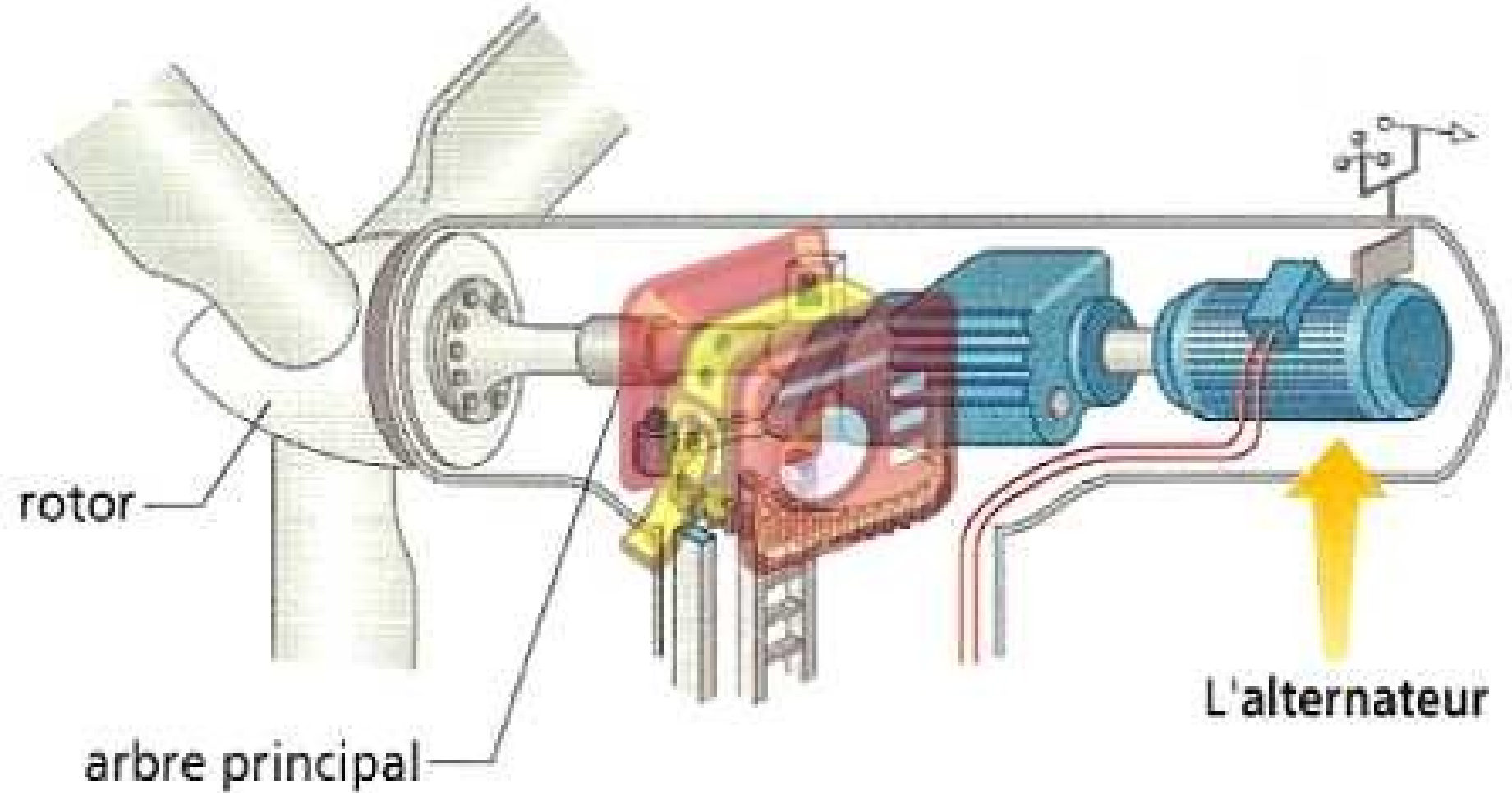
- Le vent fait tourner les pales.
 - L'énergie cinétique est changée en énergie mécanique de rotation.
- Le mouvement des pales entraîne l'alternateur qui
 - convertit l'énergie mécanique en énergie électrique.

Centrale éolienne

Avantages et inconvénients

- Énergie propre
- Source renouvelable d'énergie
 - Le vent
- Utile dans les régions éloignées
- Excellent système d'appoint :
 - en hiver il y a plus de vent
 - et l'air est plus dense donc plus efficace.
- Nécessite de grand parc pour
 - avoir une bonne production.
- Pollution visuelle
- Danger pour les oiseaux
 - là où il y a des migrations.
- Il n'y a pas toujours du vent

Centrale éolienne



TRANSPORT

- ❖ L'électricité circule depuis le *lieu* où elle est *produite* jusqu'à *l'endroit* où elle est *consommée*, par l'intermédiaire d'un réseau de *lignes électriques aériennes ou souterraines*.

Il permet de transporter et de distribuer l'énergie électrique sur l'ensemble du territoire. Il est organisé à la manière d'un réseau routier avec ses grands axes, ses axes secondaires et ses échangeurs :

- *le réseau de transport joue le rôle du réseau des autoroutes et des routes nationales*
- *le réseau de distribution joue celui du réseau des routes départementales..*

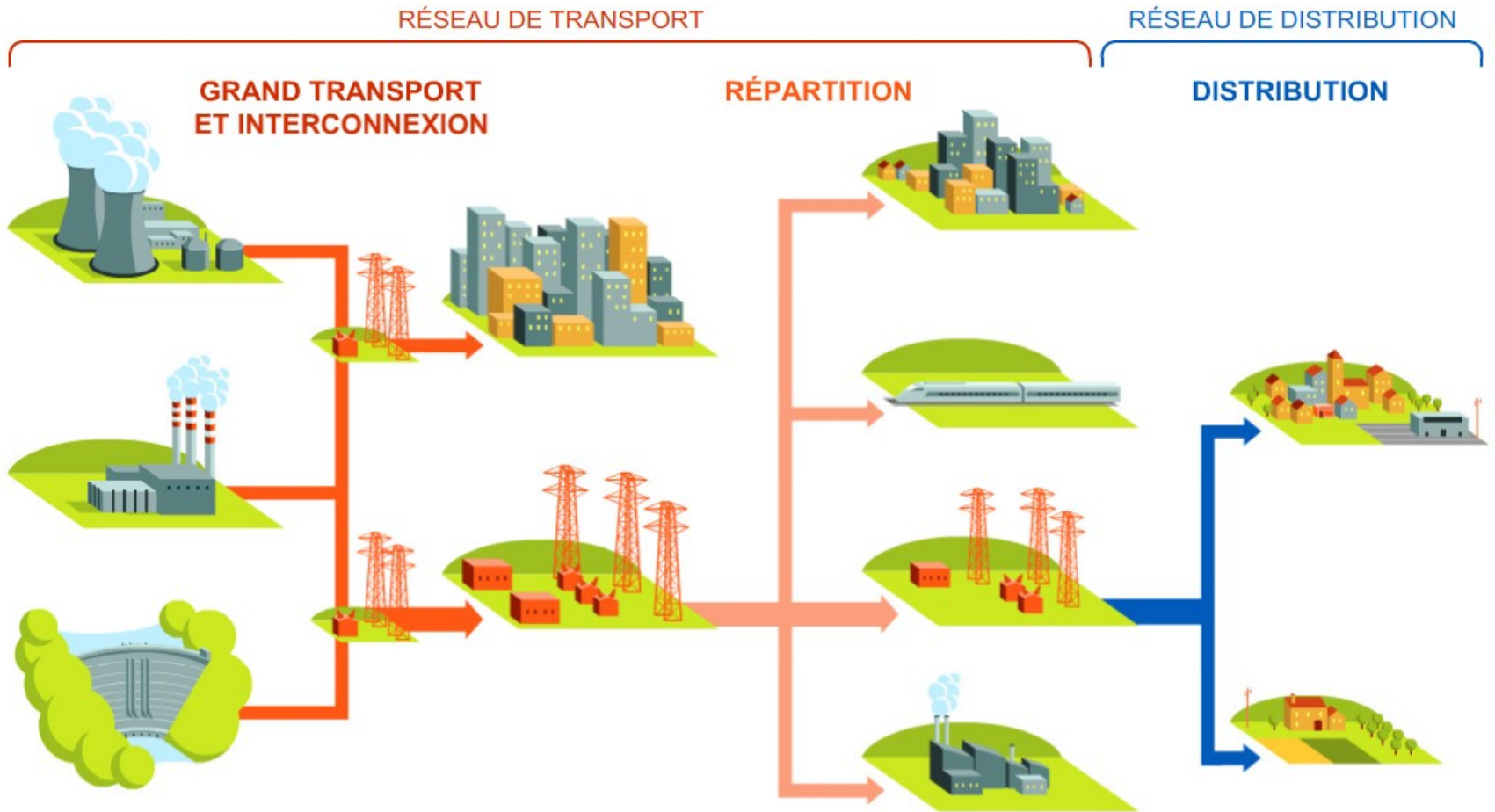
TRANSPORT

- ❖ Pour passer d'un réseau à un autre, les *postes de transformation* jouent le rôle d'échangeurs.
- ❖ L'énergie électrique est acheminée vers les consommateurs (particuliers, professionnels, industrie, collectivités territoriales...), dont les besoins sont très variés.
La consommation varie donc en permanence au *cours de la journée et de l'année*.
- ❖ Comme l'électricité ne peut pas se *stocker*, la production doit être ajustée à cette consommation

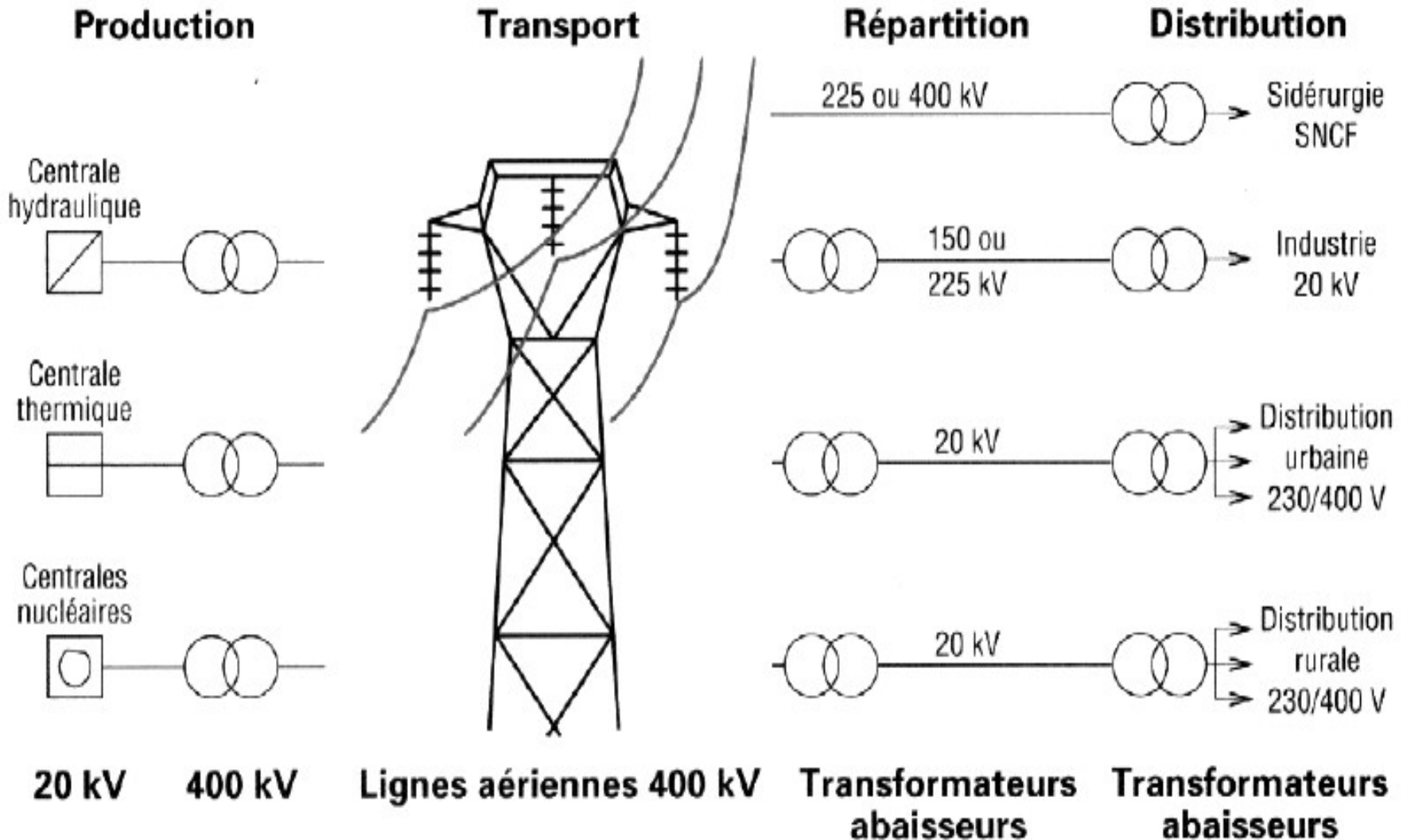
TRANSPORT

- ❖ **Transport à 400kV** permet d'effectuer de *grandes distances* entre les lieux de productions et ceux de consommation.
- ❖ **Répartition à 90kV** est *régional* et permet de *rejoindre* les grandes villes.
- ❖ **Distribution à 20kV** permet de relier les *postes de transformations*, à la périphérie des villes, aux quartiers, entreprises, villages.
- ❖ **230/400** permet la distribution *domestique*.

TRANSPORT



TRANSPORT



TRANSPORT

Tension alternative	Domaine de tension	Autre application courante	Valeurs usuelles (tension d'utilisation)
≤50	TBT		12-24-48 V
≤500	BTA	BT (Basse Tension)	230-380-400 V
≤1000	BTB		
1<U≤50kV	HTA	MT (Moyenne Tension)	5,5-6,6-10-15-20-36 kV
U>50kV	HTB	HT (Haute Tension) THT (Très Haute Tension)	63-90-150-225-400 kV

DISTRIBUTION

Norme Internationale (CEI)

Norme Française (NFC)

✓ NFC 15 -100 : BT

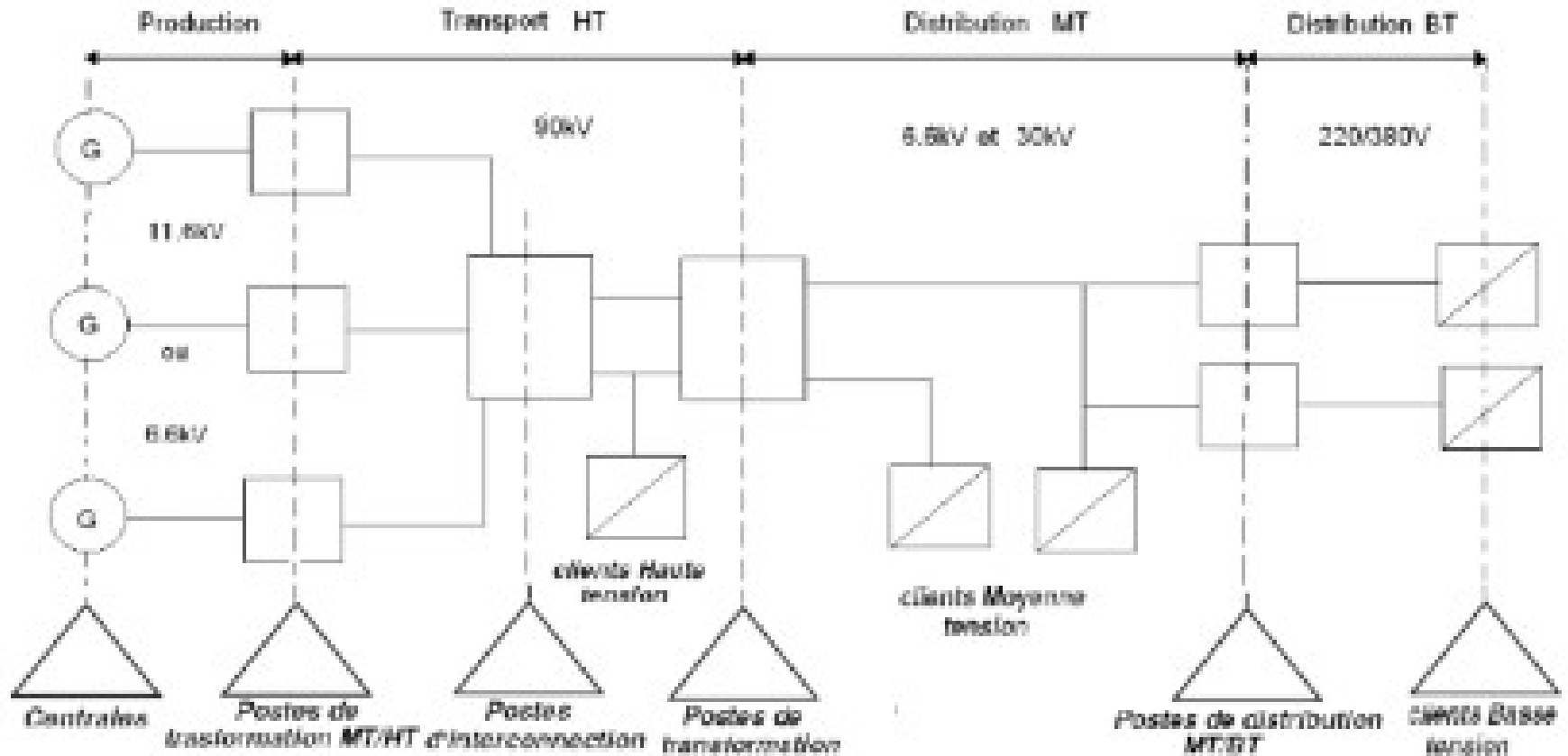
✓ NFC 13 – 100: HTA

✓ NFC 13 – 200: HTB

Le réseau est constitué de lignes aériennes, de câbles souterrains et de postes, à divers niveaux de tension.

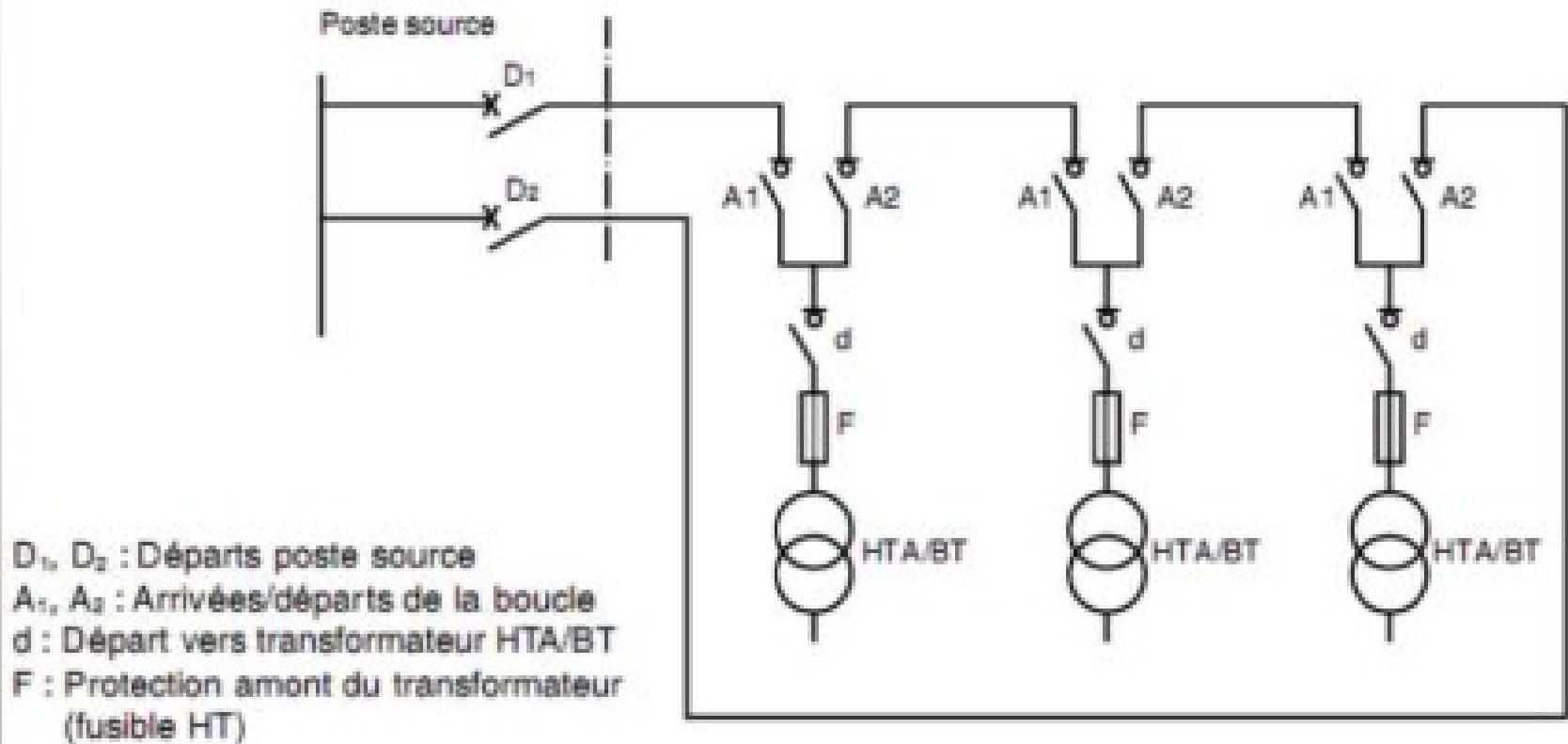
DISTRIBUTION

Organisation du réseau de Sénélec



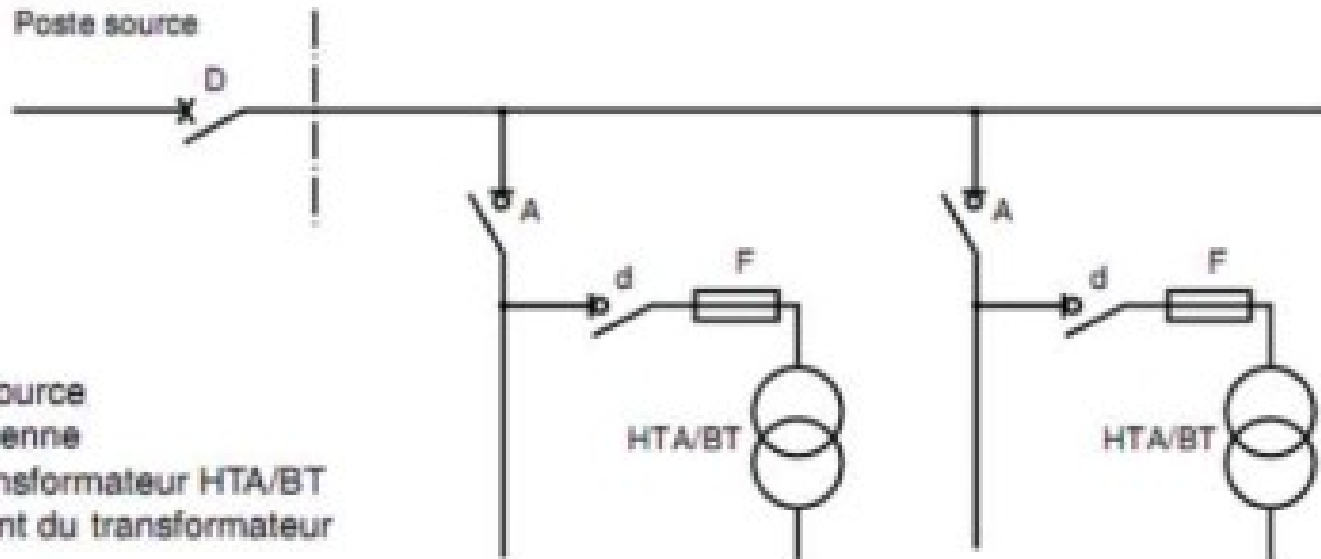
DISTRIBUTION

Alimentation en coupure d'artère



DISTRIBUTION

Alimentation en simple dérivation ou en antenne



D : Départ poste source
A : Arrivée de l'antenne
d : Départ vers transformateur HTA/BT
F : Protection amont du transformateur
(fusible HT)

DISTRIBUTION

Puissance de charge électrique

- Chaque récepteur pour une puissance donnée, absorbe un courant électrique (I_b) qui va influencer le choix de la section et la protection de la canalisation qui alimente ce ou ces récepteurs .
- Il est donc nécessaire pour évaluer cette intensité de connaître le fonctionnement du récepteur.



		MOT. 3~ LS 80 L T				
		N° 734570 BJ 002 kg 9				
IP 55 I cl.F		40°C S1				
	V	Hz	min ⁻¹	kW	cos φ	A
Δ	220	50	2780	0,75	0,86	3,3
Y	380					1,9
Δ	230	50	2800	0,75	0,83	3,3
Y	400					1,9
Δ	240	50	2825	0,75	0,80	3,3
Y	415	**				1,9

$$P_{abs} = \frac{P_{nom}}{\eta + \cos\varphi} \text{ (kVA)}$$

La puissance P_{nom} d'un moteur correspond à la puissance utile disponible sur l'arbre. La puissance absorbée est celle qui circule dans la ligne et est fonction du rendement et du facteur de puissance.

DISTRIBUTION

Puissance de charge électrique

- Les MCC sont surtout utilisés dans des applications spécifiques caractérisées par des variations extrêmement larges de vitesse et de couples ex: machine-outils, concasseurs, ...). Aussi leur alimentation est assurée par des variateurs de vitesses
- La puissance absorbée est fournie par le constructeur du variateur et est fonction de l'intensité de démarrage du moteur et la fréquence des démarrages (intensité efficace absorbée),

- Facteur de forme : $F = \frac{I_{eff}}{I_d}$; $P_{abs} = P_{nom} * k$
- $k = f(F)$ (abaque)

Dans un circuit purement résistif, (lampe à incandescence, chauffage), le courant varie en même temps que la tension, on dit que I et U sont en phase.

$$P_{abs} = U.I \text{ ou } \sqrt{3}.U.I$$

DISTRIBUTION

La puissance indiquée par le fabricant ne tient pas compte du ballast dans le cas des appareils d'éclairage à lampes fluorescentes.

Si la puissance du ballast n'est pas indiquée on estimera sa puissance à 25% de la puissance nominale

$$P_{abs} = 1.25 * P_{nom}$$

- La puissance d'une installation n'est pas la somme arithmétique de celle des récepteurs.
- Sa détermination nécessite de connaître la puissance et la localisations des récepteurs qui permet d'accéder à la puissance d'utilisation et la puissance du transformateur nécessaire

DISTRIBUTION

Facteur d'utilisation maximale

Le régime de fonctionnement normal d'un récepteur peut être tel que sa puissance utilisée soit inférieure à sa puissance nominale installée, d'où la notion de facteur d'utilisation.

- Le facteur d'utilisation s'applique individuellement à chaque récepteur.
- Ceci se vérifie pour des récepteurs à moteur susceptibles de fonctionner en dessous de leur pleine charge
- Il caractérise donc l'utilisation de la puissance active et représente le rapport entre la puissance active moyenne d'un seul ou d'un ensemble de récepteur pour la période la plus chargée sur la puissance nominale du (ou de l'ensemble) de récepteur

$$k_u = \frac{P_{\text{moy}}}{P_{\text{nom}}}$$

$$K_u = \frac{\sum P_{\text{moy}}}{\sum P_{\text{nom}}}$$

DISTRIBUTION

Facteur d'utilisation maximale

Dans une installation industrielle, ce facteur peut être estimé en moyenne à 0,75 pour les moteurs.

- Pour l'éclairage et le chauffage, il sera toujours égal à 1.
- Moteur : $k_u=0.75$
- Eclairage, Chauffage : $k_u=1$

TYPE D'ÉQUIPEMENT	EXEMPLE D'ÉQUIPEMENT	COEFFICIENT D'UTILISATION	
Équipements industriels ou tertiaires	éclairage	1	
	ventilation	1	
	conditionnement	1	
	fours	1	
	prises de courant	0,15	
	machines-outils	0,8	
	compresseurs	0,8	
Équipements ménagers	éclairage	1	
	chauffage électrique	1	
	conditionnement d'air	1	
	chauffe-eau	1	
	appareils de cuisson	0,7	
	ascenseur	1	
	ou	1 moteur	1
	monte-charge	2 moteurs	0,7
	moteurs suivants	0,8	

DISTRIBUTION

Groupe d'installation

Dans le cas d'un regroupement de plusieurs circuits (départs) dans un coffret ou une armoire, il y a lieu d'appliquer sur l'ensemble des circuits d'autres coefficients supplémentaires.

- Le coefficients de simultanéité (k_s)
- Le coefficient d'extension (k_e)

Facteur de simultanéité

Dans une installation électrique, certains appareils ne fonctionnent pas toujours en même temps, on utilise dans ce cas la un facteur de simultanéité K_s qui minore la puissance, il est utilisé pour un ensemble de récepteurs.

Facteur de simultanéité pour les armoires de distribution s'applique à une armoire de distribution regroupant plusieurs circuits quand les indications relatives aux conditions de charge ne sont pas indiquées.

FACTEUR DE SIMULTANÉITÉ (K_s) POUR ARMOIRES DE DISTRIBUTION INDUSTRIELLE (UTE 63-410)	
NOMBRE DE CIRCUITS	FACTEUR DE SIMULTANÉITÉ
2 et 3	0,9
4 et 5	0,8
6 et 9	0,7
10 et plus	0,6

DISTRIBUTION

Facteur de simultanéité

- l'éclairage et le chauffage: 1

Facteur de simultanéité pour les circuits de prises de courant

- le facteur de simultanéité varie entre 0,1 à 0,2 suivant la formule suivante:
N étant le nombre de prises alimentées par le même circuit

$$0,1 + \frac{0,9}{N}$$

Cas pratique

Une industrie comprend trois ateliers A, B et C avec le bilan de puissance ci-dessous:

- Détermination de la puissance de l'installation

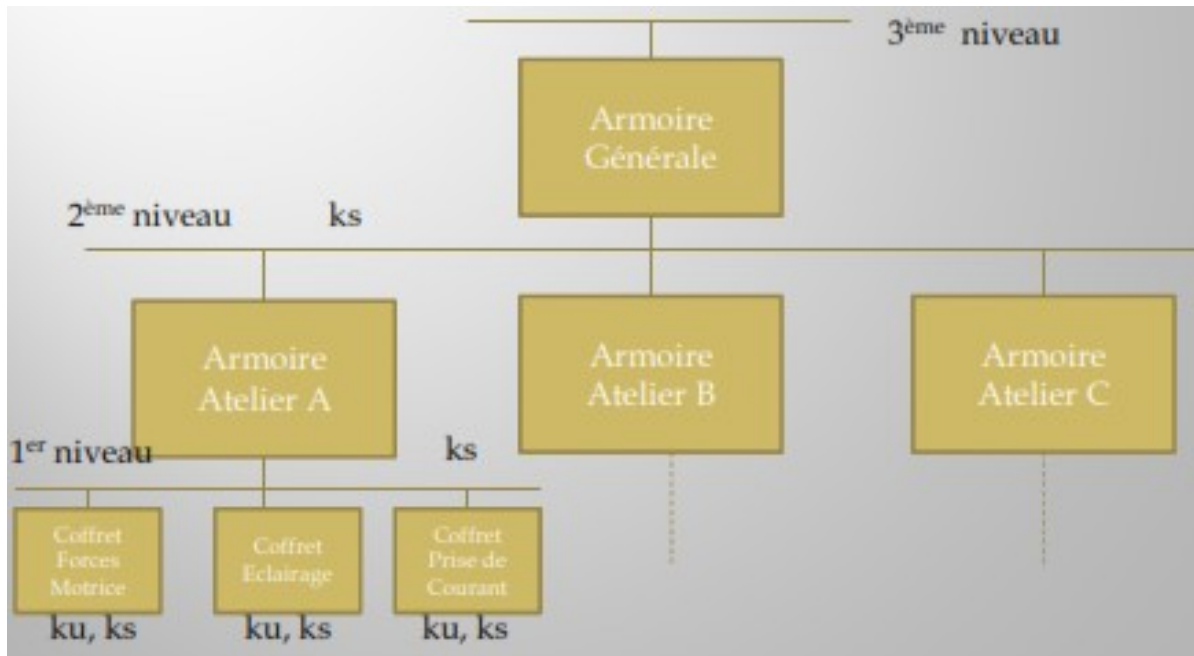
atelier A	kW
tour n° 1	5
tour n° 2	5
tour n° 3	5
tour n° 4	5
perceuse n° 1	2
perceuse n° 2	2
5 PC 2 × 10 A	22
30 fluos 2 × 40 W	3

atelier B	kW
compresseur	15
3 PC 10 A	6,6
10 fluos 2 × 40 W	1

atelier C	kW
ventilateur 1	2,5
ventilateur 2	2,5
four n° 1	15
four n° 2	15
5 PC 10 A	11
20 fluos 2 × 40 W	2

DISTRIBUTION

Etape 1: Schéma unifilaire simplifié



DISTRIBUTION

Etape 2: Tableau de calcul

Niveaux d'installations				1er Niveau		2e Niveau		3e Niveau	
utilisation	Pinst(kW)	ku	Pu (kW)	ks1	Pu1(kW)	ks2	Pu2 (kW)	ks3	Pu3(kW)
ATELIER A									
Tour n°1	5	0,75							
Tour n°2	5	0,75							
Tour n°3	5	0,75							
Tour n°4	5	0,75							
Perceuse n°1	2	0,75							
Perceuse n°2	2	0,75							
SPC 2x10A	22	1							
30 fluos 2x40W	3	1							
TOTAL A	49								

Niveaux d'installations				1er Niveau		
utilisation	Pinst(kW)	ku	Pu (kW)	ks1	Pu1(kW)	ks2
ATELIER A						
Tour n°1	5	0,75	3,75			
Tour n°2	5	0,75	3,75			
Tour n°3	5	0,75	3,75	0,7		
Tour n°4	5	0,75	3,75			
Perceuse n°1	2	0,75	1,5			
Perceuse n°2	2	0,75	1,5			
SPC 2x10A	22	1	22	0,19		
30 fluos 2x40W	3	1	3			
TOTAL A	49		43			

Ks1=0.1+0.9/10

DISTRIBUTION

Niveaux d'installations				1er Niveau		
utilisation	Pinst(kW)	ku	Pu (kW)	ks1	Pu1(kW)	ks2
ATELIER A						
Tourn°1	5	0.75	3.75			
Tourn°2	5	0.75	3.75			
Tourn°3	5	0.75	3.75	0.7	12.6	
Tourn°4	5	0.75	3.75			
Perceuse n°1	2	0.75	1.5			
Perceuse n°2	2	0.75	1.5			
5PC 2x10A	22	1	22	0.19	4.18	
30 fluos 2x40W	3	1	3	1	3	
TOTAL A	49		43		19.78	

DISTRIBUTION

Etape 2: ATELIER B

ATELIER B		
Compresseur	15	0.75
3 PC 10A	6.6	1
10 fluos 2x40W	1	1
TOTAL B	22.6	

ATELIER B		
Compresseur	15	0.75
3 PC 10A	6.6	
10 fluos 2x40W	1	
TOTAL B	22.6	

1.25*(10*2*40)

ATELIER B					
Compresseur	15	0.75	11.25	1	11.25
3 PC 10A	6.6	1	6.6	0.4	2.64
10 fluos 2x40W	1	1	1	1	1
TOTAL B	21.6		18.85		14.89

DISTRIBUTION

Etape 2: ATELIER C

ATELIER C		
Ventilateur 1	2.5	1
Ventilateur 2	2.5	1
Fourn°1	15	1
Fourn°2	15	1
SPC 2x10A	11	1
20 fluos 2x40W	2	1
TOTAL B	48	

ATELIER C				
Ventilateur 1	2.5	1	5	1
Ventilateur 2	2.5	1		
Fourn°1	15	1	30	1
Fourn°2	15	1		
SPC 10A	11	1	11	0.28
20 fluos 2x40W	2	1	2	1
TOTAL B	48			

ATELIER C					
Ventilateur 1	2.5	1	5	1	5
Ventilateur 2	2.5	1			
Fourn°1	15	1	30	1	30
Fourn°2	15	1			
SPC 10A	11	1	11	0.28	3.08
20 fluos 2x40W	2	1	2	1	2
TOTAL B	48				

ATELIER C					
Ventilateur 1	2.5	1	5	1	5
Ventilateur 2	2.5	1			
Fourn°1	15	1	30	1	30
Fourn°2	15	1			
SPC 10A	11	1	11	0.28	3.08
20 fluos 2x40W	2	1	2	1	2
TOTAL B	48				40.08

DISTRIBUTION

Niveaux d'installations				1er Niveau		2e Niveau		3è Niveau	
utilisation	P _{inst} (kW)	ku	Pu (kW)	ks1	Pu1(kW)	ks2	Pu2 (kW)	ks3	Pu3(kW)
ATELIER A									
Tour n°1	5	0.75	3.75	0.7	12.6	0.9	17.802		
Tour n°2	5	0.75	3.75						
Tour n°3	5	0.75	3.75						
Tour n°4	5	0.75	3.75						
Perceuse n°1	2	0.75	1.5						
Perceuse n°2	2	0.75	1.5						
5PC 2x10A	22	1	22	0.19	4.18				
30 fluos 2x40W	3	1	3	1	3				
TOTAL A	49		43		19.78				
ATELIER B									
Compresseur	15	0.75	11.25	1	11.25	0.9	13.401		
3 PC 10A	6.6	1	6.6	0.4	2.64				
10 fluos 2x40W	1	1	1	1	1				
TOTAL B	22.6		18.85		14.89				
ATELIER C									
Ventilateur 1	2.5	1	5	1	5	0.8	32.064		
Ventilateur 2	2.5	1							
Four n°1	15	1	30	1	30				
Four n°2	15	1							
5PC 10A	11	1	11	0.28	3.08				
20 fluos 2x40W	2	1	2	1	2				
TOTAL B	48				40.08		63.267		

DISTRIBUTION

Niveaux d'installations				1er Niveau		2e Niveau		3è Niveau	
utilisation	Pinst(kW)	ku	Pu (kW)	ks1	Pu1(kW)	ks2	Pu2 (kW)	ks3	Pu3(kW)
ATELIER A									
Tourn°1	5	0.75	3.75	0.7	12.6	0.9	17.802	0.9	56.9403
Tourn°2	5	0.75	3.75						
Tourn°3	5	0.75	3.75						
Tourn°4	5	0.75	3.75						
Perceuse n°1	2	0.75	1.5						
Perceuse n°2	2	0.75	1.5						
5PC 2x10A	22	1	22	0.19	4.18				
30 fluos 2x40W	3	1	3	1	3				
TOTAL A	49		43		19.78				
ATELIER B									
Compresseur	15	0.75	11.25	1	11.25	0.9	13.401	0.9	56.9403
3 PC 10A	6.6	1	6.6	0.4	2.64				
10 fluos 2x40W	1	1	1	1	1				
TOTAL B	22.6		18.85		14.89				
ATELIER C									
Ventilateur 1	2.5	1	5	1	5	0.8	32.064	0.8	56.9403
Ventilateur 2	2.5	1							
Four n°1	15	1	30	1	30				
Four n°2	15	1							
5PC 10A	11	1	11	0.28	3.08				
20 fluos 2x40W	2	1	2	1	2				
TOTAL B	48				40.08		63.267		

DISTRIBUTION

Facteur de l'installation

- $A + B + C = 49 + 22,6 + 48 = 119,6 \text{ kW}$
- $P_{inst} = 119,6 \text{ kW}$
- $P_{u3} = 56,94 \text{ kW}$
- $K_3 = \frac{P_{u3}}{P_{inst}} = 0,48$
- On utilise que la moitié de la puissance installée

Utilisation de P_{u3} (Puissance utilisation 3ème niveau)

Choisir le bon système de tarification (Dire à la Senelec la quantité d'énergie dont on a besoin)

- Dimensionner le transformateur le cas échéant
- Choisir les éléments du réseau: câble, disjoncteur, ...

APPAREILLAGE DE PROTECTION

Isoler,
Condamner,
Protéger,
Etablir / Interrompre,

APPAREILLAGE DE PROTECTION

Fonctions des appareillages électriques

**Séparer
Condamner**

Protéger contre les courts-circuits

Protéger contre les surcharges

Protéger les personnes

Etablir et interrompre l'énergie

Récepteur

Moduler l'énergie

APPAREILLAGE DE PROTECTION

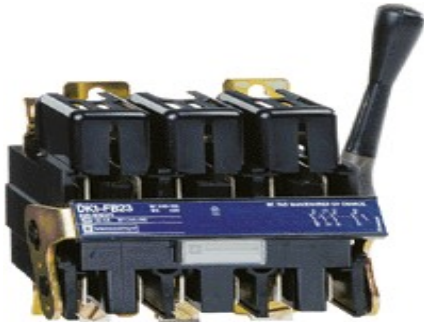
A: Séparer et Condamner:

Isoler tout ou partie d'une installation du réseau.
Interdire les manœuvres de remise sous tension.

Sectionneur

Sectionneur porte-fusibles

Interrupteur sectionneur



On ne peut pas le manœuvrer en charge:

Pas de pouvoir de coupure



Sectionneur

Sectionneur porte fusibles

On peut le manœuvrer en charge:

Coupe de In



Interrupteur-Sectionneur

APPAREILLAGE DE PROTECTION

B: Protéger contre les courts-circuits:

Protéger les matériels lorsque $I \gg I_n$

Disjoncteurs



Magnétique

Magnétothermique

- . Le magnétique déclenche sur Icc.
- . Plusieurs courbes existent.

. Disjoncteurs et fusibles ont un pouvoir de coupure.

Fusibles



Relais magnétiques

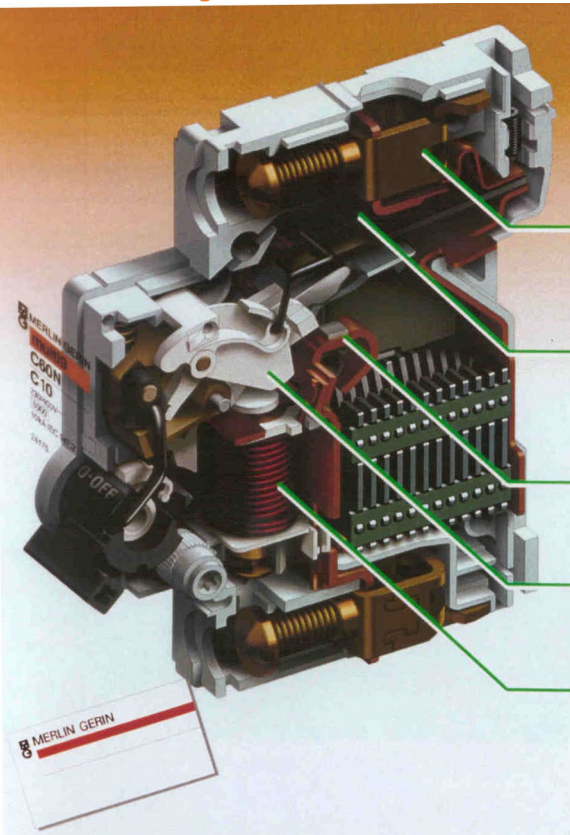


. Pas de Pdc.

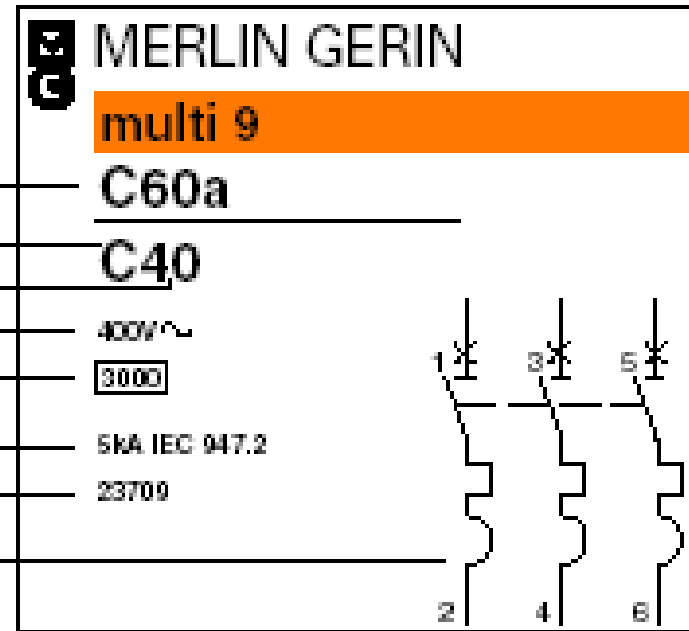
APPAREILLAGE DE PROTECTION

Les disjoncteurs: Technologie

Les disjoncteurs: Décodage face avant



- Fonction raccordement
- Fonction thermique (bilame)
- Fonction coupure (contact et chambre)
- Fonction déclenchement et armement
- Fonction magnétique (bobine)

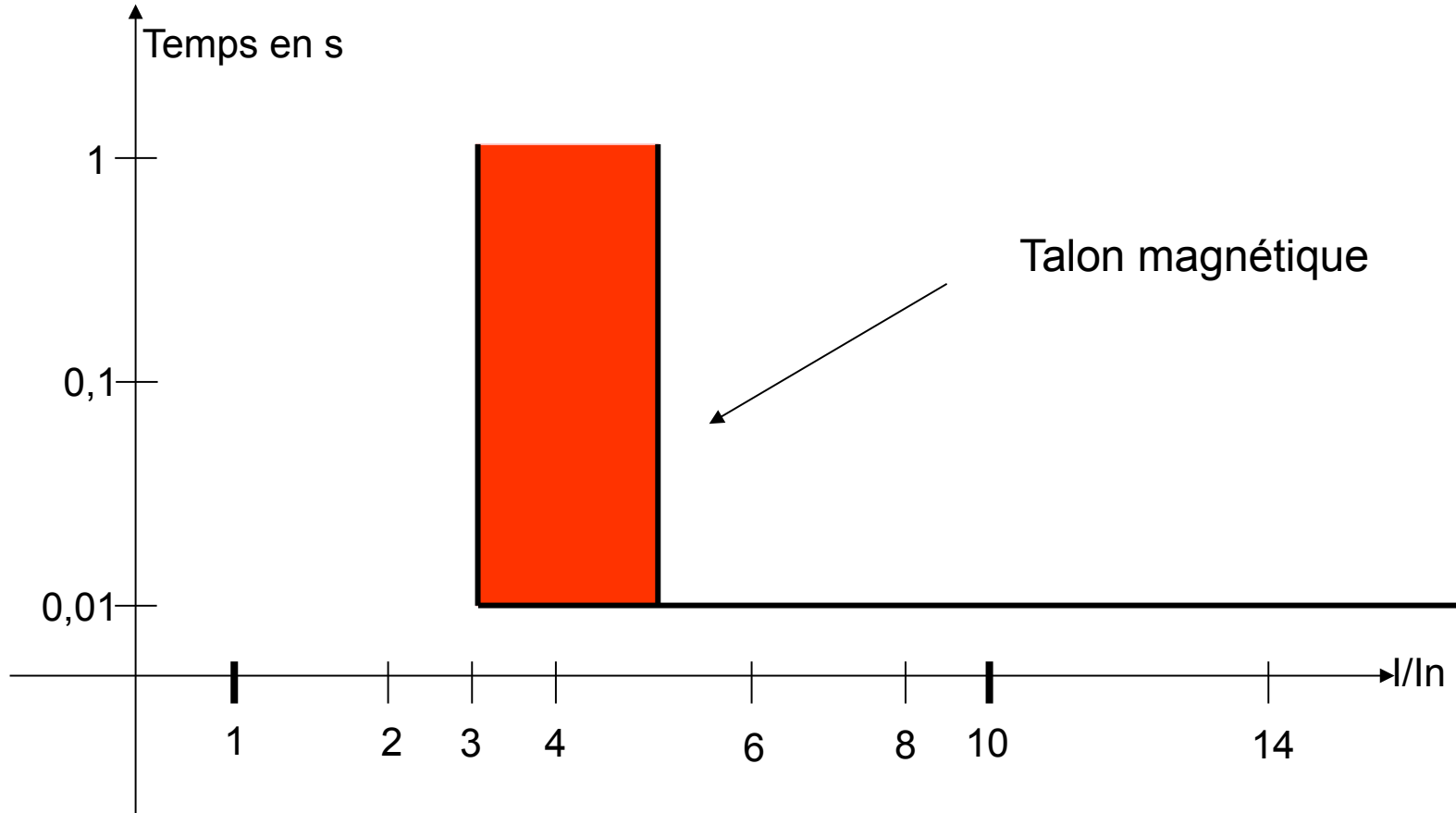


1: Variante du disjoncteur suivant le pouvoir de coupure 2: Courbe de déclenchement
 3: Calibre du disjoncteur (courant assigné) 4: tension d'emploi U_e 5: Pouvoir de coupure suivant la norme « domestique et analogue » NFC 61-410 6: Pouvoir de coupure suivant la norme « industrielle » NFC 63-120 7: Référence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

APPAREILLAGE DE PROTECTION

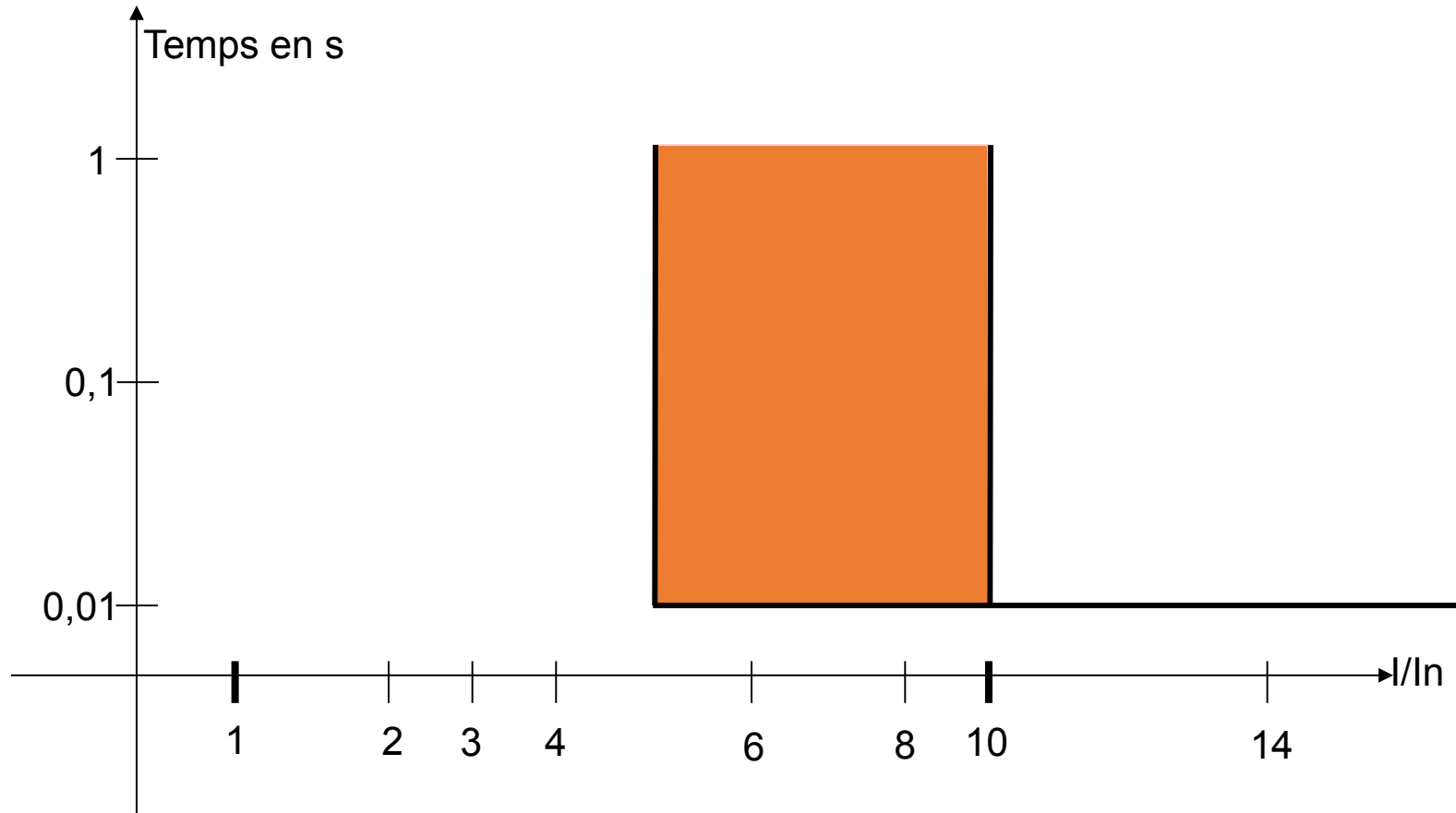
Il existe trois types de courbes de déclenchement!

Courbe B: Déclenche de 3 à 5 I_n



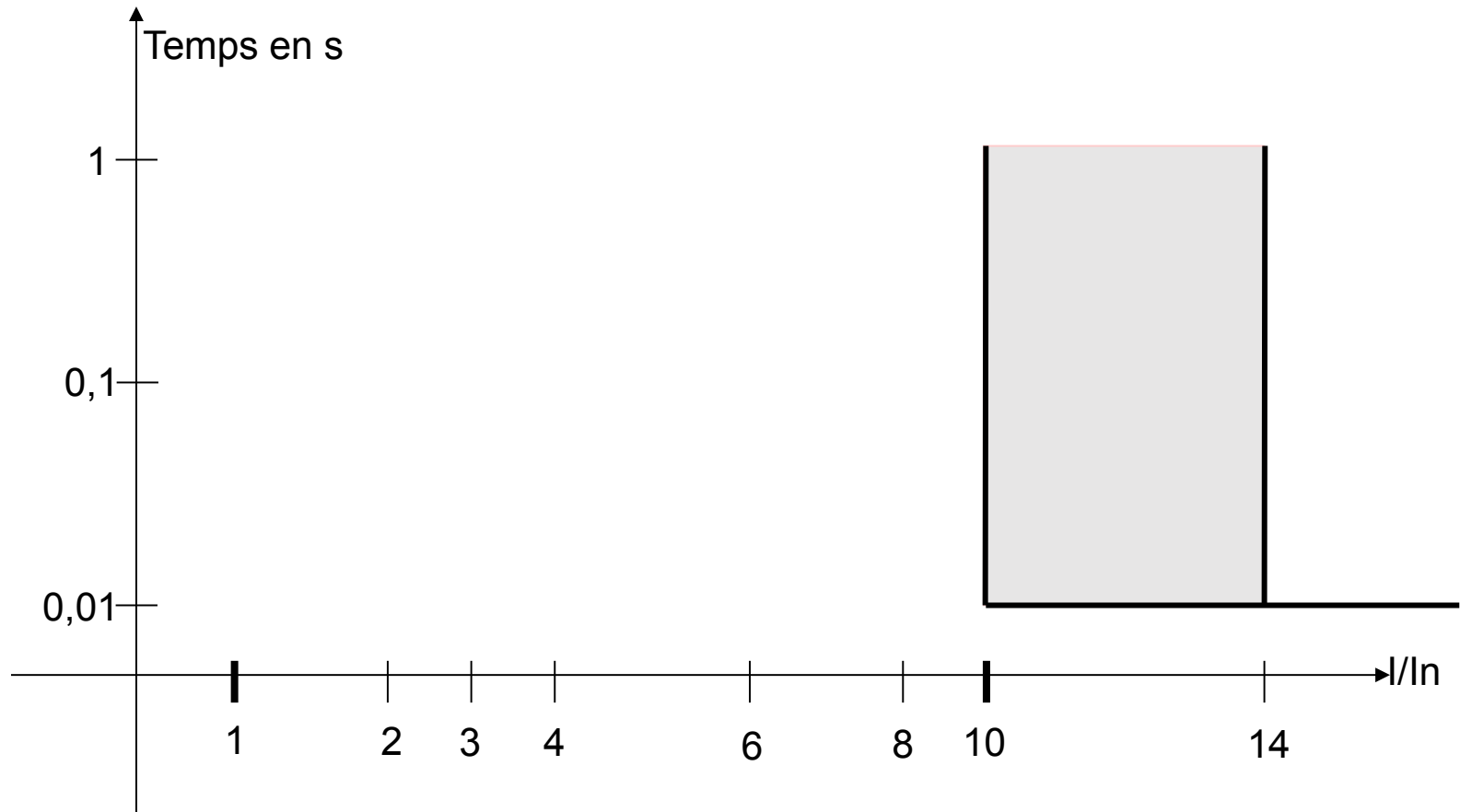
APPAREILLAGE DE PROTECTION

Courbe C: Déclenche de 5 à 10 In



APPAREILLAGE DE PROTECTION

Courbe D: Déclenche de 10 à 14 In



APPAREILLAGE DE PROTECTION



151 50

aM



153 96

gG



UR

(Protistors)

Tous les fusibles ont un pouvoir de coupure.

- Critères de choix:
- Charge
 - Taille (10*38....)
 - Tension d'emploi
 - Calibre

APPAREILLAGE DE PROTECTION

C: Protéger contre les surcharges:

Surcharge: Légère surintensité: 1,2 à 3 ou 4 I_n

Disjoncteurs

Magnéto**thermique**



Possède un pouvoir de coupure

La protection est 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.

Relais **thermique**



Pas de pouvoir de coupure.
Coupe la commande du contacteur

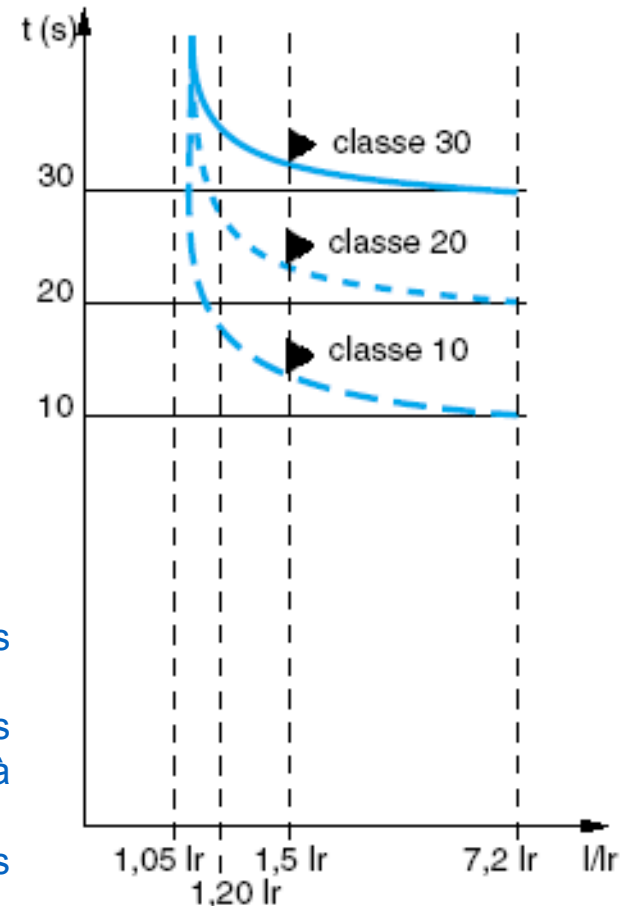
Classe:

10A : A utiliser pour des démarrages moteur de 2 à 10 s

20 : A utiliser pour des démarrages moteur de 6 à 20 s

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

classe	1,05 I_n	1,2 I_n	1,5 I_n	7,2 I_n
10 A	$t > 2 \text{ h}$	$t < 2 \text{ h}$	$t < 2 \text{ min.}$	$2 \leq t \leq 10 \text{ s}$
10	$t > 2 \text{ h}$	$t < 2 \text{ h}$	$t < 4 \text{ min.}$	$4 \leq t \leq 10 \text{ s}$
20	$t > 2 \text{ h}$	$t < 2 \text{ h}$	$t < 8 \text{ min.}$	$6 \leq t \leq 20 \text{ s}$
30	$t > 2 \text{ h}$	$t < 2 \text{ h}$	$t < 12 \text{ min.}$	$9 \leq t \leq 30 \text{ s}$



APPAREILLAGE DE PROTECTION

D: Etablir, interrompre l'énergie électrique: le contacteur

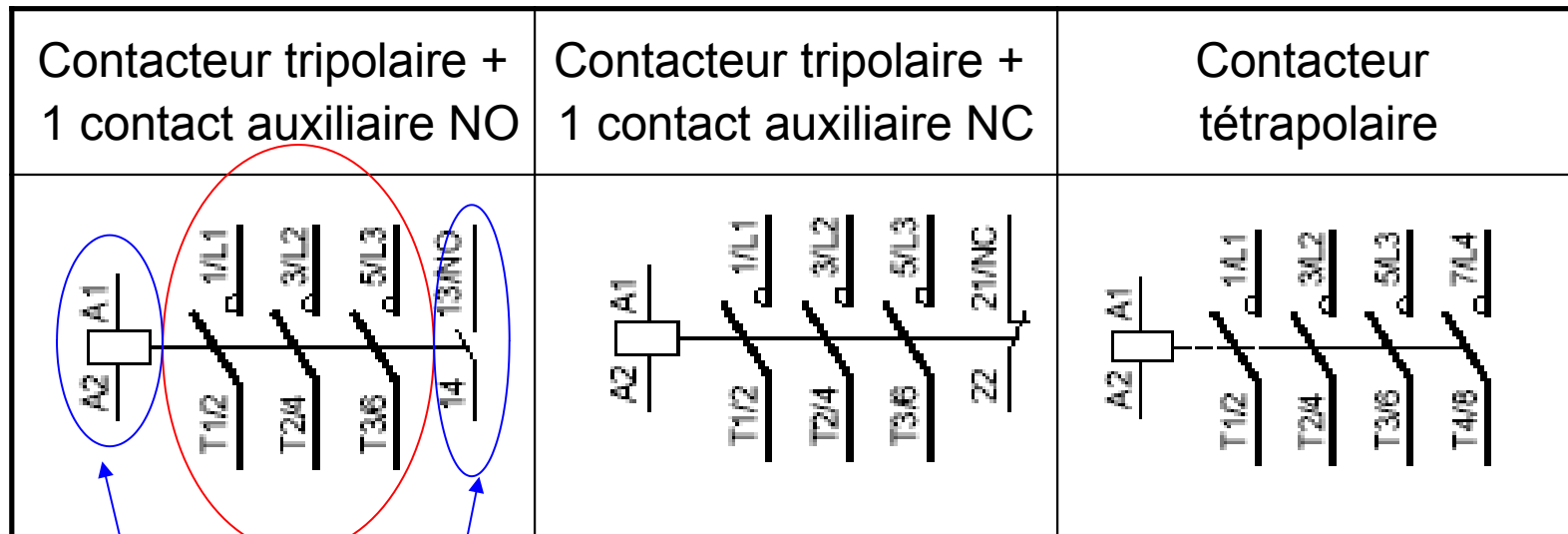
Le contacteur est un appareil mécanique de connexion ayant une seule position de repos et une seule position de travail.

- **Sa fonction** : Il est capable d'établir, de supporter et d'interrompre des courants dans les conditions normales du circuit, y compris les conditions de surcharges en service.



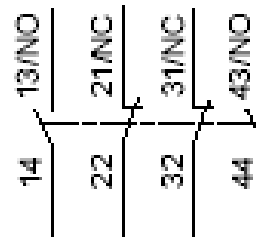
L'intérêt du contacteur est de pouvoir être commandé à distance.

APPAREILLAGE DE PROTECTION



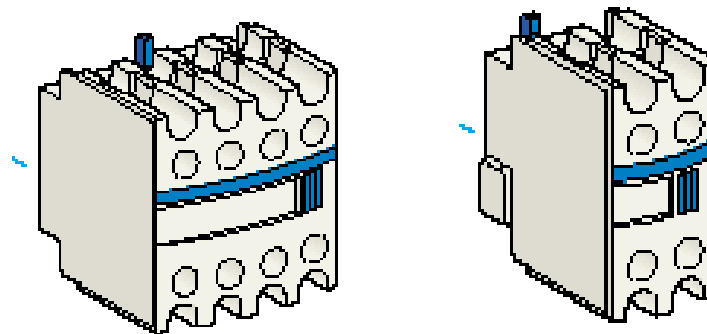
Partie puissance

Partie commande



Blocs auxiliaires instantanés

Ces blocs additifs regroupent 2 ou 4 contacts instantanés utilisables dans les circuits de commande.



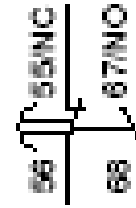
APPAREILLAGE DE PROTECTION

Blocs auxiliaires temporisés

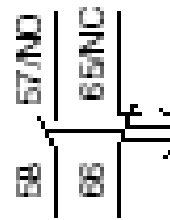
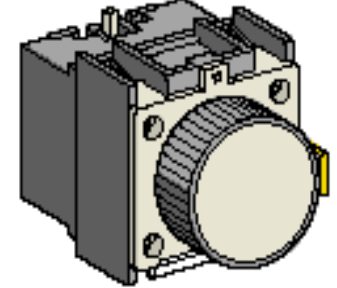
Ils contiennent des contacts auxiliaires temporisé. Ils ouvrent ou ferment un ou plusieurs contacts avec un retard réglable.

Si le retard à lieu après l'alimentation du pré actionneur sur lequel ils sont dépendants, il s'agira d'une temporisation au travail.

Si le retard à lieu après la coupure du pré actionneur sur lequel ils sont dépendants, il s'agira d'une temporisation au repos.



Symbole d'une temporisation au travail.



Symbole d'une temporisation au repos.

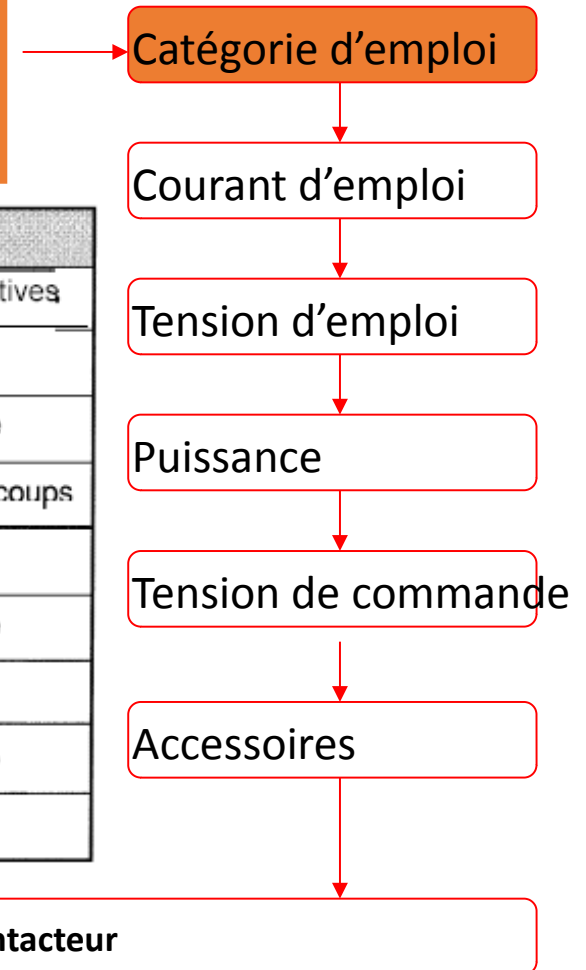
APPAREILLAGE DE PROTECTION

Les catégories d'emploi normalisées fixent les valeurs de courant que le contacteur doit établir et couper.

Elles dépendent :

- De la nature du récepteur.
- Des conditions dans lesquelles s'effectuent fermetures et ouvertures.

	Catégorie	Récepteur	Fonctionnement
~	AC1	Four à résistances	Charges non inductives ou peu inductives
	AC2	Moteur à bagues	Démarrage, inversion de marche
	AC3	Moteur à cage	Démarrage, coupure du moteur lancé
	AC4	Moteur à cage	Démarrage, inversion, marche par à-coups
=	DC1	Résistance	Charges non inductives
	DC2	Moteur Shunt	Démarrage, coupure du moteur lancé
	DC3		Démarrage, inversion, à-coups
	DC4	Moteur Série	Démarrage, coupure du moteur lancé
	DC5		Démarrage, inversion, à-coups



APPAREILLAGE DE PROTECTION

Ie: Il est défini suivant la tension d'emploi, la fréquence et le service assignés, la catégorie d'emploi.

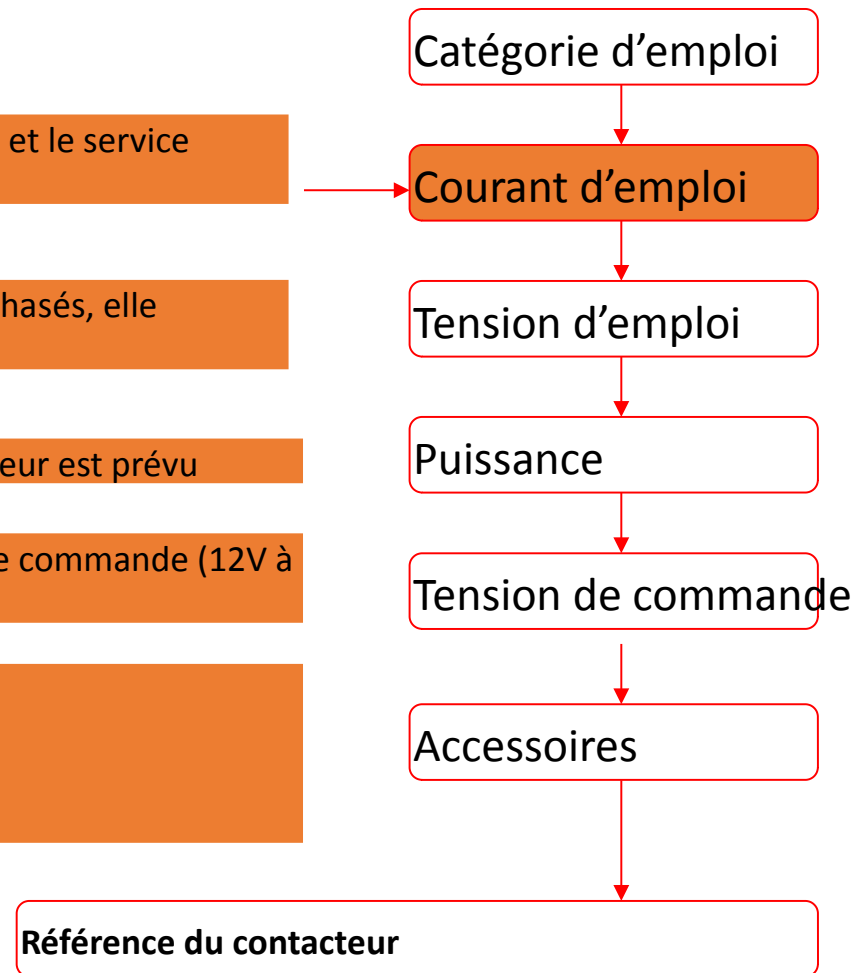
Ue : Valeur de tension entre pôles, pour les circuits triphasés, elle s'exprime par la tension entre phases.

Puissance du moteur normalisé pour lequel le contacteur est prévu

Uc: Valeur de la tension d'alimentation de la bobine de commande (12V à 400V; alternatif ou continu).

Eléments complémentaires:

- Contact instantané
- Contact temporisé
- Dispositif de condamnation



SCHEMA DE LIAISON A LA TERRE