

# **LES CAHIERS DIDACTIQUES D'IMEXCO**

**CAHIER N°6**



**LA HAUTE TENSION  
ET  
LE POSTE DE LIVRAISON HTA-BT**

**Selon les Normes**

**NF C 18-510**

**NF C 13-100**

**NF C 13-200**

# OBJECTIF DU CAHIER DIDACTIQUE

## DOMAINE D'APPLICATION

Ce cahier a pour objet de permettre aux stagiaires en formation à l'habilitation HT de mieux assimiler les prescriptions de sécurité électrique telles qu'elles sont exposées dans la Norme

NF C 18-510 et les amendements A1 et A2.

A cet effet ce cahier explique cette énergie distribuée sous des tensions jusqu'à 1000 fois plus élevées que les tensions alimentant les secteurs : domestique, tertiaire et industriel.

Avec des textes énoncés simplement et illustrés de nombreuses photos de composants, utilisés dans le transport, la distribution et la livraison de cette tension, le stagiaire prend la mesure au fil de la lecture des pages de ce cahier, de l'abîme qui sépare la Haute Tension de la Basse Tension.

Il appréciera mieux le danger potentiel énorme de la Haute Tension, et comprendra mieux les mesures de sécurité drastiques à mettre en œuvre pour éviter l'accident trop souvent létal.

Dans ce fascicule sont présentées la Haute tension HTA (tension  $\leq 50\text{kV}$ ) et la Haute Tension HTB (tension comprise entre 50 kV et 400 kV).

Toutefois l'accent de cette présentation sera axé principalement sur la HTA, et notamment le poste de transformation HTA-BT, ce qui intéresse principalement les professionnels œuvrant sur des installations privées. Rappelons que la production et la distribution de l'énergie électrique HTB en France sont du secteur public.

La haute tension HTB est néanmoins présentée dans cet opus car elle fait partie intégrante de la chaîne de distribution de l'énergie électrique.

Cette présentation est générique et sommaire, et bien sûr inopérante pour des opérateurs intervenant dans le domaine HTB.

Les risques de la haute tension et les prescriptions de sécurité à appliquer ne concernent que la HTA (se reporter au fascicule Imexco « Habilitation électrique »).

Pour la HTB se référer au cahier didactique IMEXCO n°7 : « Les bases de la HTB » (Norme NFC 13-200).

Michel Fougère de Hautmont

Licence d'enseignement Sciences Physiques

Ingénieur Ecole Nationale Supérieure d'électrotechnique

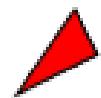
Expert en Normalisation à l'AFNOR

# SOMMAIRE

		PAGES
<b>CHAPITRE I</b>	<b>INTRODUCTION A LA HAUTE TENSION</b>	<b>5</b>
	I – 1 Définition de la Haute Tension	6
	I – 2 Historique de la Haute Tension	6
	I – 3 Pourquoi la Haute tension	7
	I – 4 Organisation du transport et de la livraison de l'énergie électrique en HT	9
<b>CHAPITRE II</b>	<b>LA PRODUCTION</b>	<b>10</b>
	II – 1 Centrale thermique	11
	II – 2 Centrale hydro-électrique	11
	II – 3 Centrale à éoliennes	11
	II – 4 Centrale solaire thermique	11
	II – 5 Centrale nucléaire : réacteur nucléaire	12
	II – 6 Centrale photovoltaïque	16
<b>CHAPITRE III</b>	<b>LIGNES HAUTE TENSION ET PYLONES</b>	<b>21</b>
<b>CHAPITRE IV</b>	<b>POSTES DE DISTRIBUTION HTB</b>	<b>27</b>
<b>CHAPITRE V</b>	<b>RESEAUX DE DISTRIBUTION HTB-HTA</b>	<b>33</b>
<b>CHAPITRE VI</b>	<b>RACCORDEMENTS HTA-BT</b>	<b>37</b>
	VI – 1 Raccordements HTA-BT	38
	VI – 2 Simple dérivation et Double dérivation	39
	VI – 3 Raccordements en coupure d'artère	40

# SOMMAIRE

		PAGES
CHAPITRE VII	POSTES DE LIVRAISON HTA-BT	41
CHAPITRE VIII	CELLULES HTA	49
CHAPITRE IX	TRANSFORMATEUR LIVRAISON HTA-BT	56
	IX – 1 Courant triphasé sinusoïdal	58
	IX – 2 Puissance apparente – Puissance active – Puissance réactive	60
	IX – 3 Le transformateur HTA-BT	62
CHAPITRE X	CONSIGNATION D'UN POSTE HTA-BT	74
CHAPITRE XI	RISQUES D'ACCIDENTS SUR LA HAUTE TENSION ET PRESCRIPTIONS DE SECURITE	80
CHAPITRE XII	SYMBOLES, LEXIQUE ET BIBLIOGRAPHIE	84

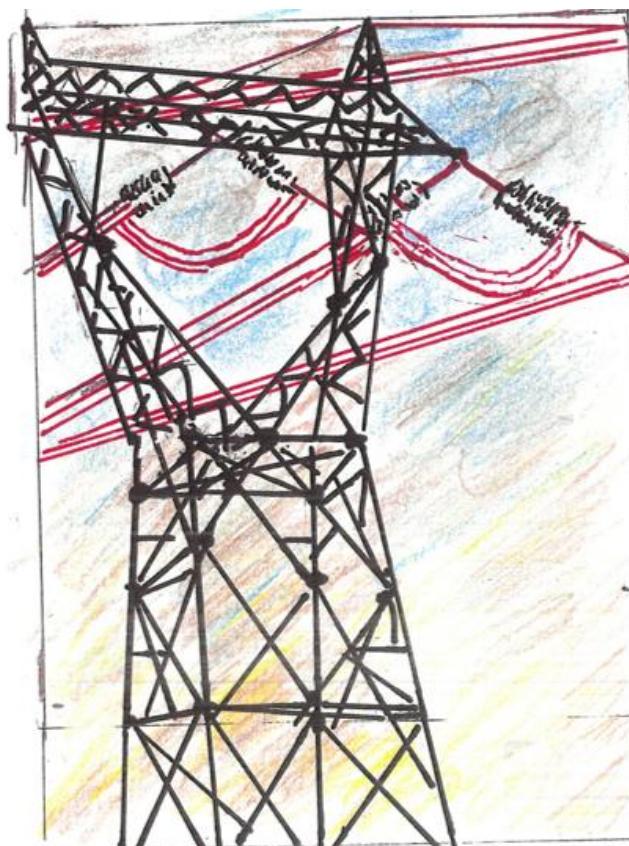


**Imexco**

## **CHAPITRE I**

### **INTRODUCTION A LA HAUTE TENSION**

## I - 1 Définition de la Haute Tension



La plage de la Haute Tension s'étend de 1000 volts jusqu'à 400 000 volts en France. Notons que dans certains pays géographiquement grands, la limite est à 1 200 000 volts. En France la Haute Tension est divisée en 2 domaines :

- **HTA** jusqu'à 50 000 volts alternatif
- **HTB** de 50 000 volts à 400 000 volts alternatif

## I - 2 Historique de la Haute Tension

C'est le physicien Anglais Stephen GRAY, qui, en 1729, a été le premier à démontré que l'on pourrait faire circuler l'électricité dans des lignes qui étaient constituées de cordes de chanvre humide. La « conduction » électrique était née. Le décollement de la Haute Tension s'est fait progressivement dans le monde avec des tensions de plus en plus élevées.

Quelques dates marquantes :

- ↳ 1882 : Première transmission Haute Tension en Allemagne
- ↳ 1909 : Construction d'une ligne à 55 000 volts sur 120 km pour alimenter le tramway de Bordeaux
- ↳ 1912 : Construction d'une ligne à 110 000 volts
- ↳ 1921 : Construction d'une ligne à 160 000 volts
- ↳ 1923 : Construction d'une ligne à 220 000 volts
- ↳ 1937 : Construction d'une ligne à 287 000 volts
- ↳ 1956 : Construction d'une ligne à 315 000 volts
- ↳ 1965 : Construction d'une ligne à 735 000 volts
- ↳ 1982 : Construction d'une ligne à 1 200 000 volts à Moscou

## I - 3 Pourquoi la Haute Tension

L'électricité fournit de la puissance. Cette puissance s'exprime par le produit de la Tension par l'intensité.

$$P = U \times i$$

watt    volt    ampère

Si on désire augmenter la puissance disponible, on peut jouer sur 2 facteurs pour développer de la puissance :

- a) Soit  $U$  on augmente la tension
- b) Soit  $i$  on augmente l'intensité
- c) Soit  $U$  et  $i$  en même temps

a) Augmenter la tension en volt, s'obtient facilement avec des transformateurs voir chapitre IX.

b) Augmenter l'intensité  $i$  (ampère). Rappelons que l'intensité est un débit : c'est-à-dire une quantité d'électricité transportée pendant un temps déterminé.

### 1 ampère : 1 coulomb/1 seconde

Le « coulomb » est une unité de quantité d'électrons.

Donc si on veut augmenter le débit  $i$ , il faut augmenter la section des conducteurs qui transportent le courant.

Exemple : Si sur une autoroute on augmente le débit de véhicules à l'heure, il faut augmenter la section de l'autoroute c'est-à-dire le nombre de voies.

#### ⇒ 1<sup>ère</sup> difficulté

Si on augmente la section des conducteurs (en cuivre ou en alliage) on augmente le poids et le prix.

Le poids est déterminant pour les lignes aériennes suspendues !

⇒ 2<sup>ème</sup> difficulté

C'est la difficulté majeure.

Principe : Lorsque les électrons (explication voir cahier didactique n°1) circulent dans un conducteur quel qu'il soit, composés d'atomes par définition, les électrons rencontrent une résistance à leur passage. Cette résistance s'exprime en **ohm** (symbole  $\Omega$ ) du nom du physicien Allemand Simon OHM (1789-1854). Cette résistance induit une perte de puissance qui s'exprime par le produit :

$$P = R i^2$$

watt (W)      ohm ( $\Omega$ )      ampère (A)

Cette formule a été mise en évidence par Monsieur JOULE, physicien Anglais, (1818-1899). On l'appelle **la Loi Joule** : l'effet chaleur (1 calorie = 4,18 joules).

**C'est l'effet CHALEUR.**

La chaleur produite par le courant  $i$  est donc proportionnelle au carré de l'intensité.

Si on augmente  $i$  on crée des pertes par effet joule d'une part, d'autre part on augmente la chaleur dans les conducteurs proportionnellement au carré de l'augmentation ! On voit la limite de cette augmentation.

Donc en fait l'augmentation de puissance se fera pratiquement exclusivement par l'augmentation de la tension  $U$  en volt, qui n'impacte en rien la grosseur des lignes et de l'infrastructure qui s'ensuit.

Exemple :

Tension en 400 volts  $i = 10$  A

$$P = U \times i = 400 \times 10 = 4\,000 \text{ Watts}$$

Si on veut augmenter par 1000 la puissance, on multiplie par mille uniquement la tension et  $i$  reste constant.

Soit  $U = 400\,000$  volts

La puissance devient :  $P = 400\,000 \times 10$  Ampères

$$P = 4\,000 \text{ kW}$$

On voit donc qu'il suffit d'augmenter simplement la tension en volt, sans modifier l'infrastructure du réseau de transport (lignes et pylônes) pour augmenter la puissance disponible aux utilisateurs.

C'est magique !!

## I-4 Organisation du transport et de la livraison de l'énergie électrique en HT

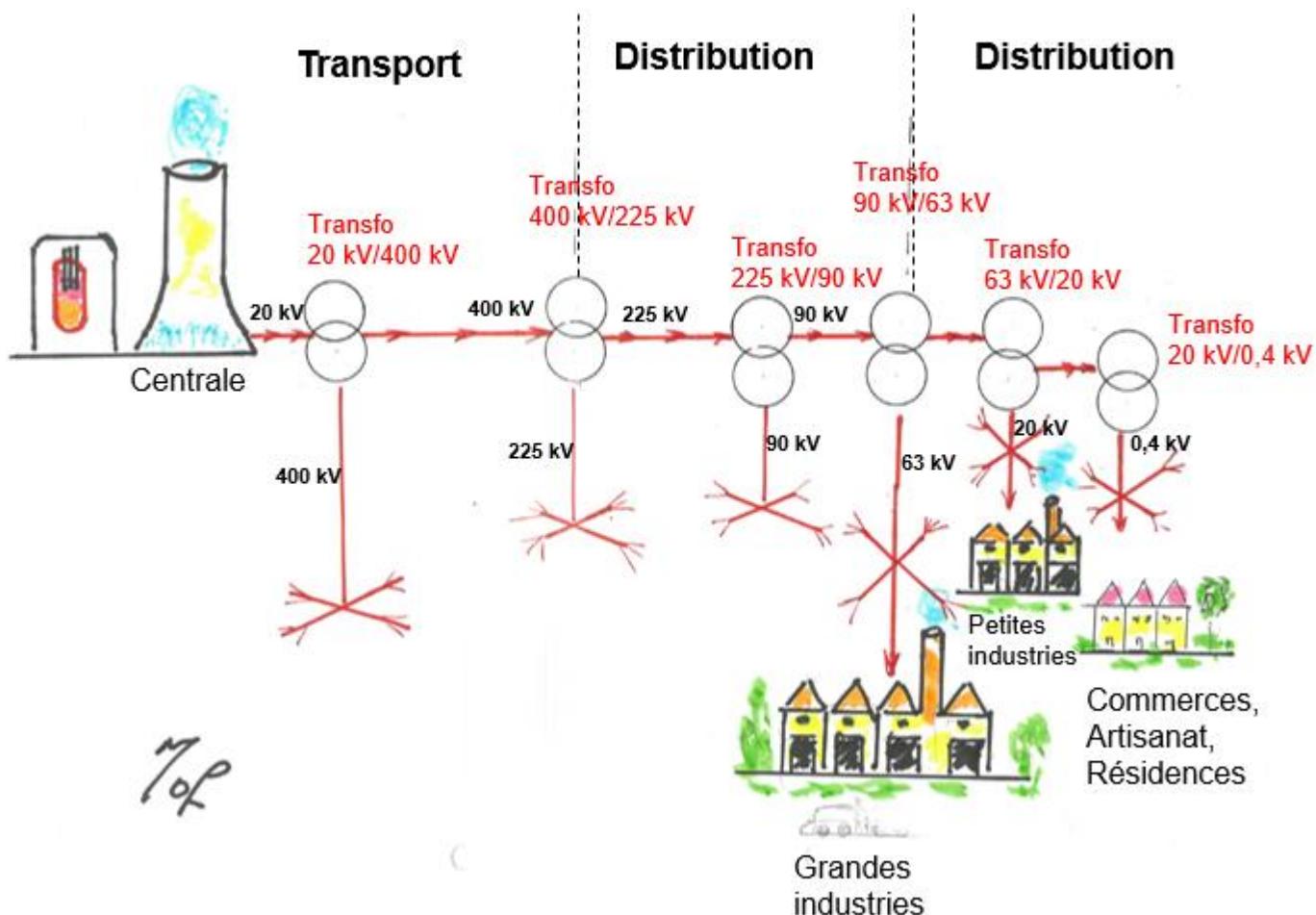
Le transport se réalise au moyen d'un **réseau électrique** qui comprend :

- La production
- Le transport
- La distribution
- L'utilisation (chez le client)

Le réseau électrique en France s'étend sur 1,6 millions de km et comprend des lignes en 400 000 volts/ 225 000 volts/ 90 000 volts/ 63 000 volts/ 20 000 volts/ 400 volts qui sont reliées entre elles par des nœuds constitués de transformateurs, de disjoncteurs, de sectionneurs.

Tout ce transport est contrôlé par le CNES (Centre National d'Exploitation du Système Electrique) avec 8 centres régionaux, 200 agents chargés du pilotage qui traitent 40 000 informations par seconde.

## RESEAU DE DISTRIBUTION EDF – RTE - ENEDIS



La HTB (400 kV à 90 000 kV) constitue la partie « transport » de l'énergie électrique.

La HTB 63 000 kV et la HTA constituent la partie « distribution » sur toutes les zones du territoire alimentant les départements et les grosses industries.

La BT alimente les résidences, commerces et petites industries.



**Imexco**

## **CHAPITRE II**

### **LA PRODUCTION**

## Production de l'énergie électrique

Cette production est réalisée au moyen de centrales :

- centrales thermiques (charbon, pétrole, gaz)
- centrales hydroélectriques
- centrales éoliennes
- centrales solaires
- centrales nucléaires
- centrales photovoltaïques

### II - 1 Centrale thermique

On fait bouillir de l'eau sous pression et on fait circuler la vapeur d'eau vers une turbine qui entraîne un alternateur.

### II - 2 Centrale hydroélectrique

C'est l'eau contenue dans les barrages hydrauliques qui fait tourner via des conduites forcées sous une pression proportionnelle à la hauteur de chute des turbines reliées à des alternateurs. La hauteur d'eau varie de 30 m (basse chute) à 300 m (moyenne chute) et au-delà de 300 m (haute chute)

### II - 3 Centrale à éoliennes

Principe :

L'énergie du vent fait tourner les pales de l'éolienne qui font tourner un alternateur

Constitution :

Les pales de l'éolienne sont au nombre de 3 pour un diamètre total d'environ 100 mètres et tournent à une vitesse de 100 à 600 tours / minute

L'alternateur est entraîné par les pales via un multiplicateur de vitesse ; 1500 à 3000 tours / minute

La puissance d'une éolienne est d'environ 2MW soit environ 4000 MW par an

### II - 4 Centrale solaire thermique

Principe :

Des miroirs qui suivent l'axe du soleil renvoient le rayonnement solaire en un point unique, générant ainsi des températures de 500 à 1000 ° C.

Cette chaleur transforme l'eau en vapeur pour alimenter une turbine qui fait tourner un alternateur.

## II - 5 Centrale nucléaire : réacteur nucléaire

Principe :

La fission nucléaire est la réaction qui permet de « casser » un noyau lourd en 2 noyaux plus légers par la projection d'un neutron sur un atome lourd et instable, tel l'uranium 235 (appelé combustible), découvert en 1945 par une chimiste autrichienne).

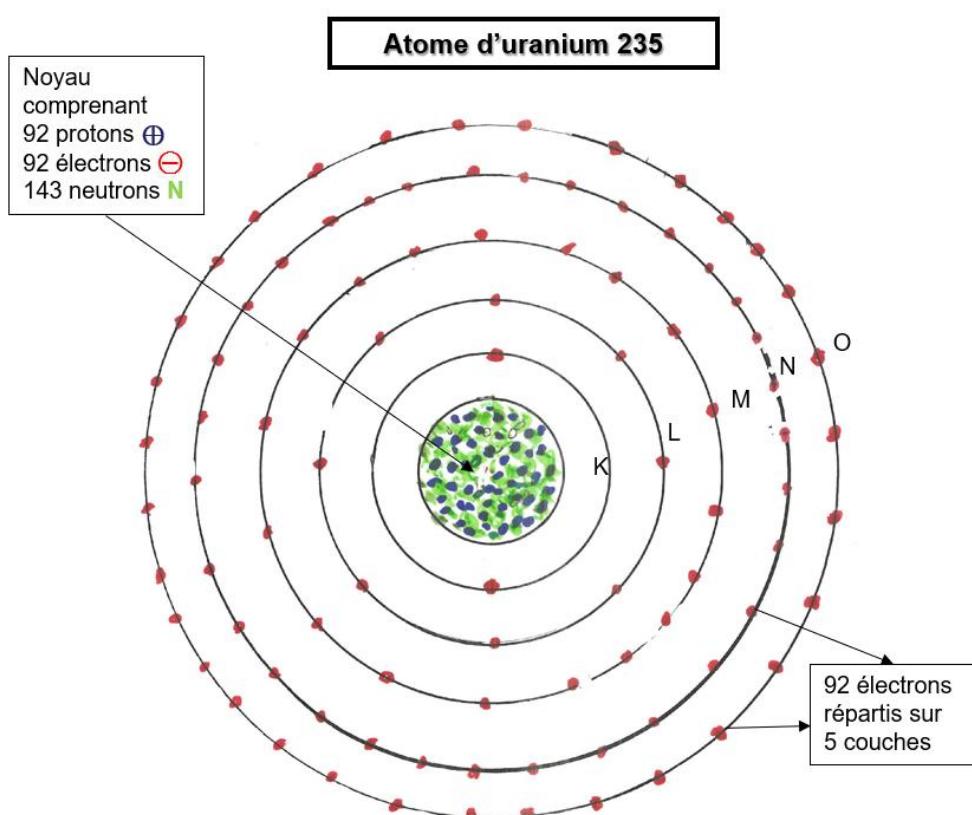
Lorsque ce neutron rentre en collision avec un atome lourd uranium 235 ou plutonium 235, il coupe en 2 le noyau de l'atome (rempli de neutrons et protons).

Il en résulte :

- 1°) la création de 2 atomes moins lourds
- 2°) une émission de 2 à 3 neutrons.

Ces neutrons issus de la fission, vont à leur tour rentrer en collision avec d'autres noyaux d'uranium 235 créant à leur tour 2 atomes plus légers et l'émission de 2 à 3 neutrons qui à leur tour vont rentrer en collision...

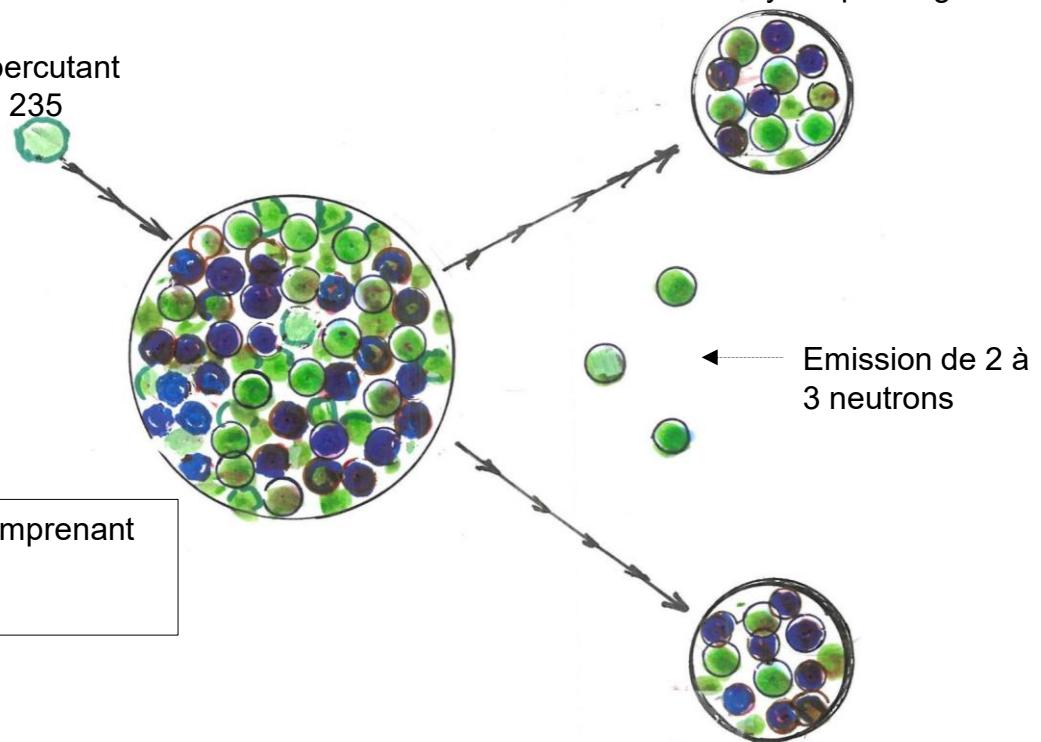
**C'est ce qu'on appelle la réaction en chaîne.**



## Scission du noyau

Neutron incident percutant un noyau uranium 235

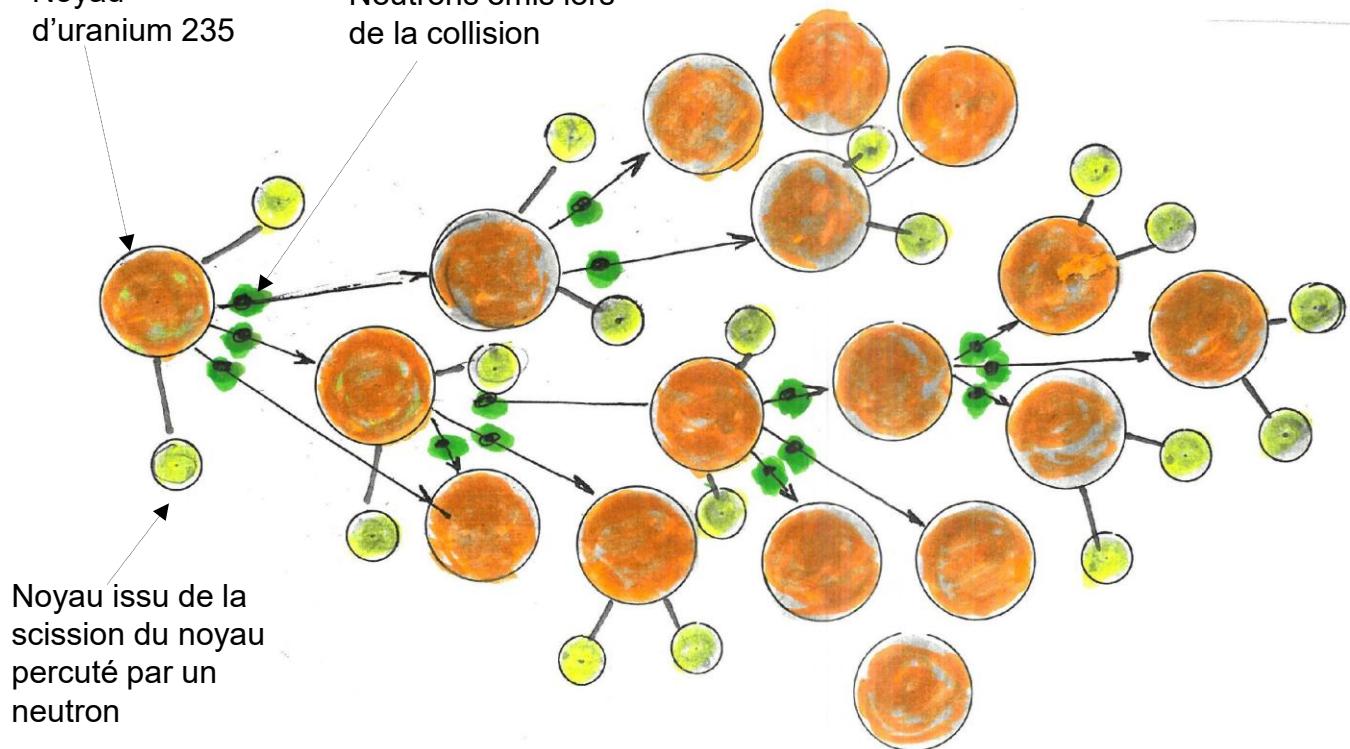
Scission du noyau en 2 noyaux plus légers



## Réaction en chaîne Fission nucléaire Uranium 235

Noyer d'uranium 235

Neutrons émis lors de la collision



Noyer issu de la scission du noyau percuté par un neutron

Nota 1 : Pour plus de clarté les 92 électrons des atomes d'uranium n'ont pas été représentés.

Nota 2 : Les neutrons (particules neutres) pénètrent facilement au cœur de l'atome car les charges électriques négatives des électrons n'ont pas d'effet sur eux.

Un réacteur nucléaire comprend :

- un combustible : uranium 235 ou plutonium 239
- le cœur du réacteur (contenant le combustible)
- la cuve du réacteur
- un fluide caloporteur

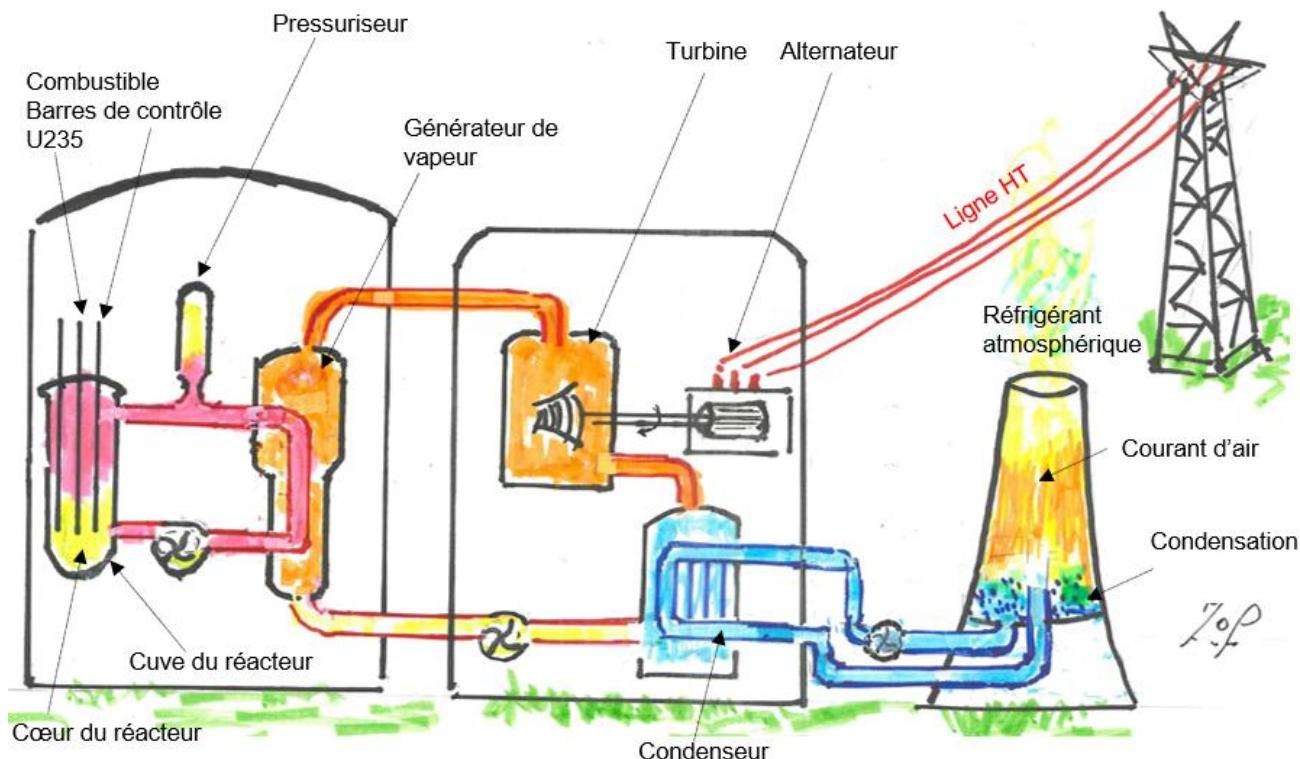
La chaleur dégagée va produire de la vapeur d'eau qui est dirigée vers la turbine à vapeur qui entraîne un alternateur qui produit l'électricité

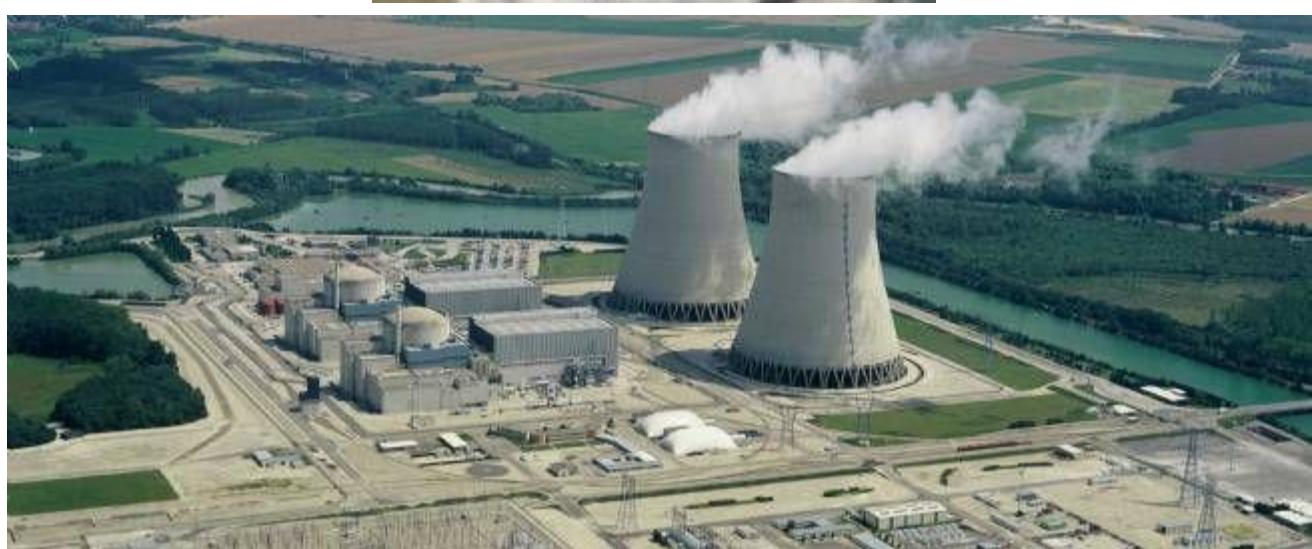
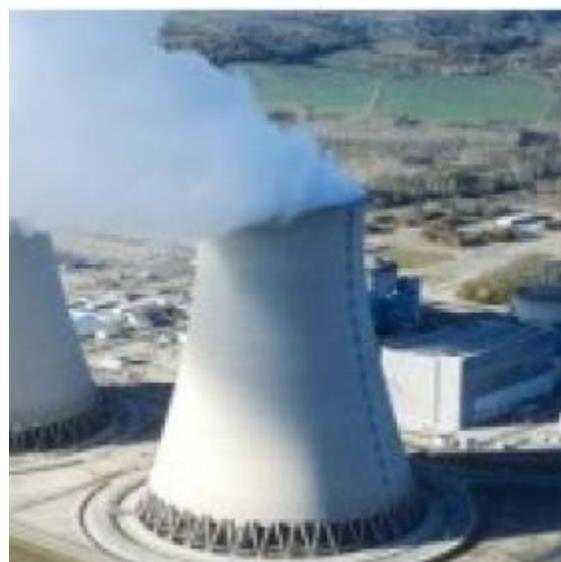
### Schéma élémentaire d'une centrale nucléaire

Circuit primaire

Circuit secondaire

Circuit de refroidissement





## II - 6 Centrale photovoltaïque

Une centrale photovoltaïque est composée d'un assemblage de panneaux photovoltaïques assemblés en série et en parallèle pour obtenir à la fois une tension de 800 Volts et en parallèle pour obtenir une intensité telle que la puissance  $P = U_i$  de la centrale soit conforme à la puissance désirée sur le cahier des charges.



## Fonctionnement d'un panneau photovoltaïque

C'est un photon qui, en rencontrant un matériau semi-conducteur provoque l'expulsion d'un électron, créant ainsi un courant électrique

Description du photon (paquet d'ondes)

*Particule quantique*

*Classification : BOSON*

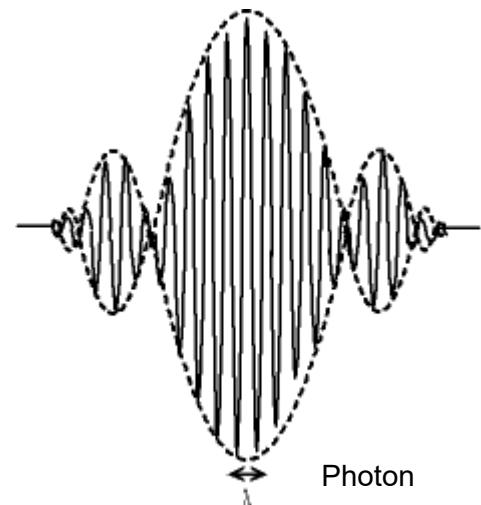
*Masse = 0 (<  $6 \cdot 10^{-17}$  eV.  $c^{-2}$ )*

*C = vitesse de la lumière : 299792 km.s<sup>-1</sup>*

*Charge électrique 0 (<  $1 \cdot 10^{-35}$  e)*

*Spin : 1*

*Energie d'un Photon = 2 eV*



On peut représenter au premier abord les photons par des paquets d'onde : l'onde électromagnétique n'est pas une sinusoïde d'extension infinie, il y a une enveloppe d'amplitude importante encadrée par d'autres enveloppes nettement moins significatives.

Le paquet d'onde, un modèle du photon : on a une onde monochromatique de longueur d'onde gamma à l'intérieur d'une enveloppe de largeur déterminée d'une enveloppe de largeur déterminée.

## Fonctionnement d'un semi-conducteur

Le semi-conducteur est un corps cristallin dont la résistivité ( $10^6$  à  $10^9$   $\Omega$  cm) est intermédiaire entre celle des corps isolants (résistivité  $10^{22}$   $\Omega$  cm) et celle des conducteurs (métaux) résistivité  $10^6$   $\Omega$  cm.

Le comportement des semi-conducteurs est représenté par la théorie des Bandes d'énergie, c'est-à-dire des intervalles d'énergie.

- La dernière couche ou bande d'énergie s'appelle « la Bande de valence ».
- La bande d'énergie supérieure s'appelle « la Bande de conduction ».

Il y a un intervalle entre ces deux bandes qui s'appelle GAP : la bande interdite.

**Le GAP est égal à 0 dans les matériaux conducteurs**  
**1 eV dans les semi-conducteurs (environ)**  
**6 eV dans les isolants (environ)**

**Ainsi, on voit que dans un semi-conducteur, il suffit d'un apport de très petite énergie  $\leq 1$  eV pour faire passer un électron de la bande de valence à la bande de conduction.**

## Un semi-conducteur intrinsèque

Prenons un cristal de silicium de très grande pureté, les 4 électrons de valence constituent les liaisons covalentes.

Si on augmente la température certaines liaisons sont brisées, libérant ainsi des électrons dans le cristal.

**A chaque fois qu'un électron est libéré, il crée un trou dont la charge électrique est de signe contraire à celle de l'électron, c'est-à-dire  $+$**

On rajoute dans le cristal de silicium par exemple, des atomes ayant plus d'électrons de valence que le silicium (ex.: l'arsenic, Phosphore, etc..), atome pentavalent, dopage N, et d'autre part des atomes ayant moins d'électrons de valence, (ex.: le bore), atome trivalent, dopage P

On augmente ainsi beaucoup la conductivité par rapport aux semi-conducteurs intrinsèques.

### Jonction P-N

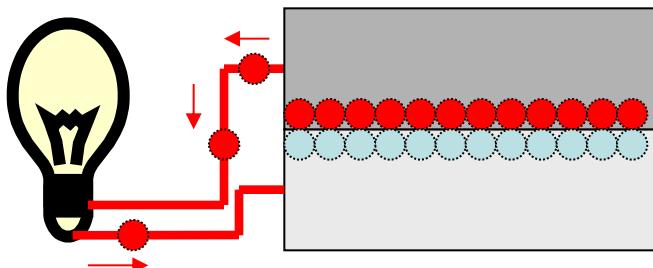
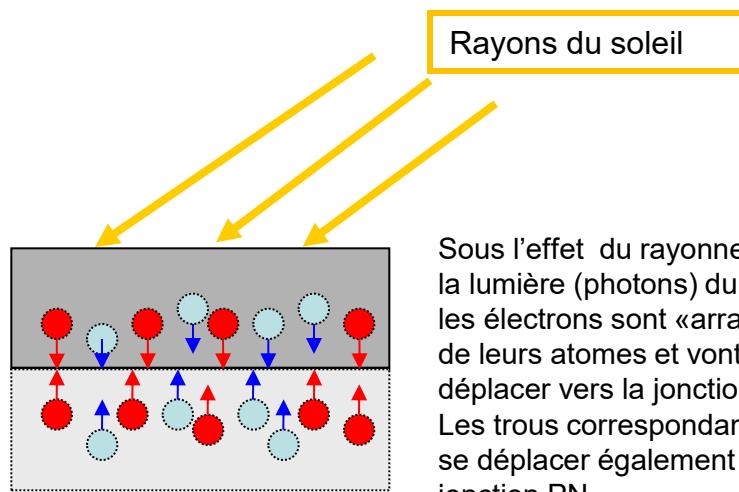
Ainsi, lorsqu'on met en contact 2 tranches de Silicium dopées P et N, les électrons en excès dans la tranche dopée N, diffusent dans la tranche dopée P.

La zone initialement dopée N devient positive.

La zone initialement dopée P devient négative.

Il se crée ainsi entre ces 2 zones **un champ électrique** qui tend à repousser :

- les électrons dans la zone N
- les trous dans la zone P.

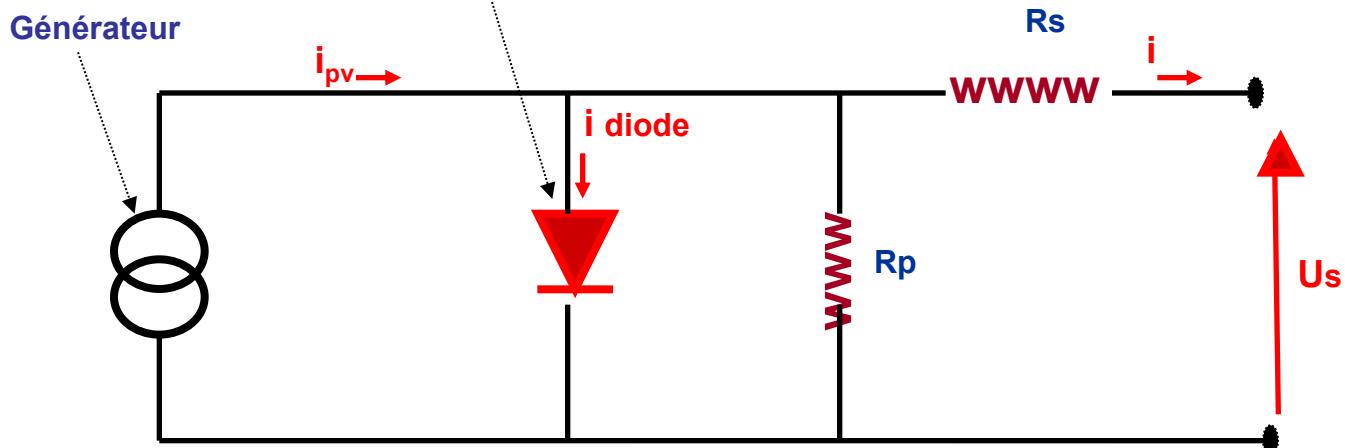


Les trous et les électrons se stockent au niveau de la jonction P-N, générant alors une tension. Si une connexion extérieure est établie, un courant continu d'électrons est créé.

## Circuit équivalent modélisant la cellule photovoltaïque

CIRCUIT EQUIVALENT MODÉLISANT LA CELLULE PHOTOVOLTAÏQUE :

## Diode de courant d'obscurité

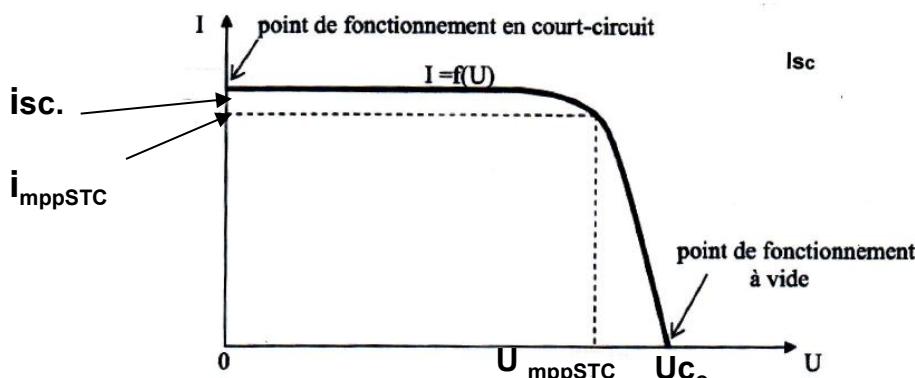


**Rs** : Résistance série due à la résistance des différentes couches, contacts métalliques, etc... de l'ordre de quelques milli-ohms ( $m\Omega$ ).

**Rp** : Résistance parallèle ou de court-circuit due aux fuites.

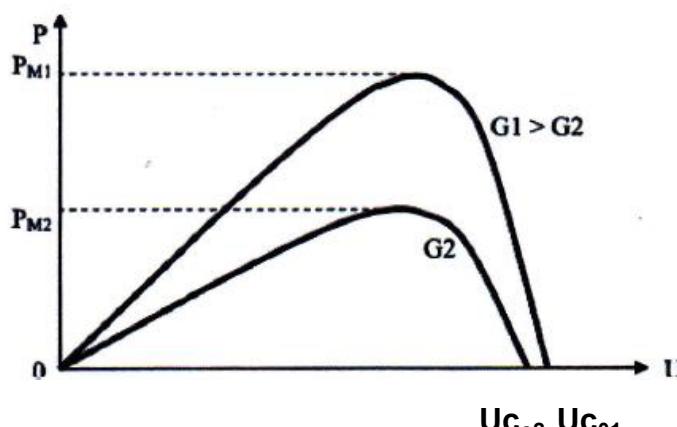
Cette résistance doit être la plus grande possible, environ une dizaine d'OHM  $\Omega$

**Us** : Tension de sortie de la cellule P.V

COURBE INTENSITÉ – TENSION  $i = f(u)$  :

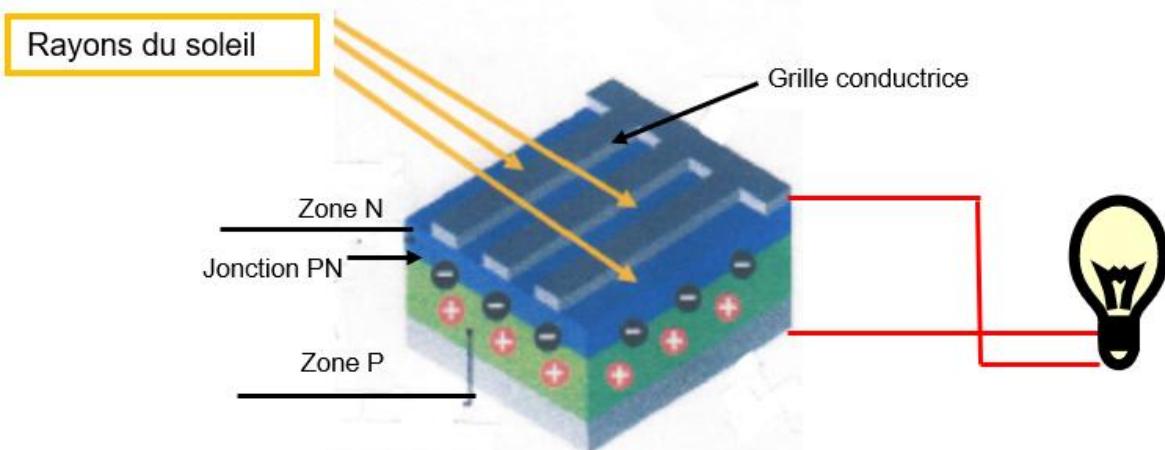
NOTA : Le courant photovoltaïque du panneau est la soustraction entre le photo-courant et le courant de diode à l'obscurité.

COURBE PUISSANCE – TENSION :



NOTA : On voit que la puissance augmente avec le niveau d'éclairement

## Constitution d'une cellule photovoltaïque

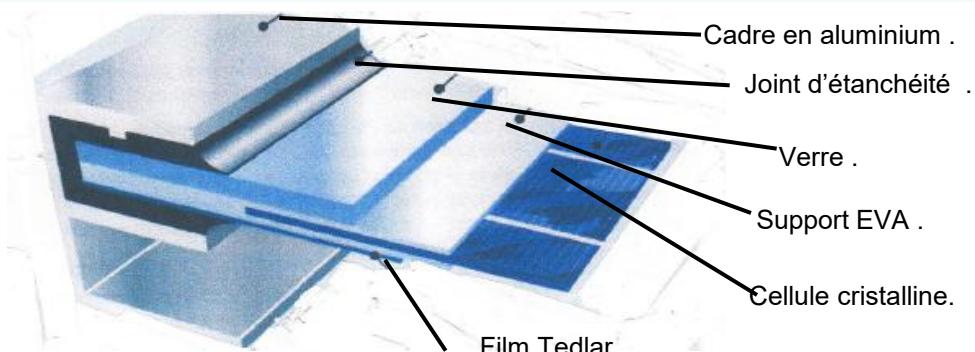


Après dopage P et N, on incruste par métallisation des rubans de métal sur chaque face que l'on relie aux contacts.

Ces cellules sont collées sur une plaque de tissu de verre polyester (couche de Teldar) et sont protégées par un film en verre trempé parfaitement transparent.

La surface des cellules est de 100 à 225 cm<sup>2</sup> environ.

## Constitution des modules



Les cellules sont assemblées en série.

Chacune d'elles délivrant une tension d'environ 0.5 à 0.6V.

Un module photovoltaïque est donc un assemblage en série de cellules photovoltaïque protégées par un verre sécurit parfaitement transparent et dont la face antérieure est recouverte d'un film spécial (couche de Tedlan), entre ces 2 couches, les cellules solaires sont insérées dans une masse étanche, transparente, c'est ce qu'on appelle l'encapsulage par feuillettage d'un film d'acétate de vinyle polymérisé à chaud.

### Exemple :

Soit un module de 12 V. avec un rendement de 12%, comportant 20 cellules, lorsque l'irradiation solaire est maximale (1000W/m<sup>2</sup>), la puissance délivrée sera de 120 W,

l'intensité  $i = P/U = 10 A$ .

Si l'irradiation solaire est faible ( 100 W/m<sup>2</sup>) la puissance délivrée par le module sera de 12 W.

La tension normalisée des modules est en principe 12V, ou 24, 48 Volts, etc...



**Imexco**

## **CHAPITRE III**

# **LIGNES HAUTE TENSION ET PYLONES**

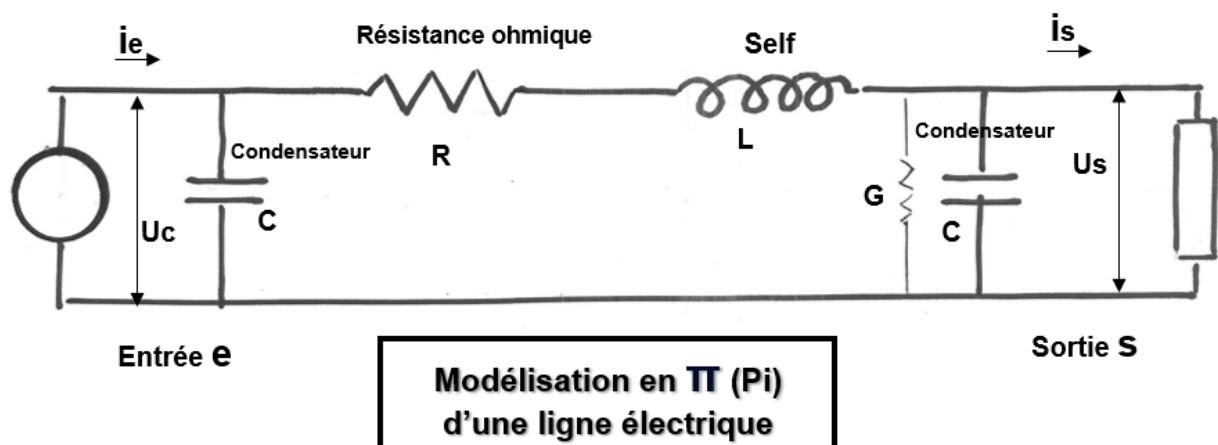
Ce que l'on appelle des lignes HT sont des conducteurs appelés câbles. L'âme de ces conducteurs est toujours métallique (notons qu'au 18<sup>e</sup> siècle les premiers conducteurs du courant électrique étaient faits avec de la corde de chanvre mouillée !!)

### ■ Composants d'un câble

D'abord le conducteur général est en cuivre ou en aluminium ou en alliage alu-acier. C'est ce qu'on appelle l'**ÂME** du câble. Ce conducteur est entouré d'un isolant (polymère ou élastomère généralement). Certains câbles sont blindés avec un blindage métallique (généralement feuilles d'aluminium laminées). Le tout est entouré d'une gaine protectrice (polyuréthane, élastomère, polyoléfine).



Une ligne électrique peut être modélisée comme suit :



(Modèle valable pour des lignes courtes et de faibles fréquences)

$$\frac{du}{dx} = - L \frac{di}{dt} - Ri \quad (\text{en fonction de } x \text{ la distance et du temps } t)$$

$$\frac{di}{dx} = - C \frac{du}{dt} - Gu \quad (G \text{ étant la conductance du milieu diélectrique  
représentée par une résistance SHUNT})$$

Cette représentation constitue une cellule élémentaire pour une distance d'une centaine de km. Cette cellule se compose d'une résistance et d'un self en série et de 2 condensateurs en parallèle. Pour des longues distances on multipliera ce schéma en **Π** (Pi).

### ■ Résistance de la ligne électrique

$$R = \rho \frac{L}{S} \quad \text{avec } \rho = \text{résistivité du cuivre} = 1,72 \cdot 10^{-8} \Omega/m$$

$$\rho \text{ aluminium} = 3 \cdot 10^{-8} \Omega/m$$

Cet alliage est préférable au cuivre car moins lourd et moins couteux.

Section d'une ligne : en moyenne 500 mm<sup>2</sup>

La résistance pour une telle section est de l'ordre de :

$$6 \times 10^{-2} \Omega/km \text{ à 1 à } 3 \cdot 10^{-2} \Omega/km.$$

C'est cette résistance qui induit l'effet chaleur.

**W = Ri<sup>2</sup>t** oblige l'intensité à ne pas dépasser des valeurs limites.  
**Joule**

La valeur maximale retenue est de 0,7 / 0,8 A/mm<sup>2</sup> pour maintenir une température du câble en dessous de 60°C.

### ■ Inductance de la ligne

#### Câble aérien

La ligne se comporte comme une self (voir schéma page précédente) de faible inductance 1 à 2 milli henry/km soit une réactance < ou de l'ordre de 0,3 à 0,7 Ω/km.

### ■ Capacité de la ligne

- Lignes aériennes : 10 nanofarad/km
- Câbles : 30 à 800 nanofarad/km (enterrés ou non)

## ■ Pertes de puissance

Les pertes sur ligne sont estimées à 2,5 %

## ■ Chutes de tension

A vide : 
$$\frac{U_s - U_e}{U_s} = RC\omega - JLC\omega^2$$

En charge : la **FEM** (force électromotrice) de l'alternateur **e** est égale à la somme vectorielle de la résistance et inductance interne **xi**.

C'est **(R+JL $\omega$ )i** diminué de la somme vectorielle de la résistance et l'inductance de la ligne **(R+JL $\omega$ ) x i** additionnée à la tension des sorties **Us**.

Si **i** augmente  $\rightarrow$  **Us** diminue.

Pour y remédier il faut ajouter une batterie de condensateur pour diminuer **JL $\omega$**

(le vecteur **JL $\omega$**  s'oppose au vecteur  $\frac{i}{JC\omega}$ )

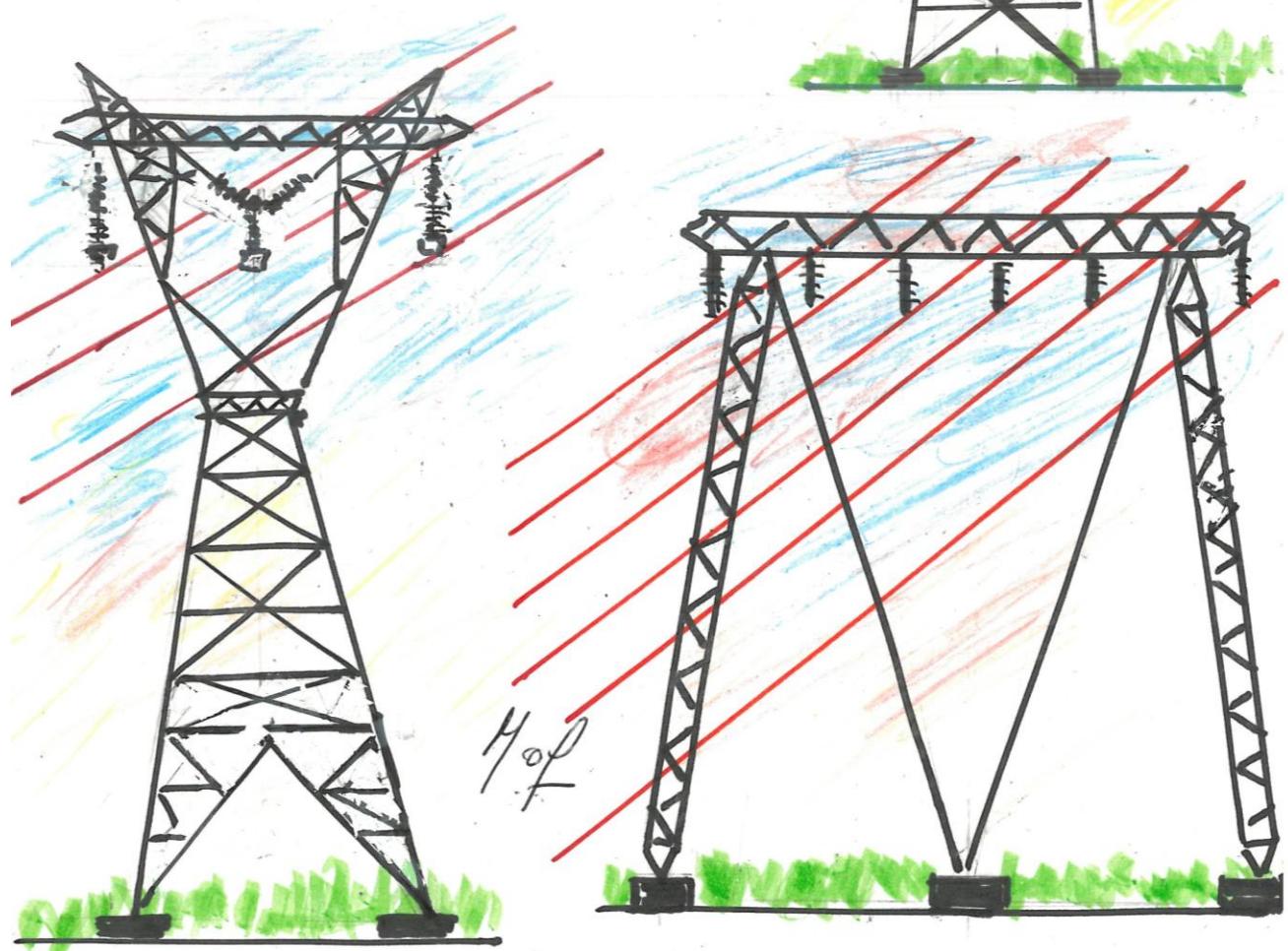
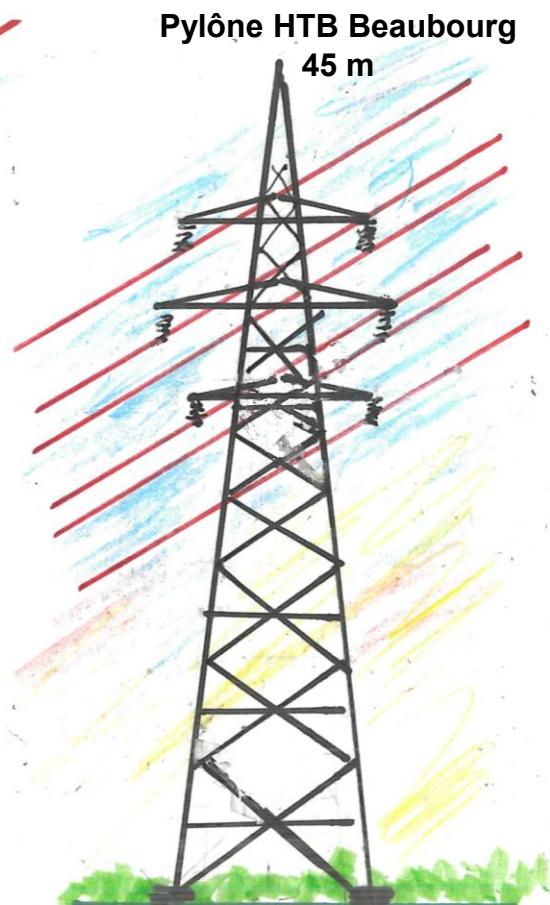
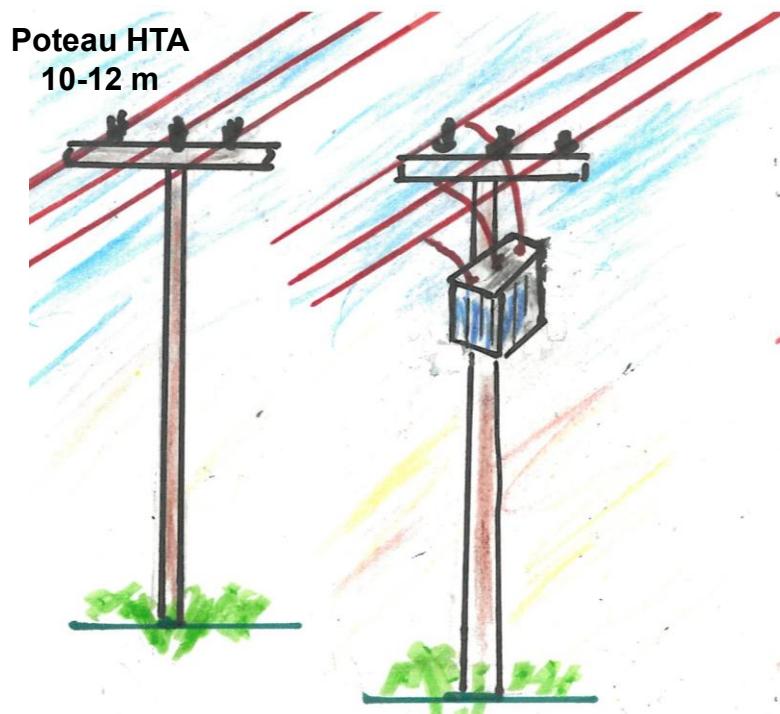
## Différents types de pylônes



Les lignes sont supportées par des poteaux (bois, béton, métal) pour la HTA en général et pour des pylônes en structure métallique pour le HTB.

Ces pylônes et poteaux sont conçus pour résister aux conditions climatiques le plus dures.





Pylône HTB Mae West  
60 m

Pylône HTB Trianon  
35 m

## Isolateurs



Les conducteurs (les câbles) sont reliés aux pylônes par des isolateurs en verre ou céramique, en forme d'assiettes reliées entre elles pour former des chaînes d'assiettes.

## Différentes tensions de lignes

### Nombre isolateurs

20 000 volts	2 à 3 galettes
63 000 volts	4 à 6 galettes
90 000 volts	9 galettes
225 000 volts	12 à 14 galettes
400 000 volts	19 galettes

## Câbles de garde

Au-dessus des câbles HT sont fixés des câbles de garde qui jouent le rôle de paratonnerre fabriqués en ALMELEC-ACIER.



**Imexco**

## **CHAPITRE IV**

### **POSTES DE DISTRIBUTION HTB**

## DISTRIBUTION DE L'ENERGIE ELECTRIQUE

### Poste HTB (Tension > 50 KV), Poste de transformation

Pour pouvoir livrer cette énergie en tout point du territoire il faut des **relais**. Ces relais s'appellent **des postes HT**.

Ces postes HT ont pour mission de :

- ⇒ Protéger les lignes (surintensité, surtension foudre) par disjoncteur
- ⇒ Isoler des sections de ligne par sectionneurs
- ⇒ Interconnecter plusieurs sections de réseaux
- ⇒ Transformer le niveau de tension
  - soit abaisser, exemple : 90 000 – 63 000
  - soit augmenter : 20 000 – 400 000
- ⇒ Intégrer un dispositif de mise à la terre
- ⇒ Commander – contrôler – supprimer – détecter les défauts

Il existe 2 sortes de postes de transformation :

- GIS (PSEM) (Poste blindé)
- AIS

#### ⇒ Les postes GIS

Sont des postes sous enveloppe métallique étanche (PSEM) isolés par un gaz isolant le SF6 (hexafluorure de soufre). Ils contiennent principalement :

- le transformateur
- le disjoncteur
- le sectionneur
- le sectionneur et mise à la terre
- différents composants...

L'intérêt de ces postes GIS est leur faible encombrement par rapport aux postes de transformation conventionnels AIS.



## ⇒ Les postes AIS

Le poste AIS est un poste plus conventionnel qui utilise l'air comme isolant et non par un gaz tel que le SF6.



## Poste HTB Transformateur



**RTE** Gérance du Réseau de Transport d'Électricité

**Transformateur de grande puissance**

IL S'AGIT D'UN APPAREIL STATIQUE DESTINÉ À MODIFIER LA TENSION ÉLECTRIQUE.

**SOIT EN L'ÉLEVANT**

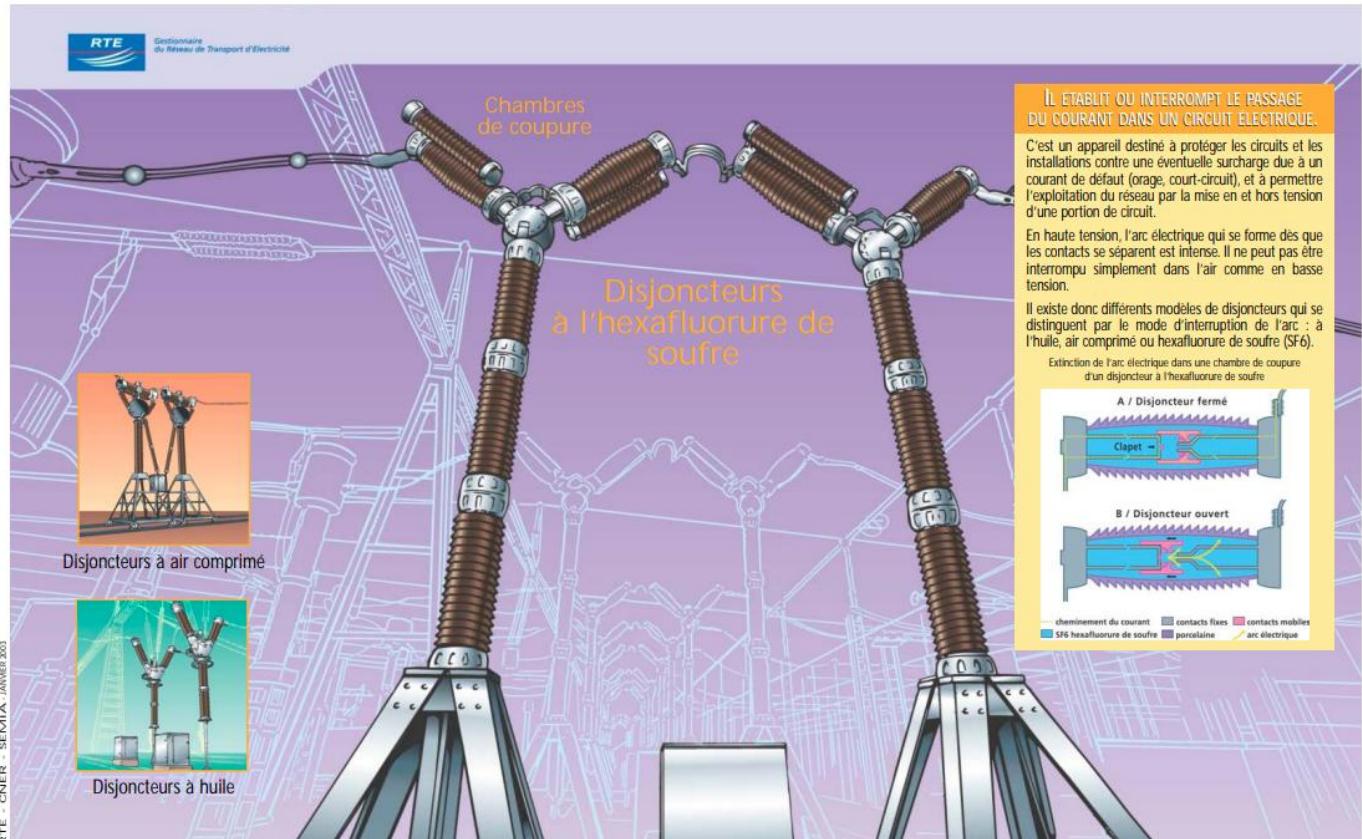
A la sortie des centrales de production, son rôle consiste à éléver la tension électrique initiale (20 000 volts) afin de rendre l'électricité transportable sur de grandes distances. En effet, plus la longueur des lignes est importante, plus le courant perd de son énergie en route. C'est pourquoi le transport s'effectue sous un voltage important

**SOIT EN L'ABAISANT**

En fonction de l'utilisateur final et de ses besoins en électricité, il est nécessaire d'abaisser la tension électrique par échelons successifs dans une série de transformateurs dont la taille est fonction de la puissance à transiter.

Les transformateurs sont des acteurs très importants dans le transport, la répartition et la distribution de l'énergie électrique.

## Poste HTB Disjoncteur



Le principe de la coupure : à l'instant où la tension sinusoïdale passe par 0 (tous les 100 ème de seconde)

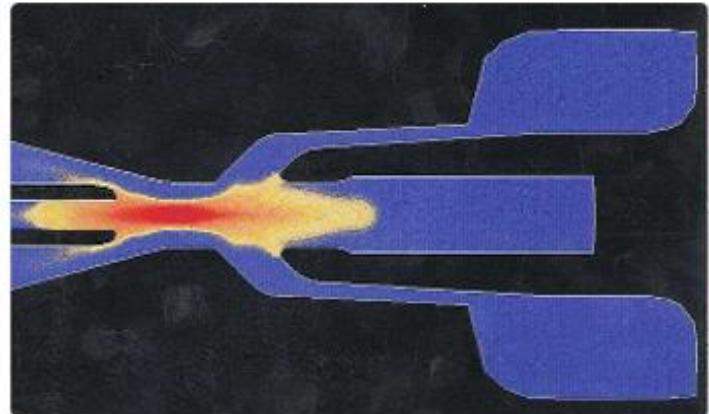
C'est l'instant où la puissance de l'arc est minimale. Pour éteindre l'arc on souffle automatiquement un gaz isolant pour pression. (SF6 : hexafluorure de soufre).

Il existe aussi - des disjoncteurs à l'huile

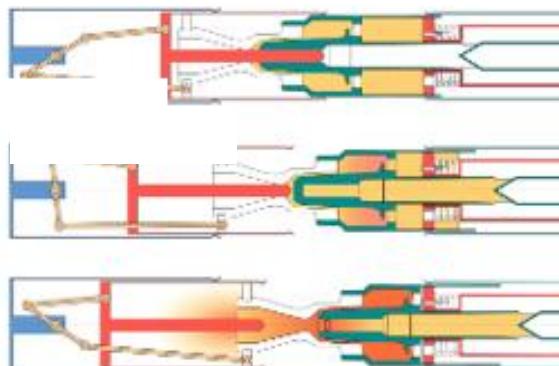
- des disjoncteurs à air comprimé
- des disjoncteurs à auto-soufflage



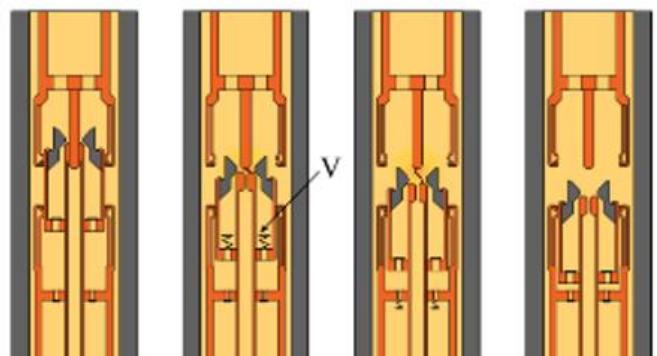
Disjoncteur 800 kV au Venezuela



Arc électrique entre les contacts d'arc d'un disjoncteur à haute tension



Disjoncteur à autosoufflage à double mouvement des contacts



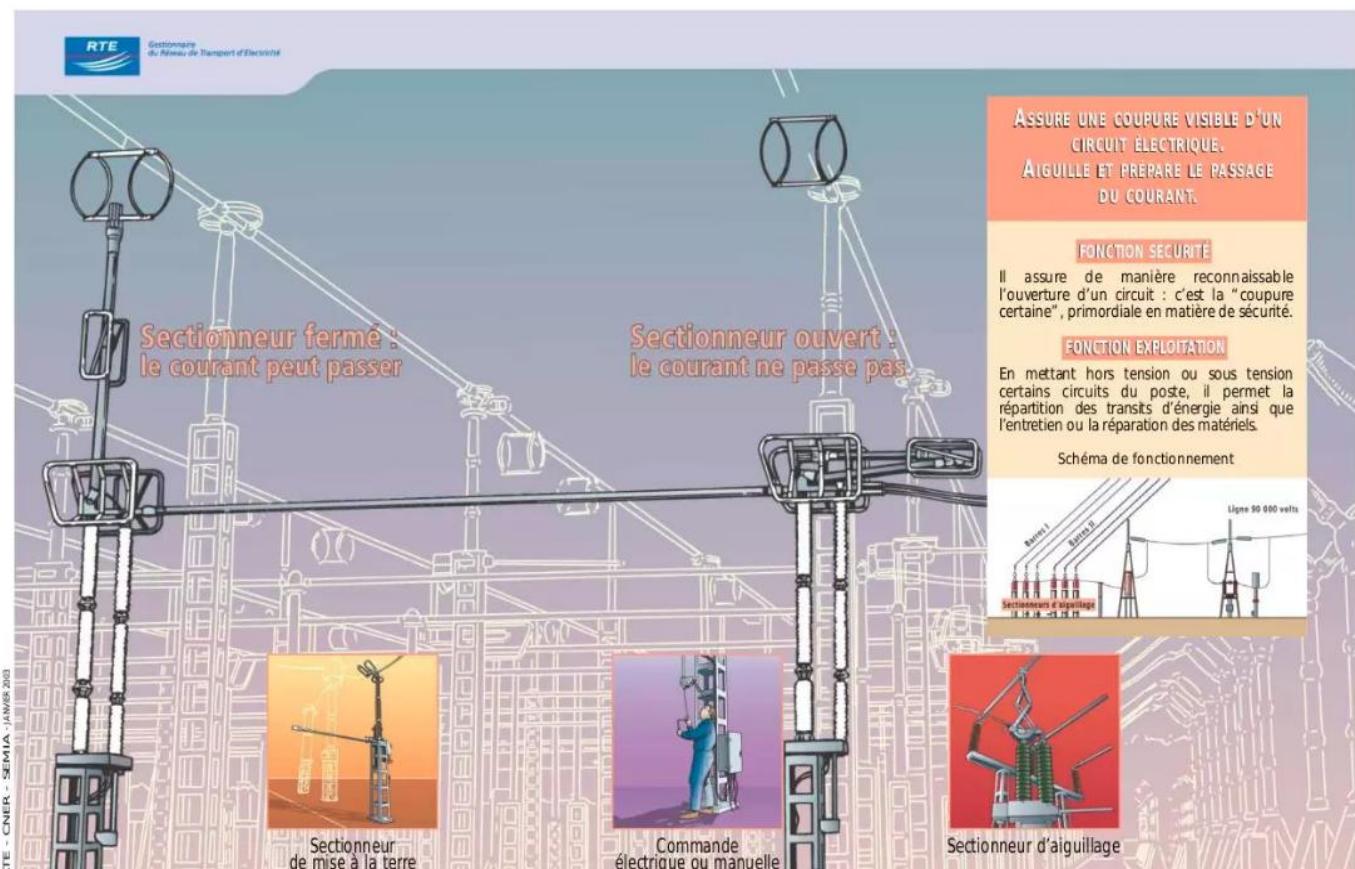
Principe des disjoncteurs à autosoufflage et double volume

Le disjoncteur doit être calculé en fonction de son pouvoir de coupure en court-circuit. L'intensité étant alors comprise entre 25 kA et 63 kA.

## Le Sectionneur en HTB

Dispositif de manœuvre qui permet d'ouvrir un circuit en séparant de manière visible et sur une distance de séparation compatible avec la tension, les contacts. Il permet ainsi de travailler en toute sécurité.

Mais attention, un sectionneur n'a pas de pouvoir de coupure.





**Imexco**

## **CHAPITRE V**

### **RESEAUX DE DISTRIBUTION HTB-HTA**

## Architecture des réseaux HTB-HTA

- I - Il existe de nombreux schémas de réseaux industriels HTB-HTA en fonction des niveaux de tension, des puissances, des sûretés de fonctionnement ...
  - Une ou plusieurs sources d'alimentation
  - Un ou plusieurs jeux de barre
  - Un ou plusieurs transformateurs ...

Nous vous présentons ici seulement 2 schémas :

- 1°) 1 seule source d'alimentation **en antenne** avec 2 postes de livraison
- 2°) 2 sources d'alimentation **en double antenne** avec 2 postes de livraison

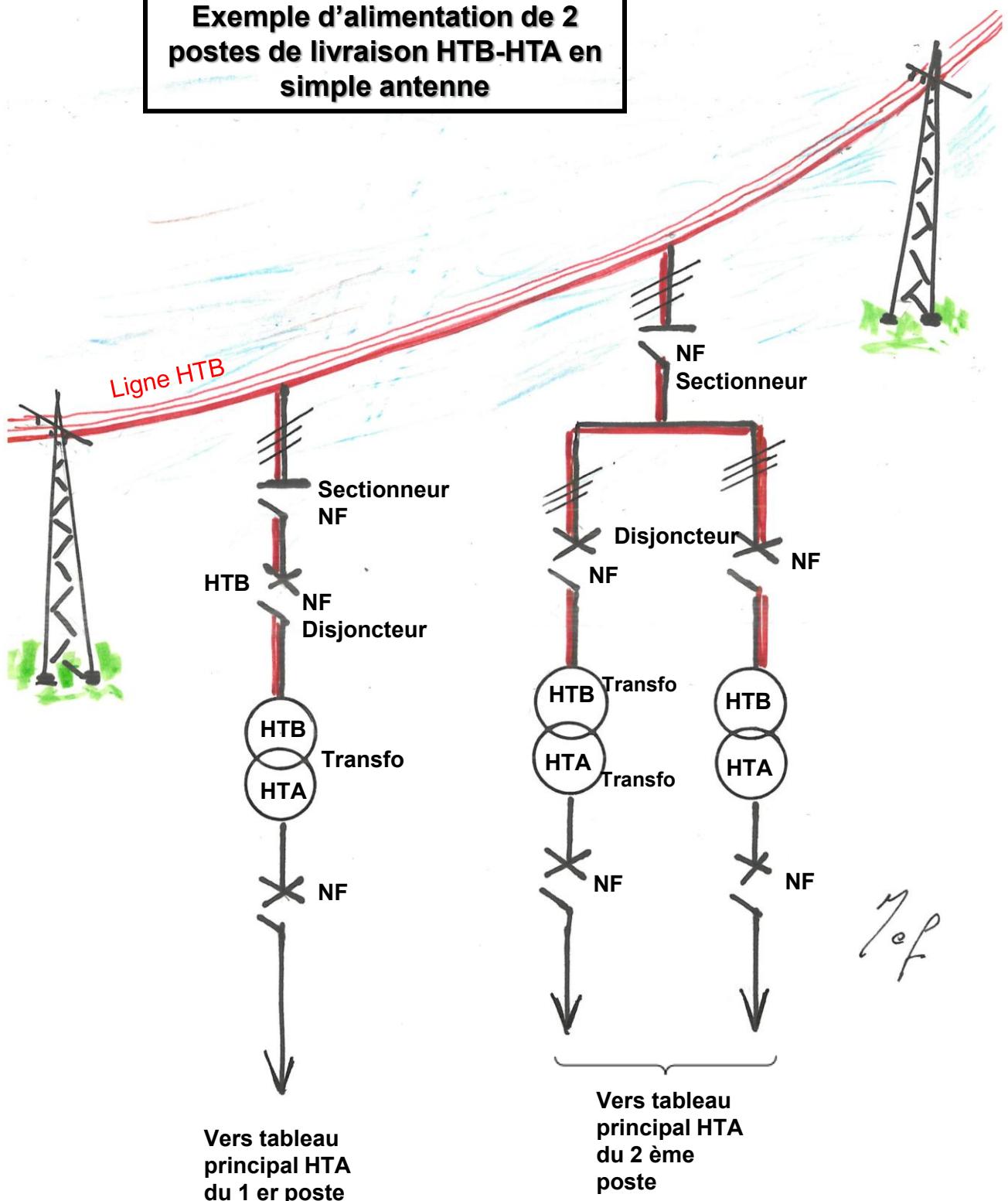
Rappelons que la HTB est supérieure à 50 kV avec une puissance supérieure généralement à 10 MVA.

**NB** : On utilise le mot « **dérivation** » ou « **antenne** » qui sont synonymes.

### II - 2 exemples :

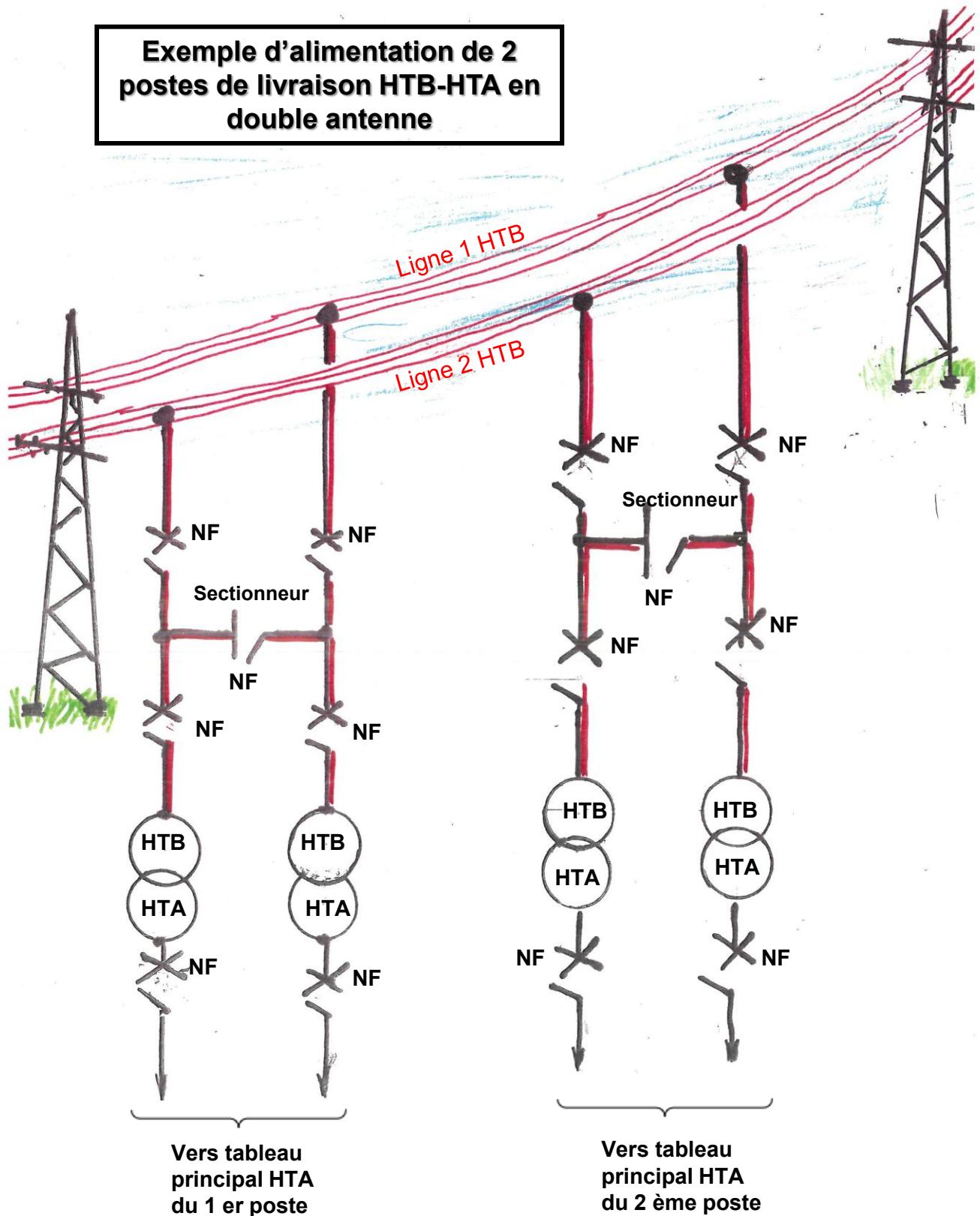
- Alimentation de 2 postes de livraison HTB/HTA en simple antenne
- Alimentation de 2 postes de livraison HTB/HTA en double antenne

**Exemple d'alimentation de 2 postes de livraison HTB-HTA en simple antenne**



Avantage de ce raccordement simple antenne est le coût moins élevé.  
Inconvénient : la disponibilité du service faible.

**Exemple d'alimentation de 2 postes de livraison HTB-HTA en double antenne**



Avantage : très bonne disponibilité des services.

Inconvénient : coût plus élevé que l'alimentation en simple antenne.



**Imexco**

## **CHAPITRE VI**

### **RACCORDEMENTS HTA-BT**

## VI - 1 Raccordements HTA-BT

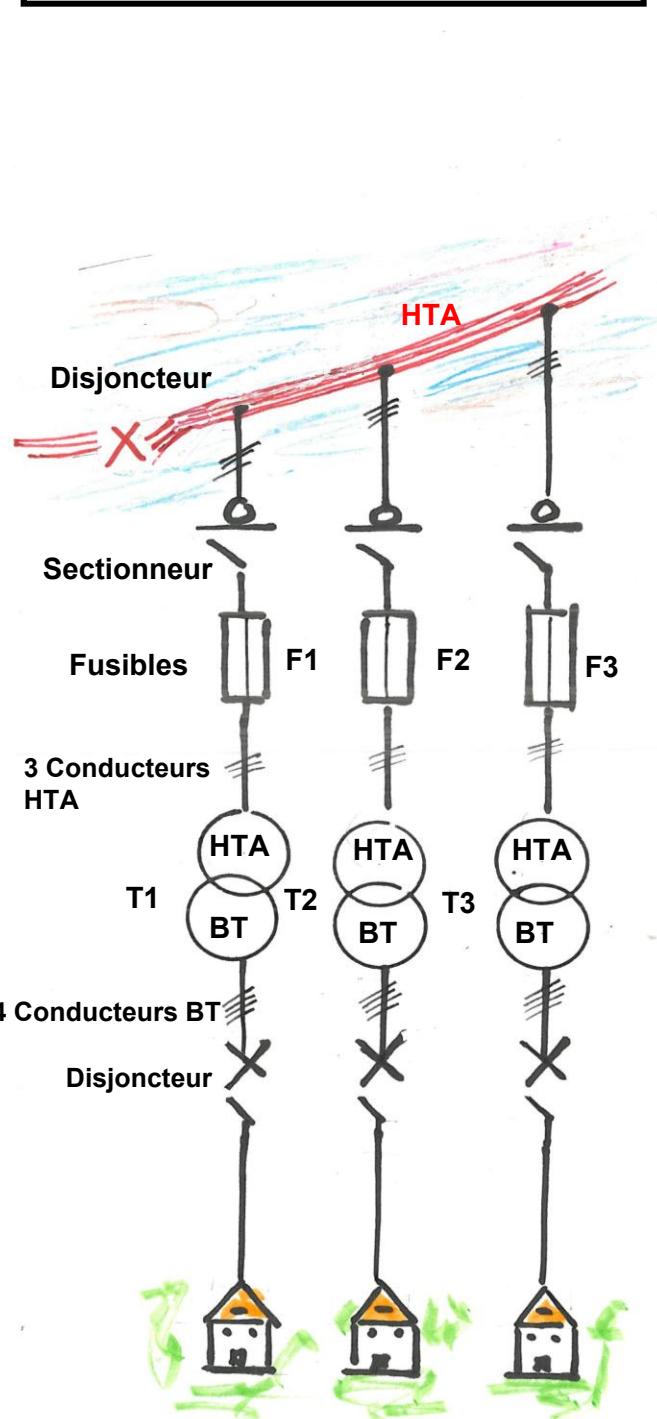
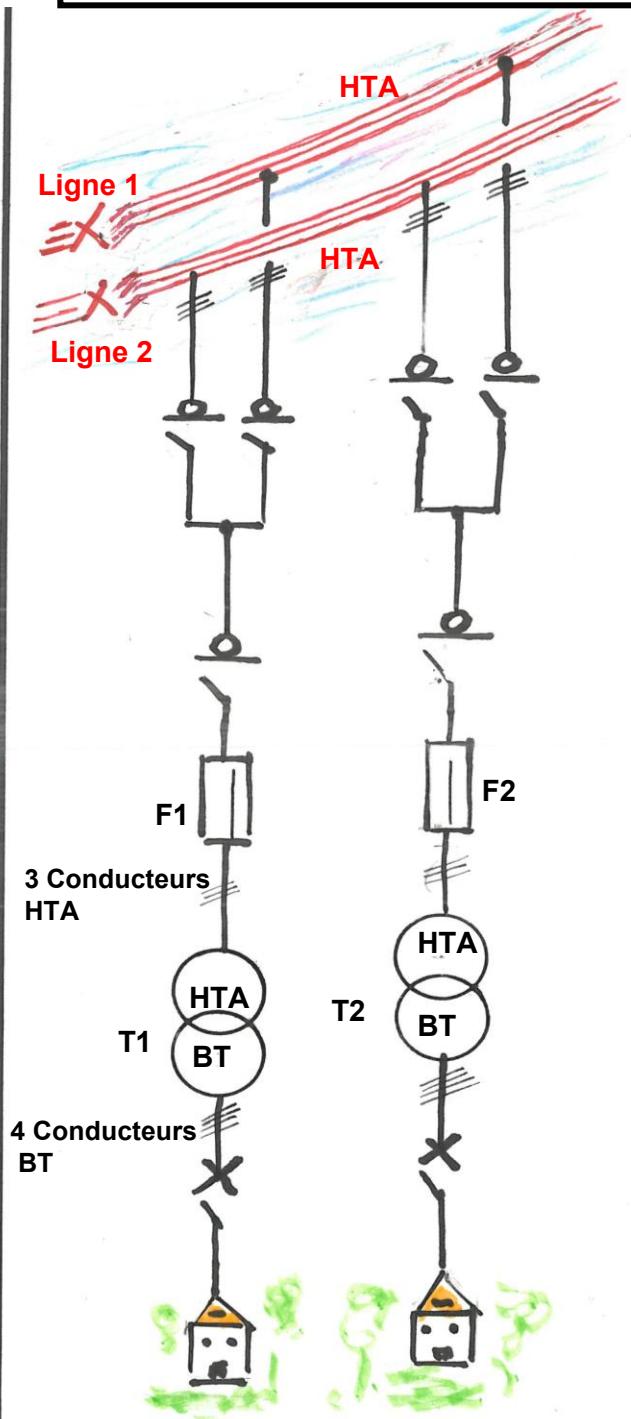
Il existe de nombreuses structures de réseaux HTA-BT en fonction des besoins des utilisateurs :

- Simple antenne
- Double antenne sans couplage
- Double antenne avec couplage
- Coupure d'artère
- Double dérivation
- 1 seule source d'alimentation HTA
- Double source d'alimentation HTA
- Double alimentation avec couplage
- Triple alimentation
- Etc...

Mais ce présent fascicule a pour seul objet de fournir un éveil à la haute tension, afin de bien comprendre les risques électriques de cette énergie létale pour les stagiaires à l'habilitation électrique selon la norme NF C 18-510. C'est pourquoi nous n'avons retenu que 3 schémas de raccordement HTA-BT :

- ⇒ Simple dérivation en antenne
- ⇒ Double dérivation en antenne
- ⇒ Coupure d'artère

## VI - 2 Simple dérivation (ou antenne) et Double dérivation (ou antenne)

Raccordement HTA-BT  
simple antenneRaccordement HTA-BT  
double antenne

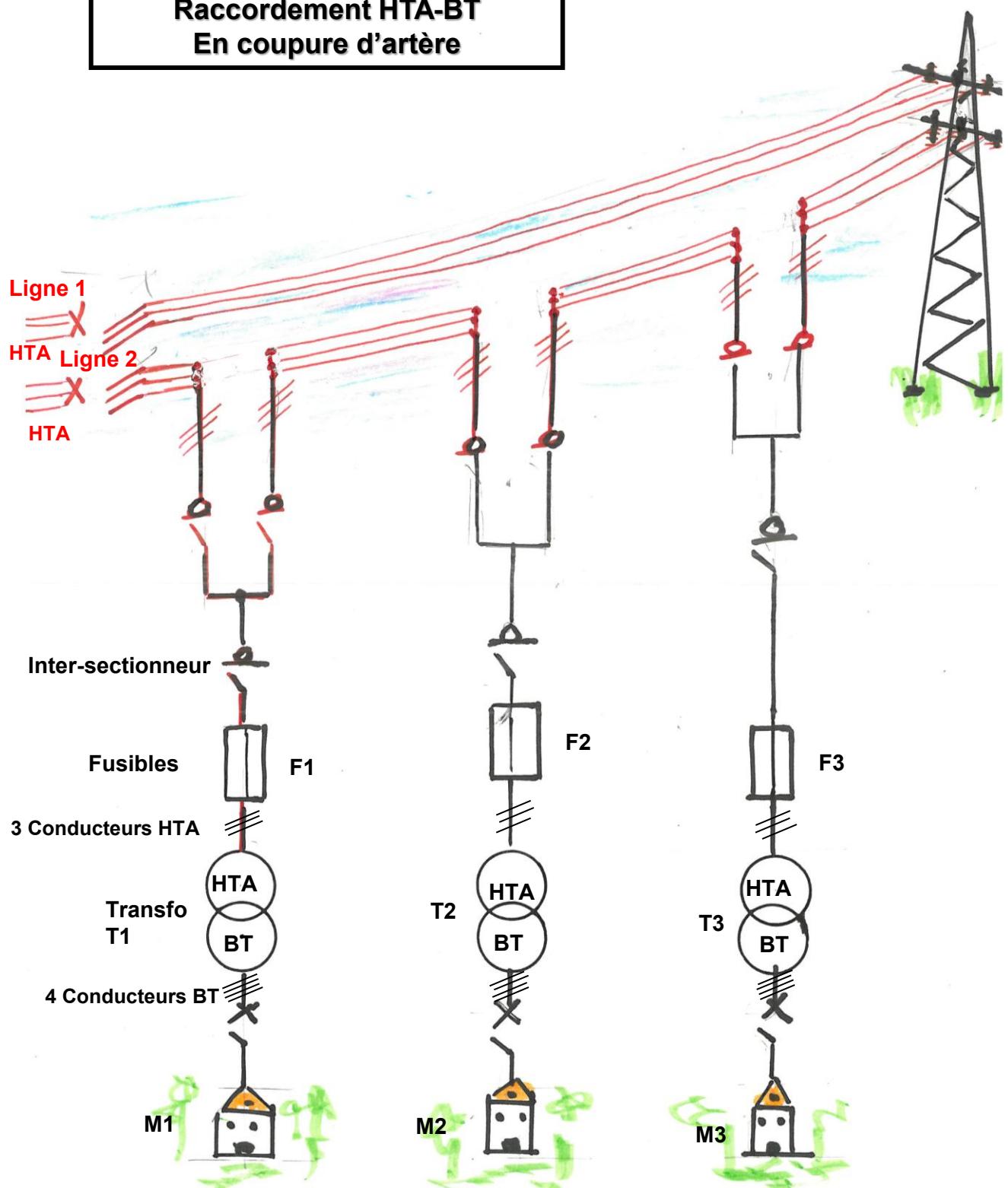
Avantages : simple et économique.

Inconvénients: une coupure sur la ligne HTA entraîne la coupure sur tous les départs.

Avantages : meilleure continuité.

Inconvénients: le coût de cette installation est doublé.

## VI - 3 Raccordements en coupure d'artère

**Raccordement HTA-BT**  
**En coupure d'artère**


Les 3 maisons M1, M2, M3 peuvent être alimentées indifféremment par T1, T2, T3 par un jeu de manœuvres sur les inters sectionneurs adéquats.

Avantages : très bonne continuité du service.

Inconvénients : coûts des cellules interrupteuses.



**Imexco**

## **CHAPITRE VII**

### **POSTES DE LIVRAISON HTA-BT**

**Vue d'ensemble d'un poste de livraison HTA-BT (exemple)**



Un poste HTA-BT est un local où va se transformer la tension HTA (20 000 volts) en basse tension (400 V), il comprend :

#### Côté HTA

- ⇒ **Des cellules d'arrivée de commandes et de protection** qui vont transmettre la haute tension au transformateur HTA-BT qui va la transformer en BT
- ⇒ **1 ou plusieurs transformateurs HTA-BT**

#### Côté BT

- ⇒ **1 inter-sectionneur** à la sortie du ou des transformateurs
- ⇒ **1 AGCP (Appareil Général de Coupure et Protection) et ou 1 TGBT** pour répartir la basse tension sur différents circuits de distribution

## Dispositions constructives

Poste de livraison HTA-BT selon la norme NF C 13-100

#### ■ Dimensions

$H \geq 2\ 500\ m$

Distance devant les unités fonctionnelles 0,8 m (couloir de manœuvre)

#### ■ Sols

Plans horizontaux stables situés à une hauteur 10 cm minimum du sol

#### ■ Parois extérieures

En maçonnerie : protection et résistance voir norme NF EN 50-529

En métal : résistance au choc IK 10 selon la norme NF EN 622-52

#### ■ Plafond

Entièrement étanche aux infiltrations

#### ■ Récupération du diélectrique

Bac ou fosse de rétention pour le transformateur

#### ■ Portes

- Ouverture vers l'extérieur
- Serrure pouvant s'ouvrir de l'intérieur sans clé
- Cadenassable à l'extérieur

#### ■ Ventilation et conditionnement d'air

- Tout moyen pour éviter la condensation (arrivée d'air frais, chauffage...)
- Ventilation naturelle et mécanique si la ventilation naturelle est insuffisante

#### ■ Eclairage

- Normal : éclairage suffisant, éviter les zones d'ombre
- Naturel : baies protégées par du grillage située à une hauteur minimale de 2 m
- De sécurité : constitué par un ou plusieurs BAES (Bloc Autonome d'Eclairage de Sécurité) et un BAPI (Bloc Autonome Portable d'Intervention)

#### ■ Prise de courant

1 prise 2 P+T 16 A au minimum

#### ■ Mise à la terre des éléments métalliques

Tout ce qui est métallique doit être relié (circuit d'équipotentialité) par un fil en cuivre 6 mm<sup>2</sup>.

## Equipements d'un poste HTA-BT

### ■ Cellules

- Cellules d'arrivée
- Cellules de commandes et protection HTA
- Cellules de comptage
- Cellules protection BT



### ■ Transformateurs de puissance

#### Transformateur à huile



#### Transformateur sec



■ 1 inter-sectionneur BT



■ 1 circuit de terre en équipotentialité



Piquet de terre

■ Equipements de sécurité (voir pages suivantes)

⇒ 1 tabouret isolant HTA



⇒ 1 perche à corps



⇒ 1 éclairage de sécurité BAES ou BAPI



⇒ 1 VAT sur perche



⇒ gants isolants 20 KV



⇒ tenue vestimentaire non-propagateur de la flamme



⇒ casque isolant



**EPI**

⇒ 1 extincteur CO2



⇒ 3 fusibles de rechange



⇒ 1 tapis isolant (basse tension)



⇒ 1 défibrillateur(facultatif)



⇒ 1 rince œil (facultatif)





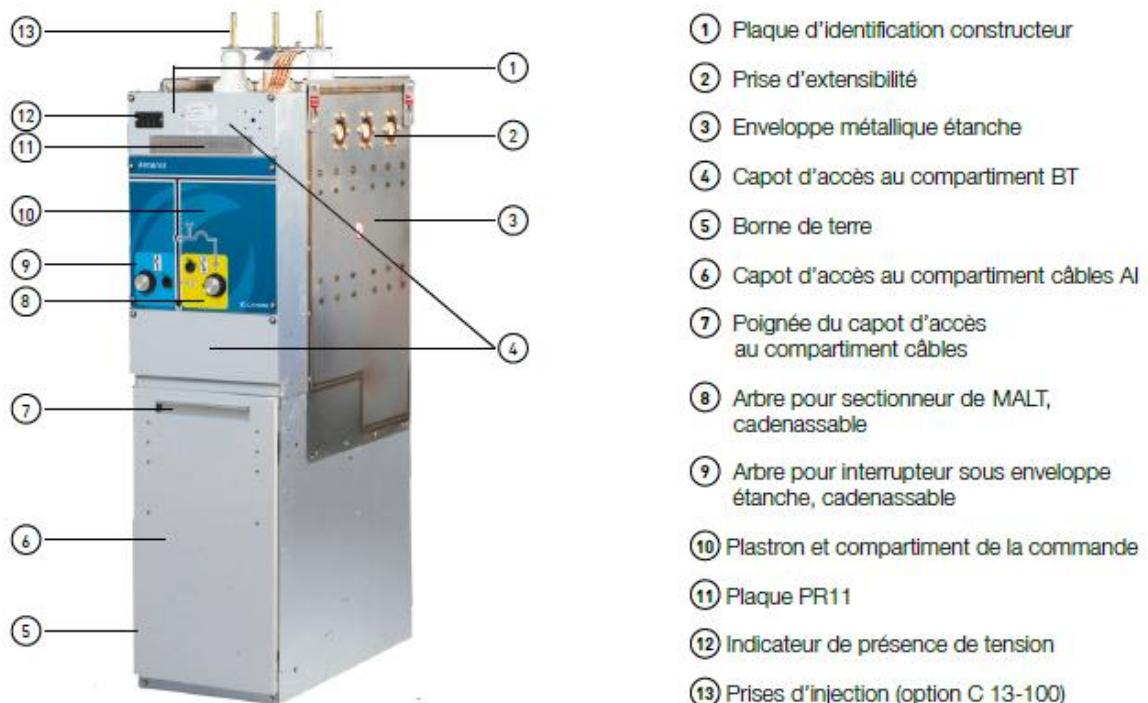
**Imexco**

## **CHAPITRE VIII**

### **CELLULES HTA**

## Qu'appelle-t-on une cellule HTA ?

Une cellule est une armoire métallique (en général) qui contient des organes de manœuvre (ouverture, fermeture d'un circuit) et/ou des organes de protection (fusibles ou disjoncteurs) ou des organes de comptage.



Une cellule est alimentée sous une tension de 15 000 V, 20 000 V ou 35 000 V.

Compte tenu de cette tension, tous les organes sont largement dimensionnés et réclament ainsi beaucoup d'espace. Aucune commune mesure avec la BT où une armoire peut contenir beaucoup d'éléments de commande et protection.

Le volume des cellules a été dimensionné pour recevoir les organes divers de la Haute Tension.

Les cellules HTA sont toujours positionnées en amont du transformateur de puissance.

## Fonction des cellules HTA

Les cellules ont différentes fonctions :

### 1/ Cellule arrivée interrupteur

Son rôle est d'assurer le raccordement entre les câbles du réseau MT et le jeu de barres du tableau par l'intermédiaire d'un interrupteur 3 positions (ouvert-fermé-mise à la terre).

Cette cellule permet notamment la réalisation des opérations d'exploitation suivantes : manœuvre d'ouverture/fermeture à vide ou en charge (exceptionnellement fermeture sur court-circuit).



### 2/ Disjoncteur départ barres

Son rôle est de réaliser la protection générale par disjoncteur de l'installation.

Cette cellule permet notamment la réalisation des opérations d'exploitation suivantes :

- mise à la terre et en court-circuit en aval et en amont du disjoncteur par sectionneur de mise à la terre,
- mesure du courant par jeu de transformateurs de courant montés en aval du disjoncteur et en amont du sectionneur aval de mise à la terre.



### 3/ Interrupteur fusibles associés

Son rôle est d'alimenter et de protéger par des fusibles le transformateur d'un poste MT/BT.

Cette cellule permet la réalisation des opérations d'exploitation suivantes :

- manœuvre d'ouverture/fermeture à vide ou en charge (exceptionnellement fermeture sur court-circuit),
- protection par fusibles du réseau MT amont contre les courts-circuits pouvant affecter le circuit dérivé jusqu'aux protections BT,
- mise à la terre et en court-circuit en aval et en amont des fusibles par sectionneur de mise à la terre.



### 4/ Cellule protection par disjoncteur



Son rôle est d'alimenter et protéger par un disjoncteur le transformateur HTA-BT.  
Tenue à l'arc interne : 12,5 kA pendant 0,7 seconde.  
Tension assignée 24 V.  
Coupure dans le gaz SF6.

## 5/ Interrupteur fusibles combinés

Son rôle est d'alimenter et de protéger par des fusibles le transformateur d'un poste MT/BT.

Cette cellule permet notamment la réalisation des opérations d'exploitation suivantes :

- manœuvre d'ouverture/fermeture à vide ou en charge,
- protection par fusibles du réseau MT amont contre les courts-circuits pouvant affecter le circuit dérivé jusqu'aux protections BT.
- mise à la terre et en court-circuit en aval et en amont des fusibles par sectionneur de mise à la terre.



## Regroupement de cellules

On regroupe les cellules qui ont chacune une fonction bien définie pour raccorder, alimenter, protéger le transformateur HTA.



## Marquage des cellules

Les cellules préfabriquées, ainsi que tous les matériels et dispositifs de manœuvre, doivent être munis de plaques signalétiques et clairement lisibles et doivent contenir les renseignements ci-après, et ce, conformément à l'article 5,10 de la norme CEI 62271-200 :

- le nom du constructeur ou la marque
- la référence et le type
- le numéro de série
- la date de fabrication
- valeurs assignées applicables des courants et pouvoirs de coupure
- tension assignée  $U_r$  (kV)
- tension de tenue assignée aux chocs de foudre
- tension de tenue assignée à fréquence industrielle
- fréquence assignée  $f_r$  (Hz)
- le numéro de la norme de référence

### Exemple :

Les cellules SM6 sont identifiées par un symbole comprenant :

- la désignation de la fonction, donc du schéma électrique: **IM, PM, QM, DM1, CM, DM2 ...**
- l'intensité assignée de l'appareil: **400 - 630 - 1 250 A**
- la tension assignée : **7,2 - 12 - 17,5 - 24 kV**
- les valeurs maximales des courants de courte durée admissibles: **12,5 - 16 - 20 - 25 kA**

#### **exemple**

Cellule SM6 : **IM 400 - 24 - 12,5**

- **IM** désigne une cellule "arrivée" ou "départ" par interrupteur sans TC.
- **400** désigne le courant assigné (400 A)
- **24** désigne la tension assignée (24 kV)
- **12,5** désigne le courant de courte durée maximal admissible (12,5 kAeff - 1s)

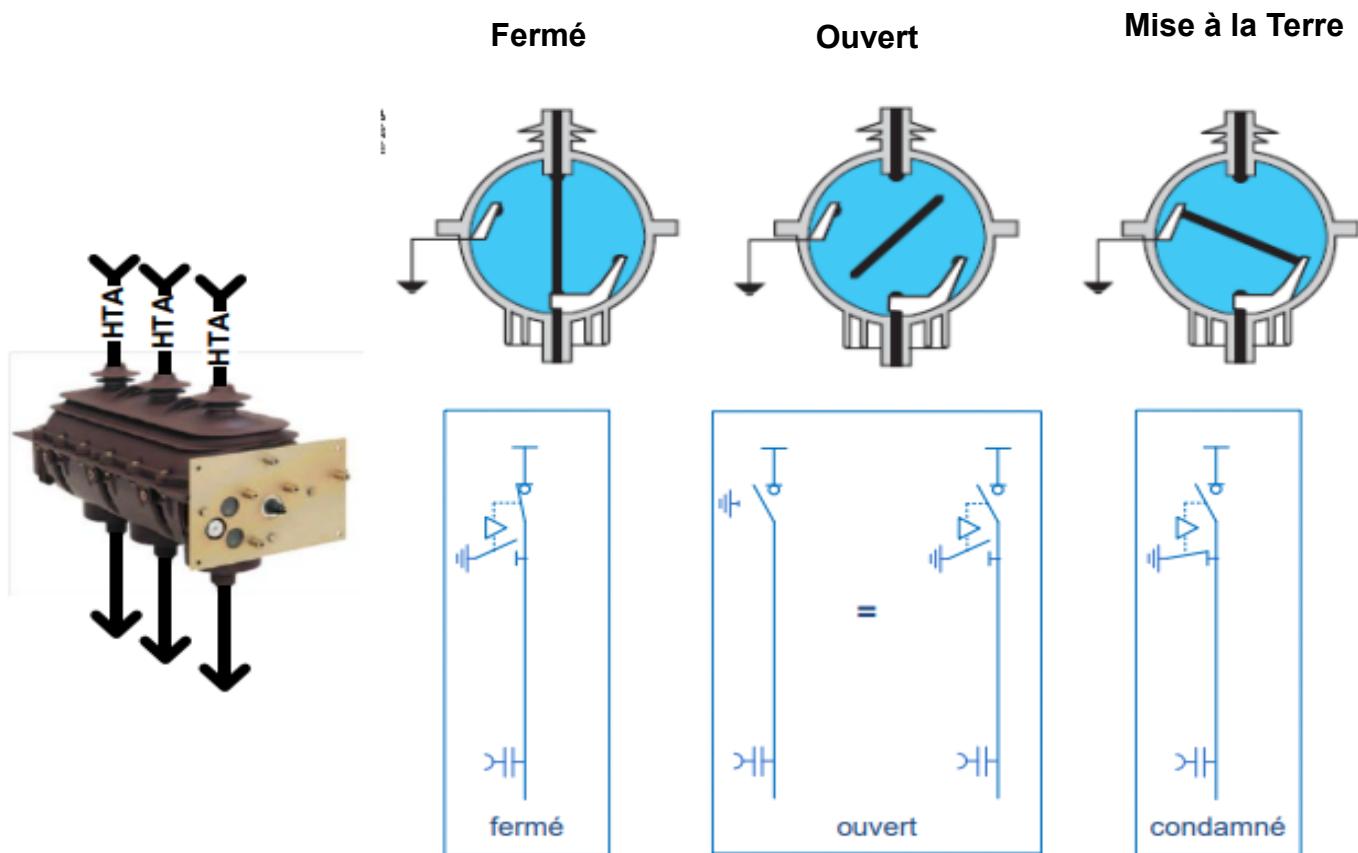
## Dispositifs de sécurité

### 1/ Système de fermeture des cellules :

L'accès à l'intérieur (pour maintenance ou VAT) ne se fait que par une porte ou un capot qui est toujours condamné, et ne peut s'ouvrir que lorsque le circuit est ouvert et la Mise à la Terre et court-circuit effectués.

### 2/ Verrouillage :

La fermeture du sectionneur de Terre ne se fait que lorsque l'interrupteur est ouvert. L'interrupteur a 3 positions : Fermé, Ouvert, Mise à la Terre





**Imexco**

## **CHAPITRE IX**

### **TRANSFORMATEUR LIVRAISON HTA-BT**

## Le transformateur de puissance HTA-BT



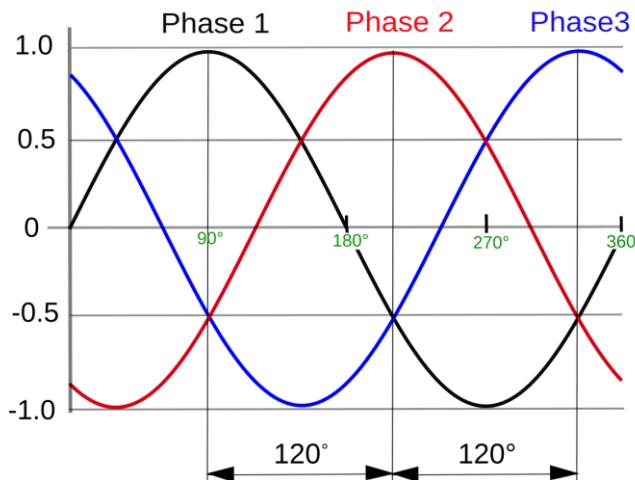
IX – I Courant triphasé sinusoïdal

IX – II Puissance apparente – Puissance active – Puissance réactive

IX – III Le transformateur HTA-BT

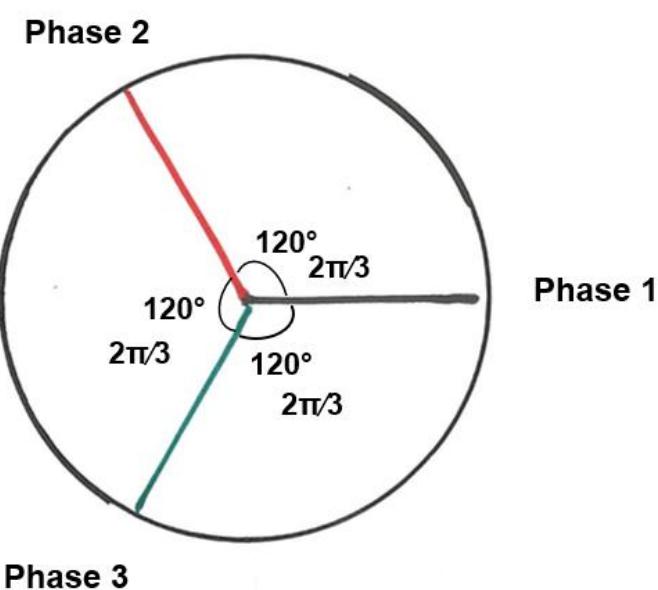
## IX-1 Courant triphasé sinusoïdal

Pourquoi le transformateur est-il alimenté en courant triphasé dont les 3 phases sont espacées dans le temps de  $2\pi/3$  soit  $120^\circ$ .



Graphique des trois tensions de même fréquence/amplitude et déphasées de  $120^\circ$ .

Nota : La sinusoïde est la projection sur l'axe des sinus du vecteur « amplitude ».

**Représentation vectorielle**


Les 3 tensions simples (phase neutre) représentées par des vecteurs sont décalés de  $2\pi/3$  radians.

Ces grandeurs s'écrivent :

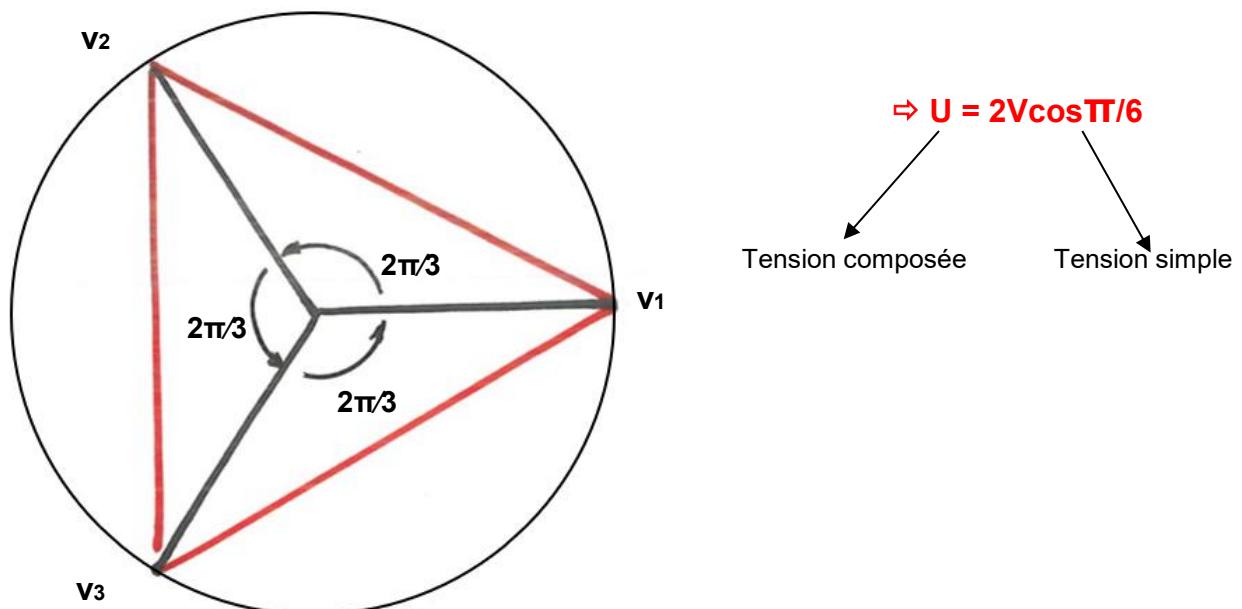
$$\begin{aligned}v_1 &= V_1 \sin(\omega t + \varphi_1) \\v_2 &= V_2 \sin(\omega t + \varphi_1 - 2\pi/3) \\v_3 &= V_3 \sin(\omega t + \varphi_1 - 4\pi/3)\end{aligned}$$

Ces 3 grandeurs passent par 0 dans l'ordre 1.2.3.

Les 3 tensions composées (entre phases) s'écrivent  $U_{12}$  ;  $U_{23}$  ;  $U_{31}$  s'écrivent :

$$\begin{aligned}U_{12} &= v_1 - v_2 \\U_{13} &= v_2 - v_3 \\U_{31} &= v_3 - v_1\end{aligned}$$

### Triangle de Fresnel



## ➤ L'intérêt du courant triphasé

1°) 3 câbles suffisent pour transporter le courant. Le neutre est recréé au secondaire du transformateur.

Si le régime est équilibré, la somme des 3 courants est nulle. On fait l'économie d'un câble sur cette longue distance.

2°) Un alternateur triphasé a un meilleur rapport poids/puissance et un meilleur rendement.

3°) La puissance fluctuante (lorsque le circuit contient une charge inductive ou capacitive de fréquence double de la fréquence du réseau 50 hertz) est annulée à partir d'un système diphasé au minimum.

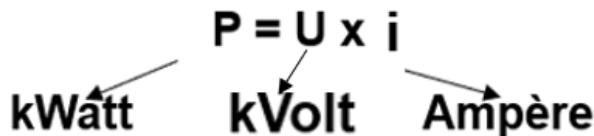
## IX-2 Puissance apparente - Puissance active – Puissance réactive

Un transformateur est caractérisé par la puissance apparente exprimée en kVA (KILOVOLTAMPERE).

Pourquoi ??

⇒ En courant continu, la puissance exprimée en kilowatt est égale au produit de la tension par l'intensité soit :

$$P = U \times i$$



⇒ En courant alternatif le calcul de la puissance va tenir compte des récepteurs branchés sur le circuit soit :

- Des résistances pures (fil incandescent)
- Des inductances (bobines des moteurs)
- Des condensateurs (ballastes des tubes fluos)

Ces 3 récepteurs sont le plus souvent combinés ensemble.

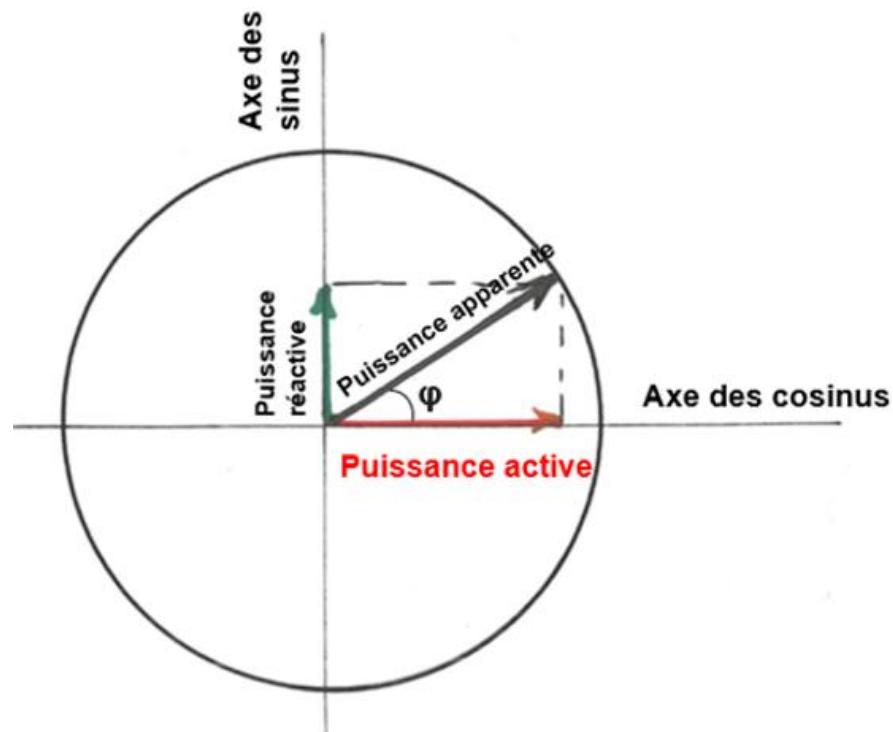
Le problème vient du fait que les inductances et les condensateurs ne développent pas de puissance, donc ne sont pas facturés par le fournisseur d'énergie et pourtant ils consomment du courant !

Seule la projection du vecteur exprimant la puissance totale fournie par le fournisseur d'énergie sur l'axe des cosinus sera facturée.

Cette projection s'appelle la PUISSANCE ACTIVE.

Puissance active = Puissance apparente  $\times \cos\phi$

$\phi$  = déphasage entre le courant et la tension.



$$P_{\text{active}} = P_{\text{apparente}} \cos \varphi$$

La puissance active s'exprime en WATT

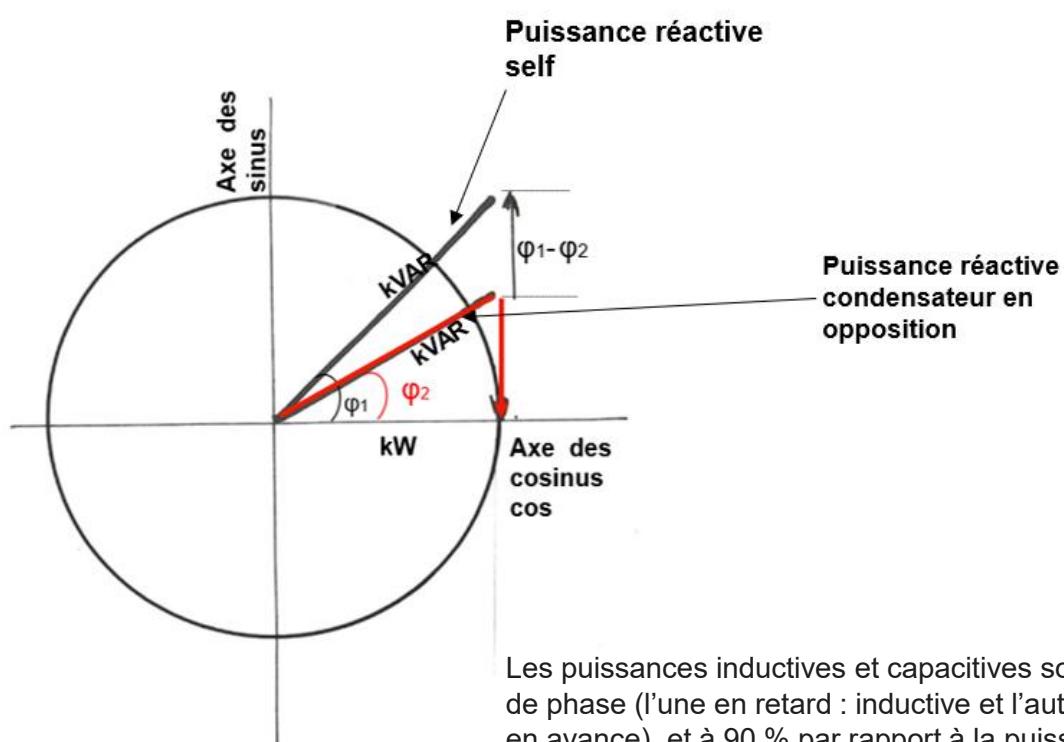
La puissance active est la projection du vecteur de la puissance apparente sur l'axe des sinus.

$$P_{\text{réactive}} = P_{\text{apparente}} \times \sin \varphi$$

**La puissance apparente s'exprime en VA**

**La puissance réactive s'exprime en VAR**

**La puissance active s'exprime en WATT**



Les puissances inductives et capacitives sont en opposition de phase (l'une en retard : inductive et l'autre capacitive : en avance) et à 90 % par rapport à la puissance active.

La puissance active est égale à la puissance apparente  $\cos(\varphi_1 - \varphi_2) = \cos\varphi$

Le fournisseur d'énergie fournissant la puissance apparente, mais ne facturant que la puissance active impose au client consommateur une valeur minimum du  $\cos\varphi$ .

## IX-3 Le transformateur HTA-BT 20 000 V - 400 V

### IX-3-1 Présentation

2 types de transformateurs HTA-BT

#### 1)° Transformateur sec



##### Rôle :

C'est un transformateur qui abaisse ou augmente la tension et qui fait une isolation galvanique entre le primaire et le secondaire

##### Avantages :

- très résistant
- peu de maintenance
- moins de risque d'incendie
- moins de risque de pollution

##### Inconvénients :

- bruyant
- déperdition d'énergie
- durée de vie plus faible
- coût plus important

## 2°) Transformateur à huile

Avantages :

- moins cher que le transformateur de type sec
- meilleure capacité de surcharge
- niveau de tension plus élevé
- meilleur refroidissement pour la circulation de l'huile minérale isolante
- meilleure résistance à la poussière et à l'humidité

Inconvénients :

- risque d'incendie élevé et d'explosion
- risque de fuite du diélectrique
- aspect moins didactique car on ne voit rien des bobinages

**IX-3-2 Principe général**

Le principe du transformateur électrique est basé sur la loi Faraday (physicien chimiste anglais 1791 – 1867)

$$e = \frac{d\Phi}{dt}$$

force électromotrice en volt

variation de flux magnétique

espace de temps

Une bobine alimentée se comporte comme un aimant permanent : mêmes lignes d'induction magnétique  $\vec{B}$

**N** : nombre de spires

**i** : intensité

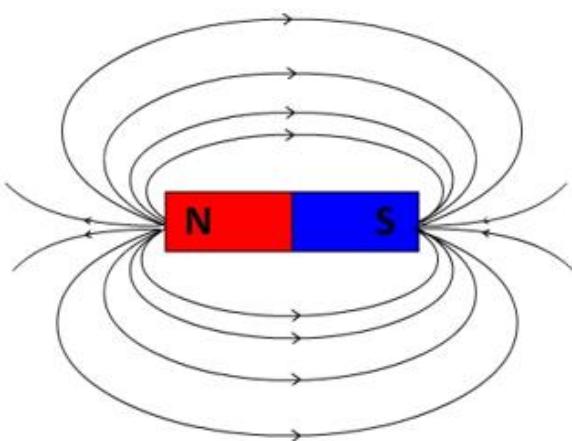
**L** : longueur de la bobine

**$\mu$**  : perméabilité dans le vide

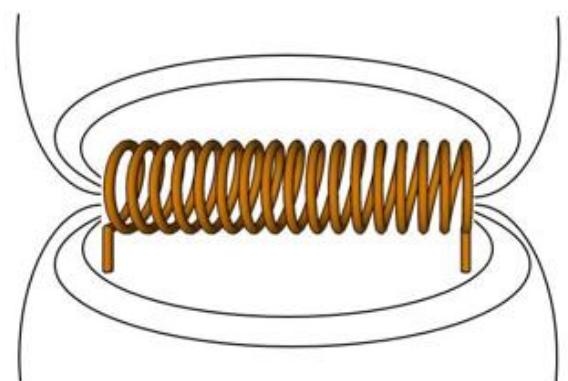
$$\mu_0 = 4\pi 10^{-7}$$

$$\vec{B} = \mu_0 \frac{Ni}{L}$$

Aimant permanent en fer doux



Bobine (self)



### Lignes de champ magnétique

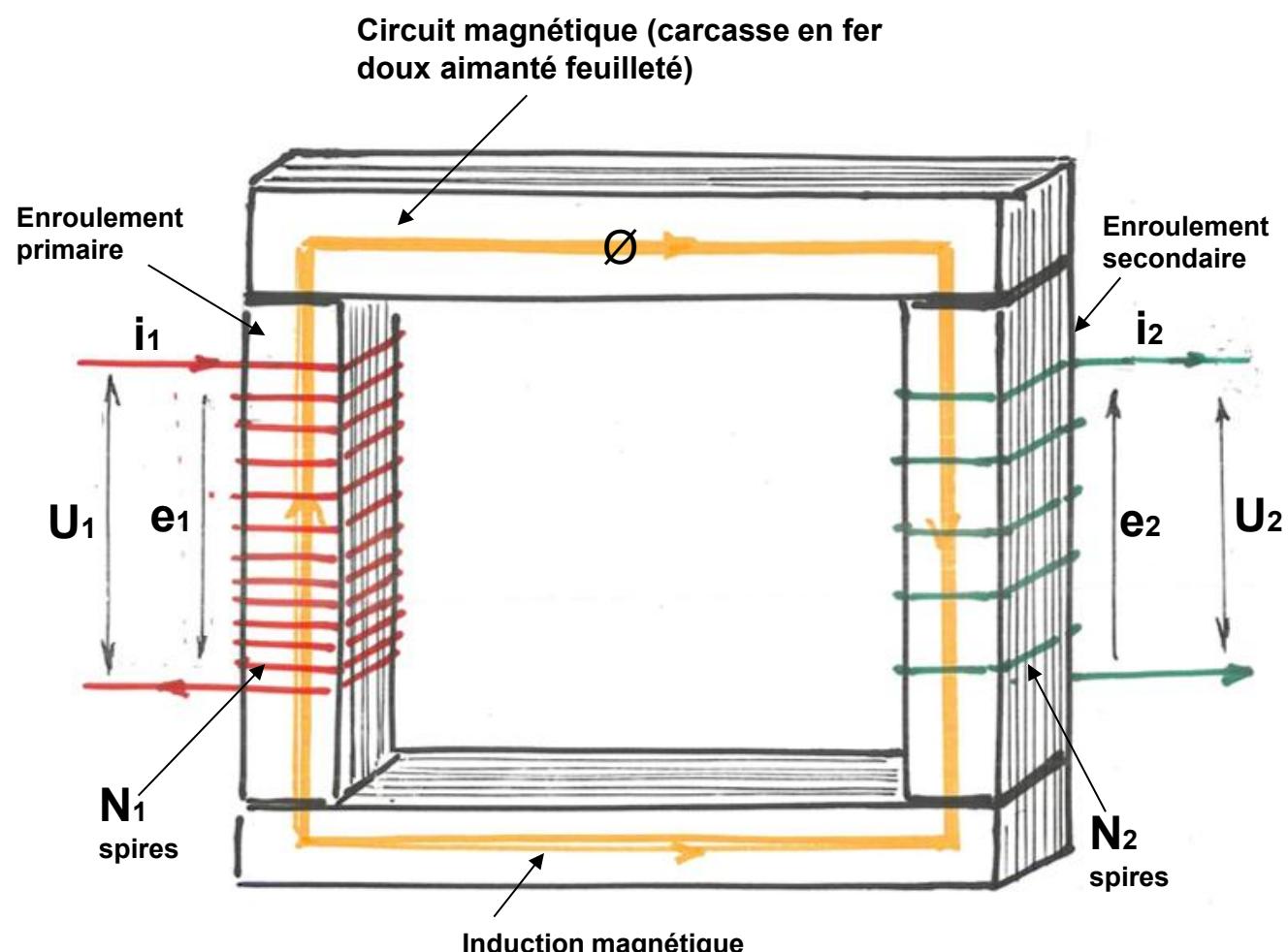
→ B : intensité du champ magnétique s'exprime en **TESLA**.

$$\Phi = B \times S$$

Flux → Surface soumise au champ  
 → Induction

Le flux magnétique est le produit de l'induction magnétique et par la surface traversée.

## IX-3-3 Principe du transformateur



Dans un transformateur, on met en présence 2 bobines appelées primaire et secondaire. Le flux magnétique alternatif de la bobine primaire alimenté en tension sinusoïdale enrobe la 2nde bobine secondaire.

Le flux magnétique engendre une tension dans la bobine secondaire.

**Loi de Faraday :**

$$e = \frac{d\Phi}{dt}$$

← Volt

Cette tension appelée **FEM**, force électromotrice, est proportionnelle à la variation de fréquence du primaire et au nombre de spires de la bobine du secondaire.

Notons que cette FEM s'oppose à la variation du champ magnétique qui l'a créé (loi de Lenz).

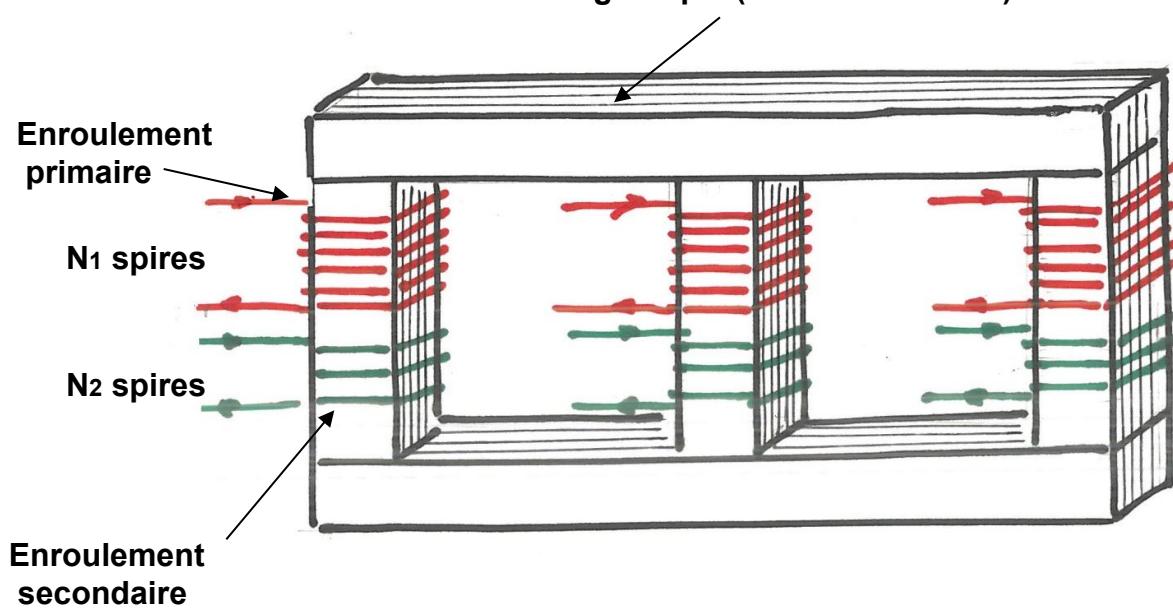
Un transformateur comporte 3 éléments :

- 1 bobine primaire
- 1 bobine secondaire
- 1 carcasse en fer doux (tôles magnétiques à cristaux orientés) pour canaliser toutes les lignes de champ afin d'optimiser le coefficient de rendement (diminution des pertes fer).



### Transformateur triphasé

#### Circuit magnétique (fer doux feuilleté)



Rapport de transformation K :

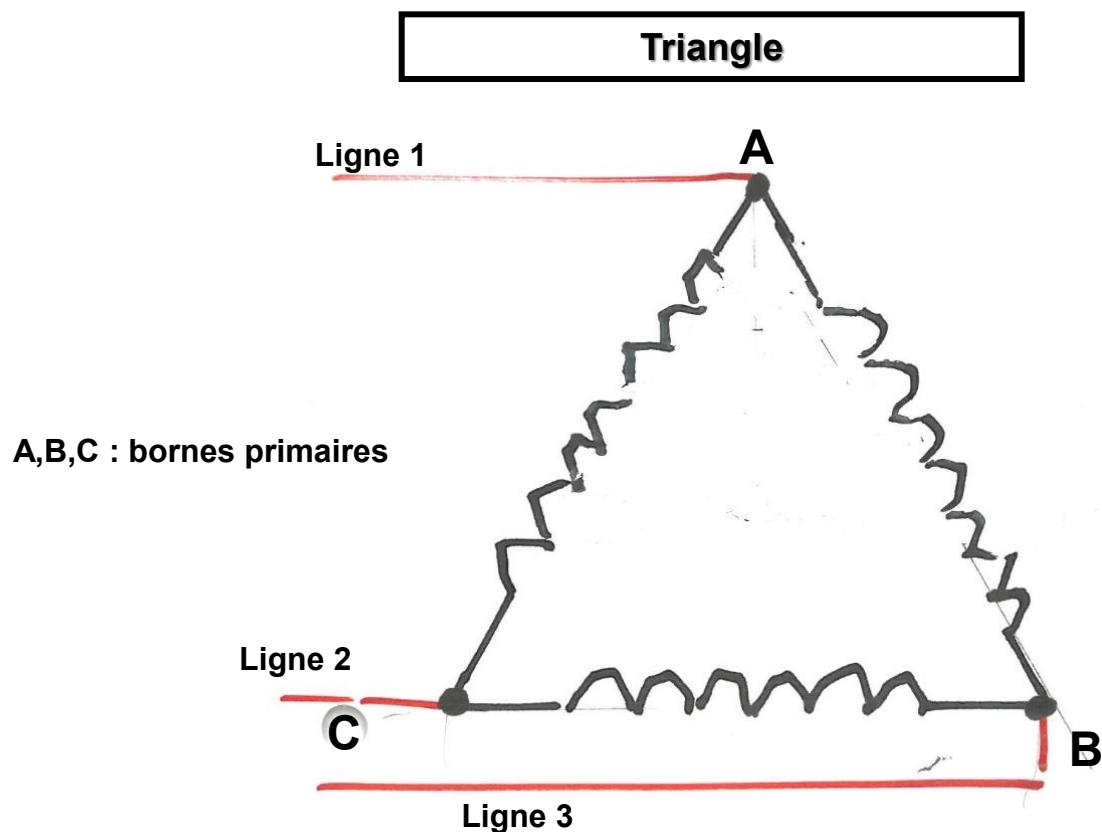
$$K = \frac{U_s}{U_p} \quad K = \frac{N_s}{N_p} \quad K = \frac{i_p}{i_s} \quad K = \frac{Z_1}{Z_2} = \left( \frac{N_s}{N_p} \right)^2$$

Rendement de puissance :

$$\eta = \frac{P_s}{P_p} \approx 0,9 \quad \text{en général}$$

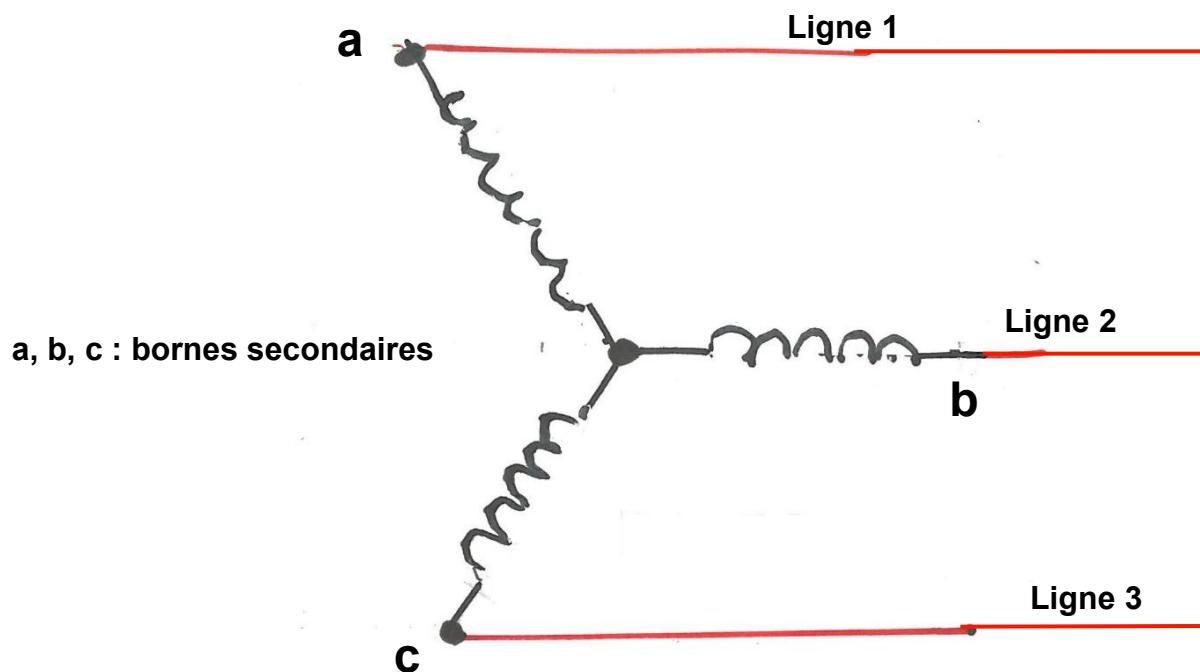
### IX-3-4 Couplage des enroulements des bobines primaires et secondaires

■ Au primaire enroulement



■ Au secondaire enroulement

**Etoile  
Symbole Y**



**Indice horaire**

L'indice horaire représente le déphasage entre la tension secondaire et la tension primaire entre bornes homologues aA, bB, cC. Cet indice horaire est nécessaire à connaître pour le couplage entre transformateurs.

On rencontre souvent dans les transformateurs HTA-BT des couplages s'écrivant :



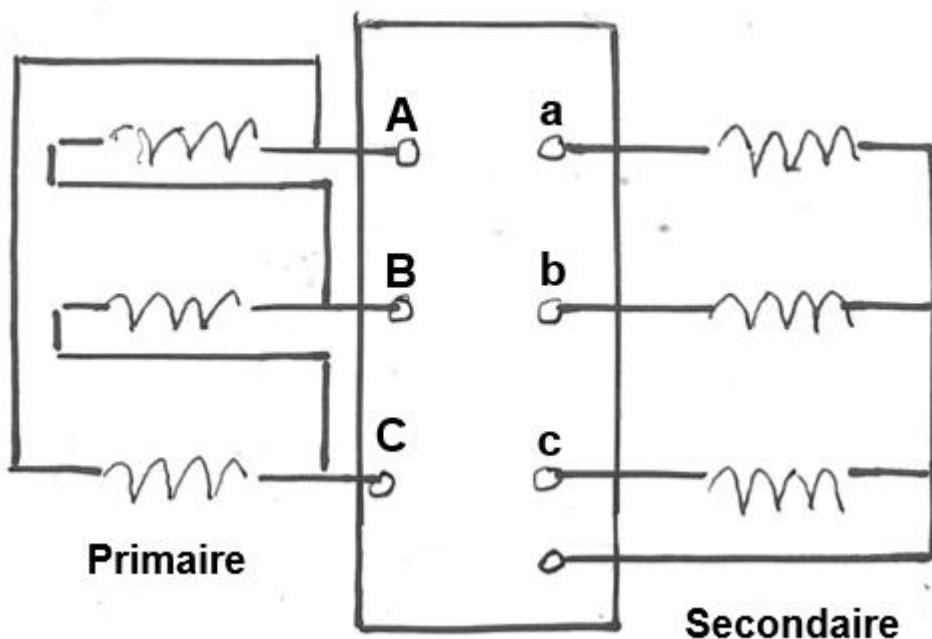
Explication :

D : primaire, bobines reliées en triangle

Y : secondaire : bobines reliées en étoile

N : neutre sortie

Déphasage  $\Phi$  = retard d'une tension BT sur son homologue HT.



A

11h

a

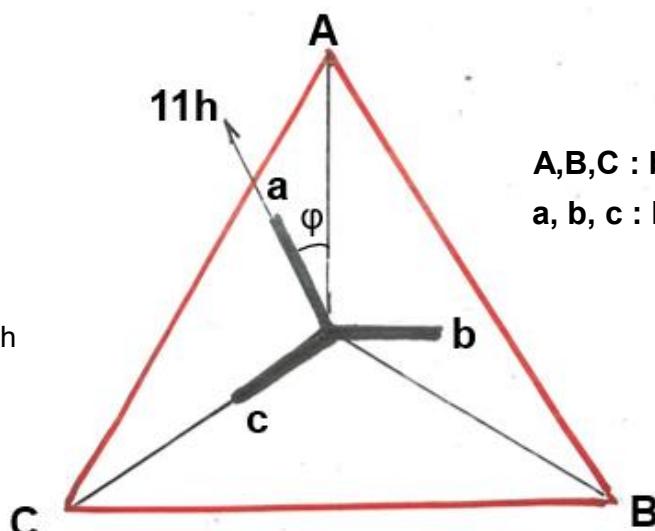
$\Phi$

c

A, B, C : bornes primaires  
a, b, c : bornes secondaires

Vecteur A : vertical

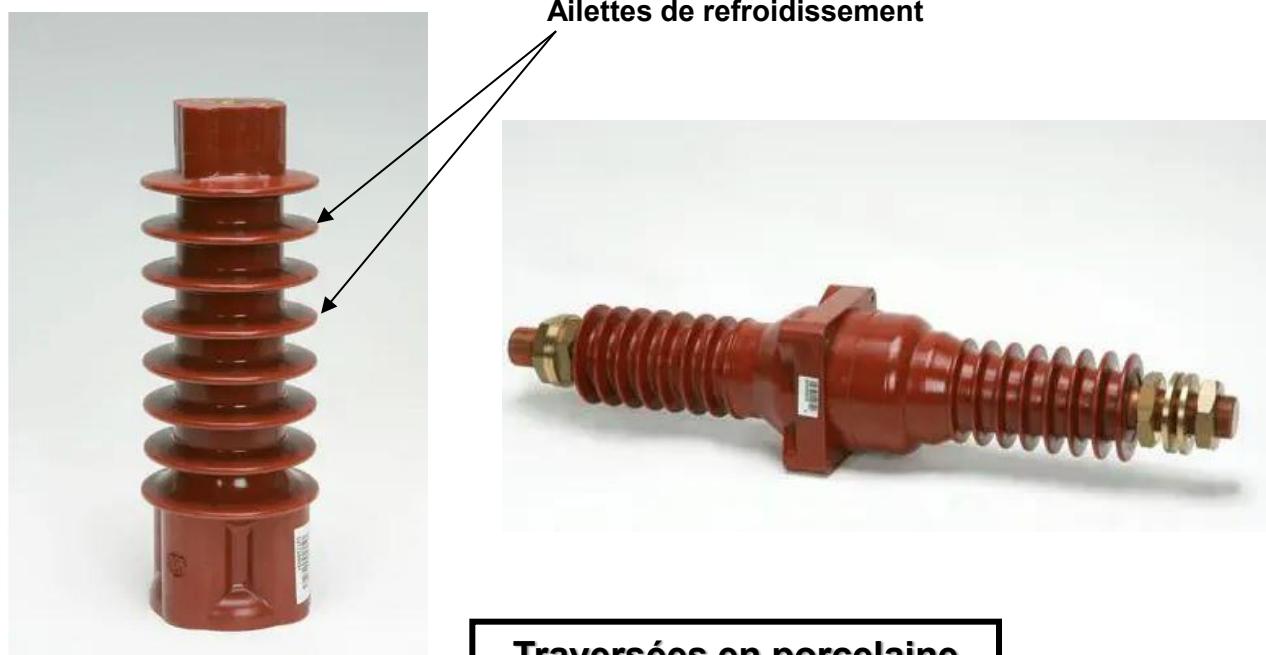
Vecteur a : positionné à 11h



- Le triangle représente le couplage au primaire
- L'étoile représente le couplage au secondaire

Triangle de Fresnel

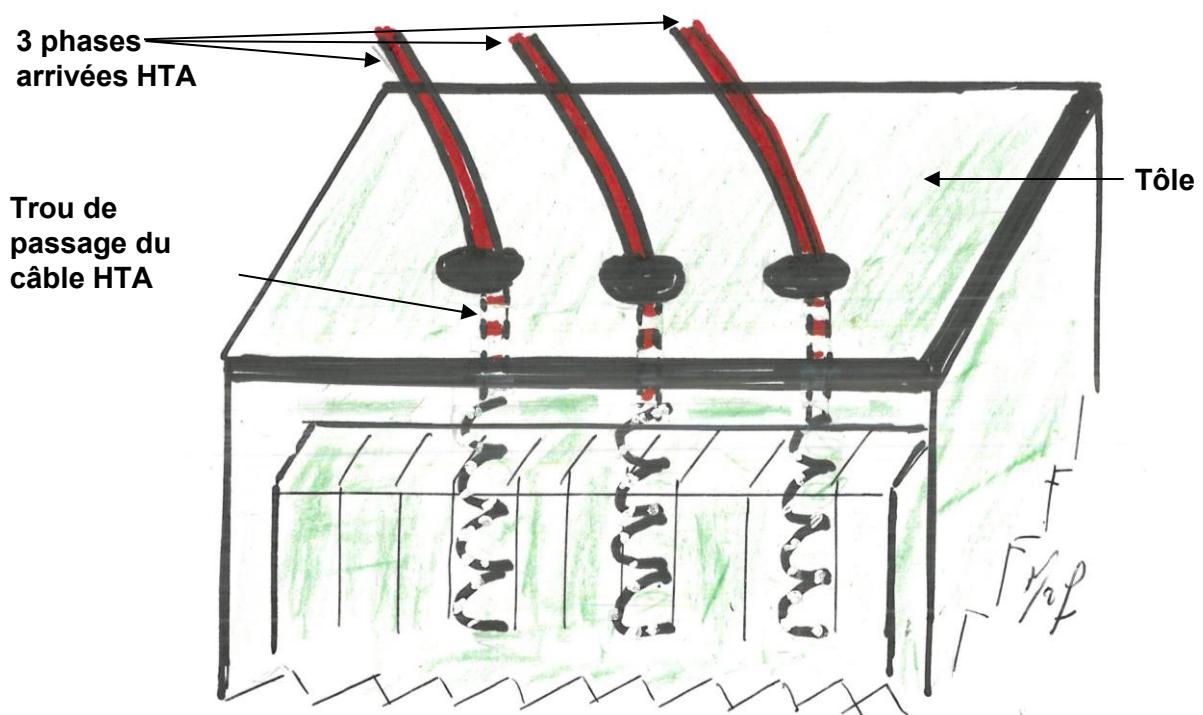
### IX-3-5 Les traversées (Busching)



#### Traversées en porcelaine

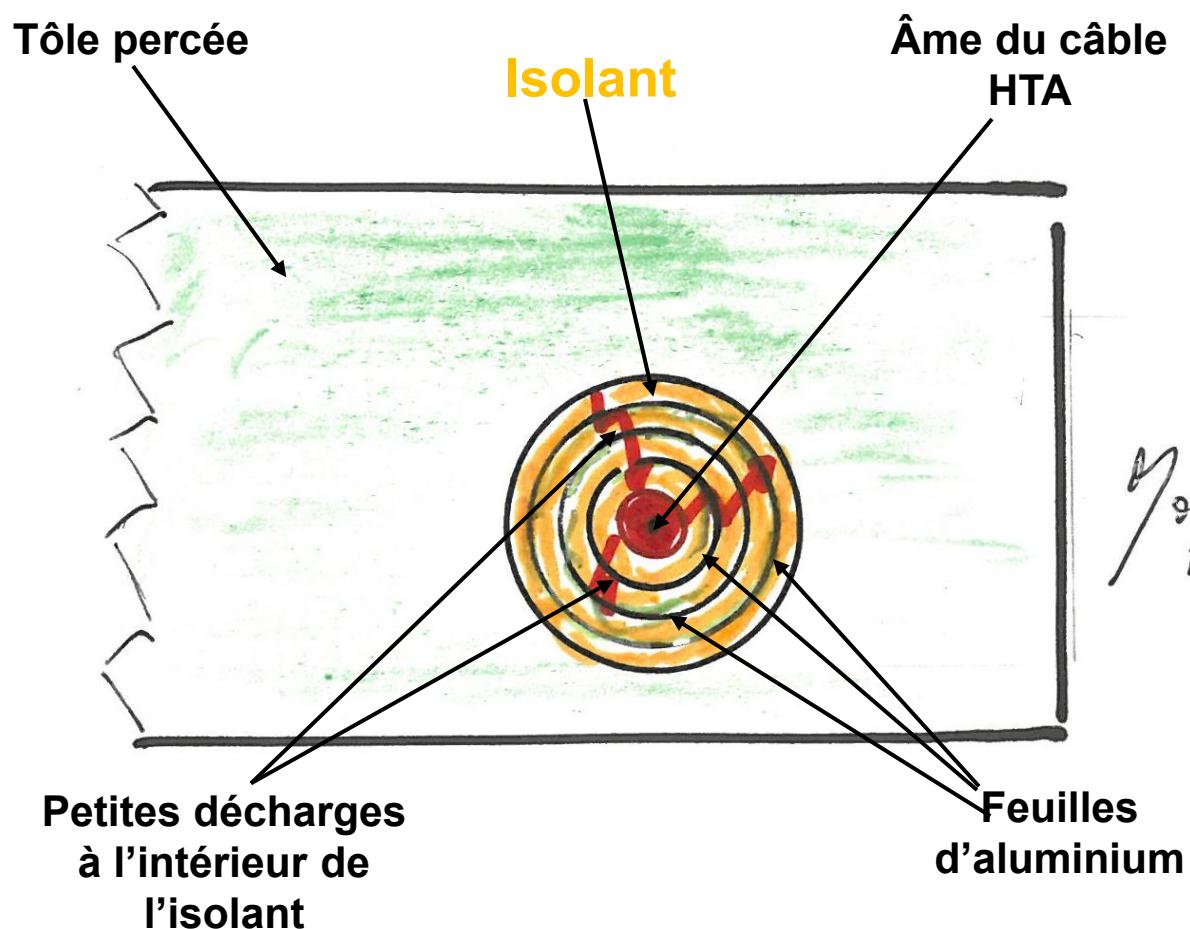
Les 3 câbles d'arrivées du réseau de distribution du fournisseur d'énergie électrique sont sous une tension alternative de 15 kV à 20kV généralement.

Ces câbles doivent être reliés aux 3 bobines primaires HT en traversant la tôle du transformateur qui est au potentiel 0 (potentiel de la terre).



#### Transformateur

Il y a donc une différence de potentiel (ddP) de  $(20\ 000 - 0) = 20\ 000$  volts entre le câble HT et la tôle.



Problème : Comment éviter une décharge entre le conducteur et la tôle du transformateur ?

Au centre de la traversée (où est positionné le conducteur) on a un champ électrique le plus élevé qui va décroître avec l'éloignement

$$E = - \frac{dv}{dL}$$

$L$  : distance par rapport au centre de la traversée (le champ électrique est la dérivée de la tension).

Pour mieux équilibrer ce champ électrique à l'intérieur de la traversée et soulager ainsi la valeur des performances du matériau isolant, on va introduire des feuilles d'aluminium par couches concentriques, faisant office d'armatures de condensateurs d'espacement et de longueur différentes séparées par des feuilles d'isolant. On obtient ainsi un champ électrique radial constant à condition que toutes les capacités en parallèle aient une valeur constante.

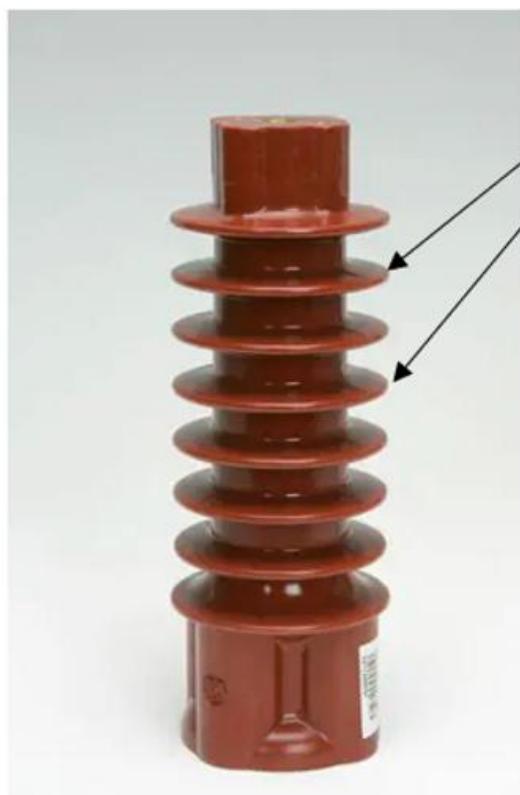
#### ■ L'isolant intérieur

Historiquement le papier était imprégné d'huile, chauffé sous vide dans un bain d'huile, mais aujourd'hui l'huile est remplacée par la résine (époxy) en utilisant la même technique.

**NB :** On utilise dans les traversées à très haute tension un gaz isolant SF6.

#### ■ L'isolant extérieur

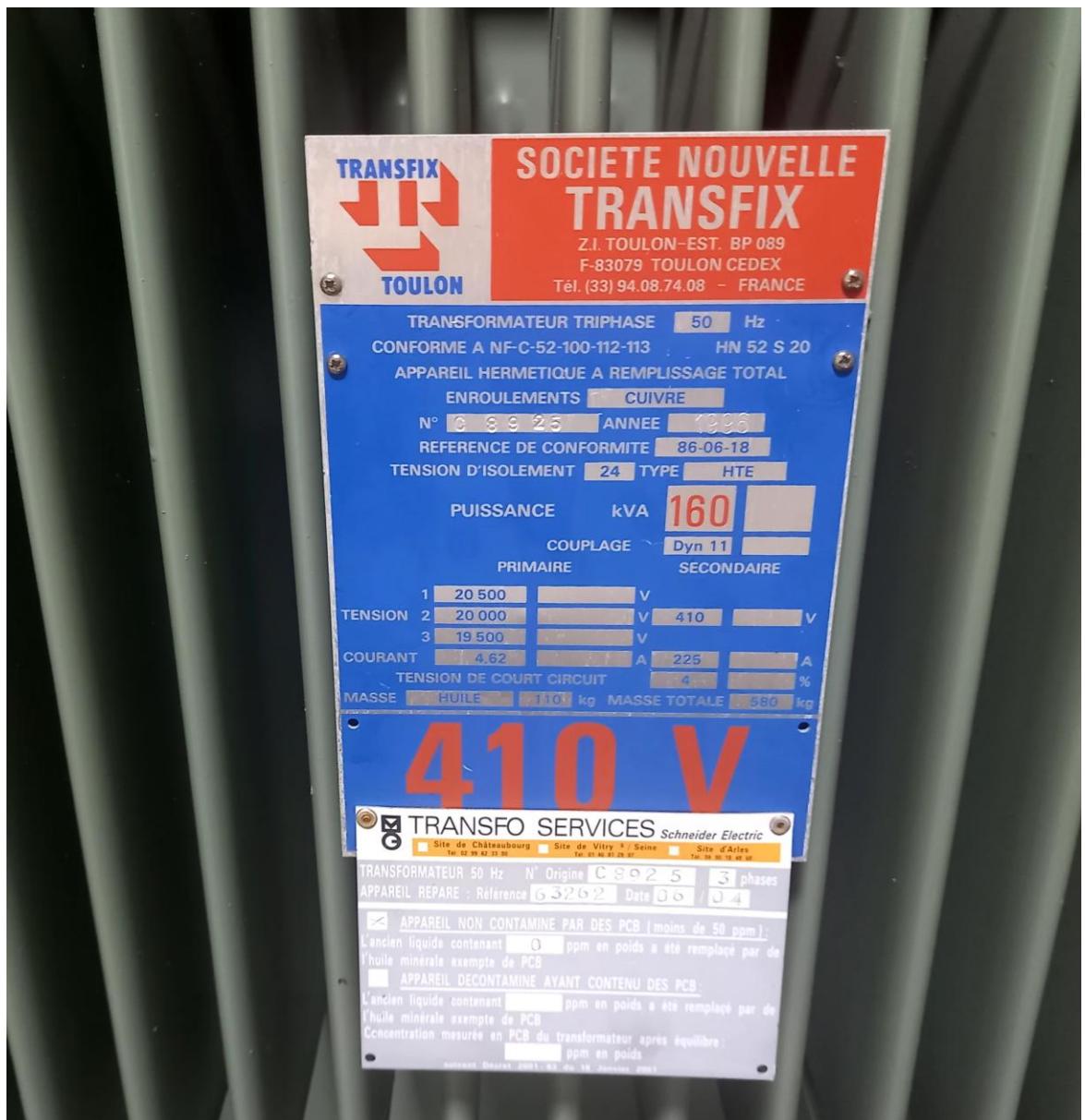
L'isolant extérieur est réalisé en porcelaine et plus récemment en silicium qui a des meilleures propriétés plus larges et hydrophobes. Pour améliorer la qualité diélectrique de l'isolant, on augmente la longueur avec des ailettes.



**Ailettes de refroidissement**

**Traversée en porcelaine**

## IX-3-6 Plaques signalétiques des transformateurs HTA





**Imexco**

## **CHAPITRE X**

# **CONSIGNATION D'UN POSTE HTA-BT**

Les prescriptions de sécurité concernant les opérations de consignation, figurent dans le fascicule IMEXCO « Opérations d'ordre électrique » chapitre VI page 35 à 45.

L'objet de ce chapitre X est de préciser dans le cas d'un poste de distribution HTA-BT l'ordonnancement des différentes opérations tant en BT qu'en HTA qui constituent l'ensemble des opérations à réaliser obligatoirement pour pouvoir certifier la consignation.



L'ordre des opérations suivantes doit être respecté :

1°) Couper toutes les énergies en BT

2°) Consigner la partie BT au disjoncteur général DGBT ou à l'AGCP en réalisant les 5 opérations :

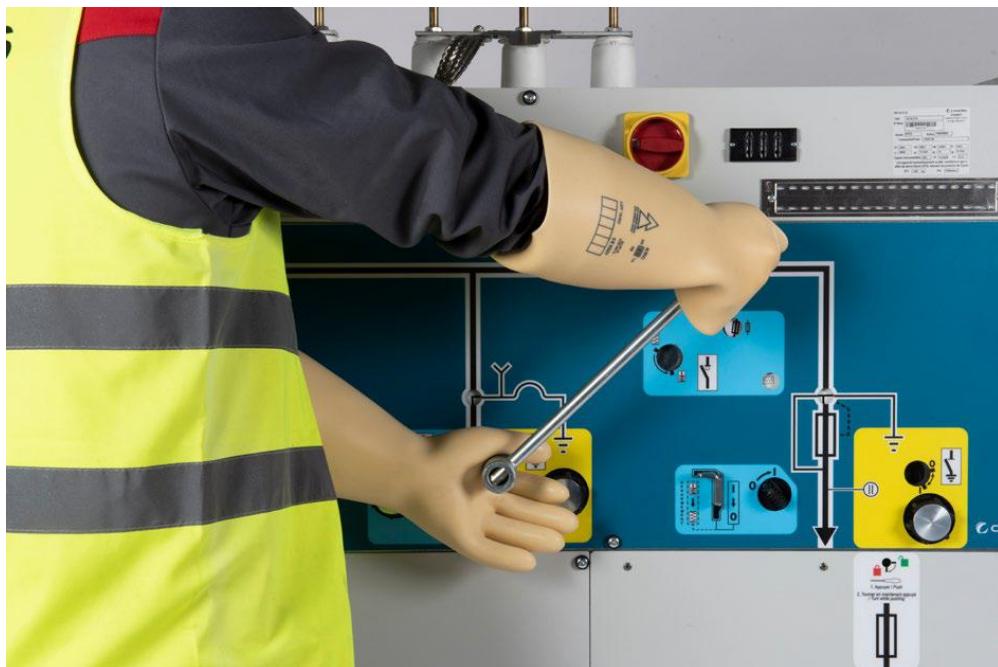
- Séparation
- Condamnation
- Identification
- VAT
- MALT et CC



3°) Consigner l'interrupteur sectionneur installé directement sur le câble BT à la sortie du transformateur en réalisant les 5 opérations de la consignation.

**!! Cette prescription de sécurité est obligatoire ! Cette consignation est essentielle car c'est la seule qui permet d'affirmer que le secondaire du transformateur est coupé de l'alimentation BT du bâtiment. N'oublions pas qu'un transformateur HTA-BT est réversible et devient BT-HTA 400 V en BT le transformateur en 20 000 volts !**

4°) Procéder aux manœuvres d'ouverture et de mise à la terre et en court-circuit sur la (les) cellules d'arrivée et de protection et condamner.



5°) Procéder à la VAT HT avec la perche munie de la VAT. Procéder à cette vérification sur les phases HTA en amont et avec chaque fusible.



6°) Remplir l'attestation de consignation ACT

ATTESTATION DE CONSIGNATION POUR TRAVAUX N°		
<b>A la demande du :</b> <input type="checkbox"/> Chargé d'exploitation <input type="checkbox"/> Chargé de chantier (l'Opérateur) <input type="checkbox"/> Chargé de travaux Nom ..... Fonction : ..... Habilitation .....		
<b>Le Chargé de consignation :</b> Nom ..... Fonction : ..... Habilitation ..... Certifie qu'il a réalisé la consignation sur l'installation suivante : ..... ..... afin que l'Opérateur puisse réaliser les opérations précisées ci-dessous : ..... ..... 		
L'Opérateur doit considérer que toutes les installations électriques à l'extérieur de l'emplacement désigné ci-dessus sont restées sous tension.		
<b>Observations particulières</b> ..... 		
<b>Avis de fin de travail au plus tard le</b> ..... à ..... h .... min		
<b>Attestation délivrée le</b> ..... à ..... h ..... min		
<b>Le Chargé de consignation</b> Signature	<b>L'Opérateur</b> Signature	

## Essentiel !!!

Pour toutes les opérations, utiliser en permanence les EPI et EPC suivants :

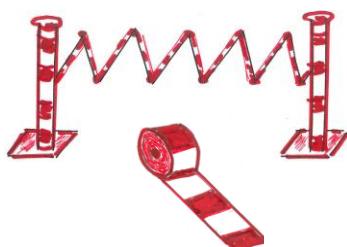
- Casque isolant
  - Vêtement non-propagateur de la flamme
  - Gants isolants
  - Tabouret isolant
  - Perche isolante
  - Baliser en zones

et la **Z3** zone de voisinage pour tension ZTST dans le cas où il y a des pièces nues sous tension.

Nota : La procédure de la consignation en 2 étapes est décrite dans la Norme NF C 18-510 reprise dans le fascicule IMEXCO. L'ordre des opérations est strictement le même.

## Déconsignation :

Les opérations doivent se dérouler exactement dans l'ordre inverse avec les mêmes personnes si possible.





**Imexco**

## **CHAPITRE XI**

# **RISQUES D'ACCIDENTS AVEC LA HAUTE TENSION ET PRESCRIPTIONS DE SECURITE**

**Nota :** On n'étudiera pas les risques éventuels concernant les ondes électromagnétique sur les personnes vivant à proximité des lignes HT.

En effet, d'une part les prescriptions de sécurité s'adressent aux opérateurs dans le cadre du code du travail, d'autre part, nous ne sommes pas compétents pour juger l'existence et la nature de ces risques pour le public.

Nous analyserons particulièrement :

- 1°) Les risques concernant les lignes électriques et les postes HTB de transformateurs ouverts
- 2°) Les risques concernant les postes de transformateurs HTA-BT
- 3°) Les risques dans une cellule

### **En Haute Tension il y a 2 types d'accidents.**

Il s'agit d'accidents concernant les personnels intervenant sur les réseaux de transport et de distribution.

Les conséquences sont toujours des brûlures corporelles.

#### ❖ Brûlures par arc-flash

Le courant électrique ne traverse pas le corps.

- La température est de l'ordre de milliers de degrés, les parties du corps découvertes sont gravement brûlées, surtout le visage et les yeux.

#### ❖ Brûlures électro-thermiques

Le courant électrique traverse le corps.

- L'énergie thermique dégagée est énorme

Les brûlures sont toujours très graves, avec séquelles fonctionnelles et souvent mortelles.

### **COMPLICATIONS DES ELECTRISATIONS EN HAUTE TENSION**

Complications	Pourcentage
Amputation des extrémités	22%
Amputation des doigts	14%
Lésions musculaires profondes	29%
Brûlures des vêtements	24%
Apparition d'escarres	12%
Fasciotomie	12%
Chirurgie canal carpien	17%
Perte de conscience	14%
Arrêt cardiaque	7%
Sepsis	3%

### 1°) Risques concernant les lignes HT

#### ■ Lignes aériennes sous pylônes

Le risque principal est la production d'un arc si on s'approche près d'une ligne HT. En effet, étant soi-même sur le sol qui est au potentiel 0, si on s'approche d'une ligne HT à 63 000 volts par exemple, la ddP (différence de potentiel) est énorme. L'épaisseur de l'air qui est un isolant n'est peut-être pas suffisante pour empêcher les électrons de traverser et venir foudroyer la personne imprudente.

#### Prescriptions de sécurité

Approche :

Pas moins de 3 m pour les lignes inférieures à 50 kV

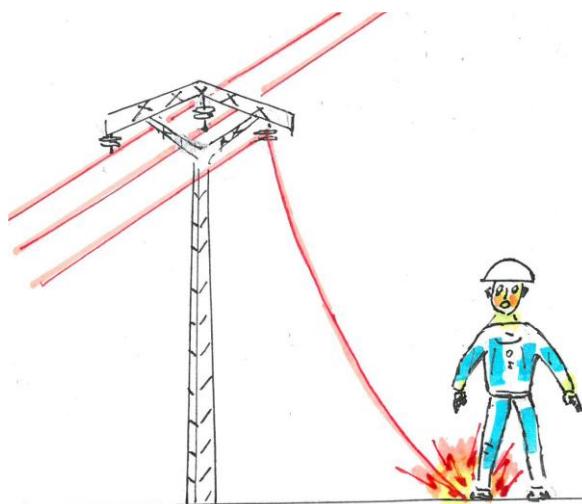
Pas moins de 5 m pour des lignes supérieures à 50 kV

#### ■ Lignes tombées au sol

Si une ligne par suite d'un accident tombe et touche le sol, elle produit un court-circuit avec le sol.

#### Prescriptions de sécurité

Ne pas s'approcher à moins de 10 m.



Ne pas toucher une personne qui est en contact avec une ligne !

### 2°) Risques dans un poste HTA

#### ■ Risque dû au transformateur

Le risque le plus courant est dû soit à un arc dans la traversée, soit une surtension ou surintensité dans les bobinages entraînant une augmentation de chaleur provoquant un court-circuit et un incendie.

### Prescriptions de sécurité

- Entretien scrupuleux et régulier du transformateur
- Vérification de l'isolant par des tests adaptés
- Respecter les prescriptions de sécurité concernant les consignations avec Mise à la Terre et en court-circuit
- Respecter les prescriptions de la Norme NF C 18-510 pour la partie BT.

### ■ Dangers des transformateurs

Les traversées représentent le danger le plus grand d'un transformateur qui peut se traduire par un incendie, voire une explosion.

#### Principaux défauts :

Décharges partielles **dans les traversées** entre le conducteur et la tôle du transformateur provoquées par plusieurs facteurs :

- présence d'humidité
- vieillissement de l'isolation
- problème de connexion
- court-circuit au niveau des couches de répartition des feuilles aluminium capacitives...

Ces décharges partielles, au fur et à mesure du vieillissement peuvent augmenter en fréquence et en amplitude jusqu'au court-circuit.

### **3°) Risques dans une cellule**

Le risque primordial mais excessivement rare est le risque de court-circuit avec explosion lors de la manœuvre de réarmement ou d'ouverture de l'interrupteur par exemple si la cellule est en mauvais état, plastron protégeant le mécanisme absent (déposé à côté de la cellule). Si l'opérateur ne porte pas ses EPI (obligation pendant toutes les manœuvres), l'arc produit peut blesser très gravement.

**Nota :** Il serait bon de rappeler toutes les prescriptions de sécurité (port des EPI, utilisation des EPC), le modus operandi de la consignation dans une IPS affichée à l'intérieur du poste.



**Imexco**

## **CHAPITRE XII**

**SYMBOLES,**

**LEXIQUE**

**ET**

**BIBLIOGRAPHIE**

**AGCP** : Appareil Général de Coupe et Protection

**TGBT** : Tableau Général Basse Tension

**HTA** : Haute Tension < 50 000 volts

**HTB** : Haute Tension > 50 000 volts

**Coulomb** : Unité de quantité d'électrons =  $6,24 \times 10^{18}$  électrons =  $1 \text{ A} \times 1 \text{ sec}$

**Rho** :  $\rho$  : Résistivité = résistance intrinsèque d'un matériau

**L** : Inductance d'une bobine, s'exprime en HENRY, valeur du champ magnétique d'une self

**Self** : Synonyme de bobine

**$\Omega$**  : Pulsation = vitesse de rotation

**f** : Fréquence d'un phénomène

$$\Omega = 2\pi f$$

**$\pi$**  : **Pi** : Constante découverte par les Grecs

$$\pi = \frac{\text{circonférence}}{\text{diamètre}} = 3,14$$

**C** : Capacité d'un condensateur s'exprime en FARAD

$$C = \frac{Q}{V}$$

**J** : Nombre complexe

**Somme vectorielle** : C'est l'addition graphique de vecteurs de grandeur et d'orientation différente

**Assiettes ou galettes** : Terme usuel des isolateurs de lignes qui ont la forme d'une assiette

**SF6** : Hexafluorure de soufre, gaz isolant utilisé dans la Haute Tension pour éteindre l'arc à l'ouverture des circuits HT

**PSEM** : Poste électrique Sous Enveloppe Métallique (en HT)

**GIS** : Acronyme Allemand, PSEM ou poste blindé en France

**AIS** : Air Insulated Switchgear

**AC** : Courant alternatif  $\sim$

**DC** : Courant continu  $\text{---}$

**D** : Bobines reliées en triangle

**Y** : Bobines reliées en étoile

**$\Phi$**  : Phi : Déphasage entre tension et intensité ou déphasage entre tensions

**SCHNEIDER**  
**ABB**  
**RTE**  
**ENEDIS**  
**EDF**  
**SCIENCES PHYSIQUES AC DE DIJON**  
**GOUNOT**  
**CAHORS**  
**TRANSFOMARY**  
**ALSTOM**  
**SIEMENS**