

## 1. intérêt :

pour le transport de l'énergie électrique il permet réduire les pertes en ligne en diminuant l'intensité du courant (pour une même puissance  $P = UI$  si  $U$  est plus grand,  $I$  est plus faible)

la centrale : 20 kV → lignes : 400 kV → distribution ; 230 V / 400 V

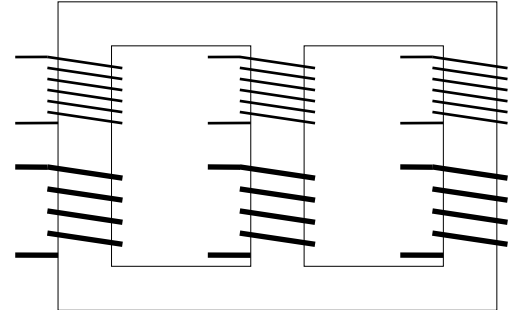
2. constitution du **circuit magnétique**

- 3

- 3

- 3

À flux indépendants



À flux triphasés :

circuit magnétique cuirassé :

circuit magnétique à cinq colonnes :

circuit magnétique à trois colonnes :

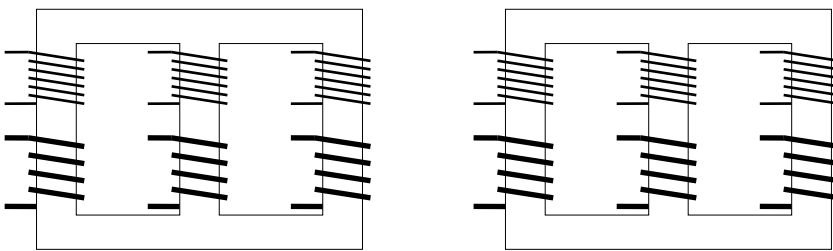
$m =$

3. les **couplages** (branchements) des enroulements

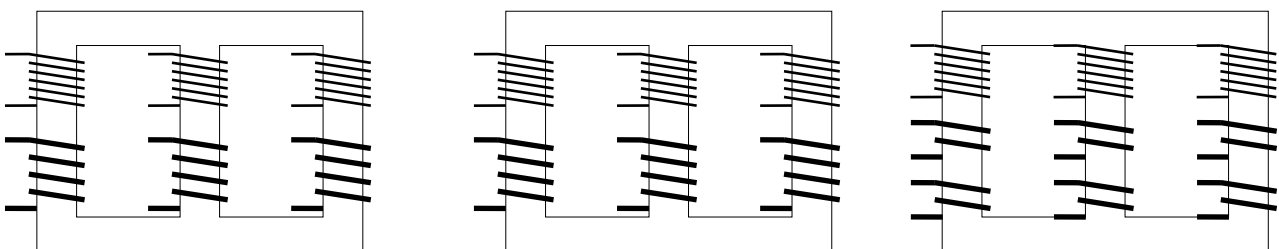
les bornes A, B et C :

les bornes a, b et c :

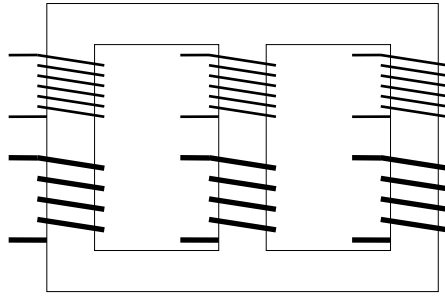
couplages possibles **au primaire** :



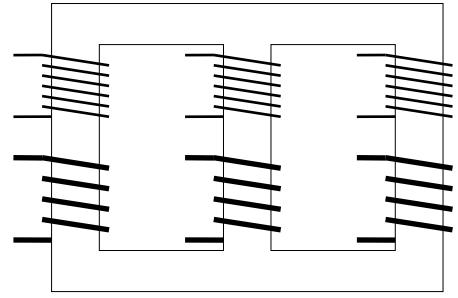
couplages possibles **au secondaire** :



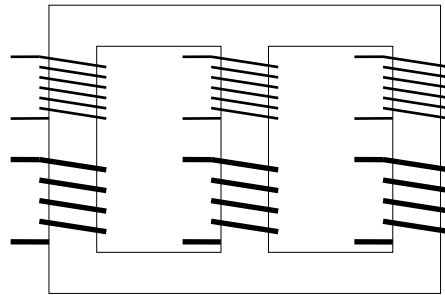
couplage



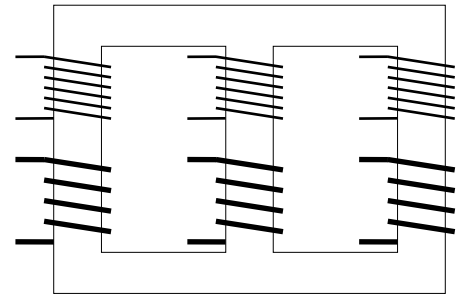
couplage



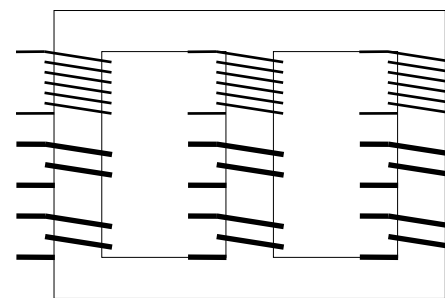
couplage



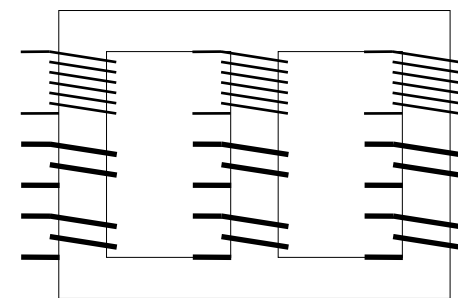
couplage



couplage

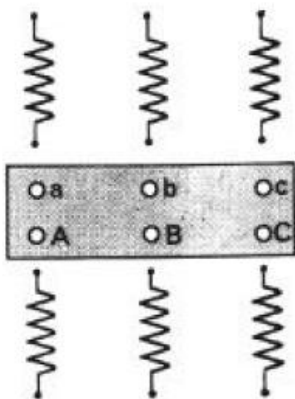


couplage



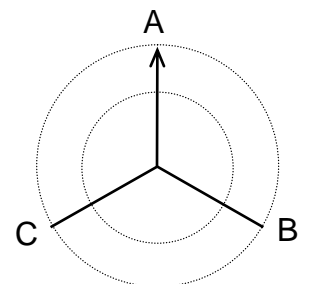
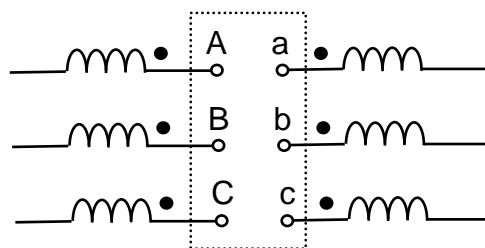
**Différentes représentations conventionnelles d'un transformateur triphasé**

Le rectangle représente une plaque à borne ajoutée dans un but pédagogique; il doit évidemment être supprimé sur un schéma normalisé



A, B, C sont les bornes haute tension, a, b, c, sont les bornes basse tension. Chaque enroulement est supposé rabattu sur le plan du couvercle de sorte que, si on suppose le transformateur vertical, sur chaque bobine la partie la plus éloignée de la borne correspondante est l'extrémité inférieure.

Le sens des tensions est donnée par les bornes homologues (●).



#### 4. les rapports de transformation

$m =$

$M =$

couplage	Yy	Dd	Yz	Yd	Dz	Dy
M	$\frac{N_2}{N_1}$	$\frac{N_2}{N_1}$	$\frac{\sqrt{3}N_2}{2N_1}$	$\frac{N_2}{\sqrt{3}N_1}$	$\frac{3N_2}{2N_1}$	$\frac{\sqrt{3}N_2}{N_1}$

*exercice* : pour un transformateur où  $m = 0,02$  et  $U_1 = 20$  kV calculons  $U_2$

#### 5. l'indice horaire $n$ : retard de la BT sur la HT exprimé en multiple de $30^\circ$

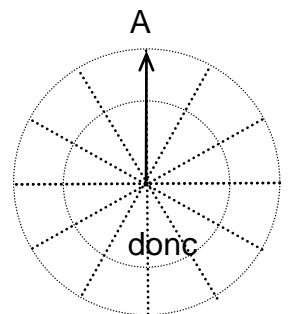
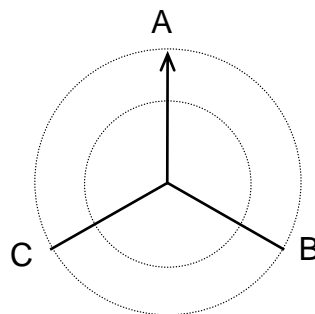
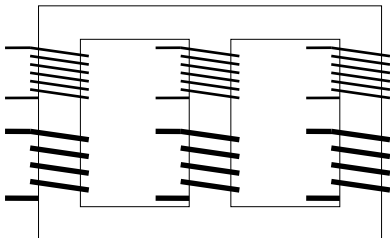
L'indice horaire d'un couplage est le nombre entier  $n$  tel que, en appelant  $\theta$  l'angle en degrés formé par les vecteurs représentant les tensions correspondantes,  $V_{an}$  et  $V_{AN}$  ou  $U_{ab}$  et  $U_{AB}$ ,

$$\theta = n \cdot 30^\circ$$

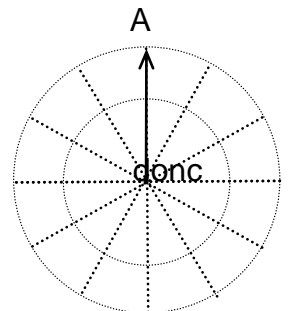
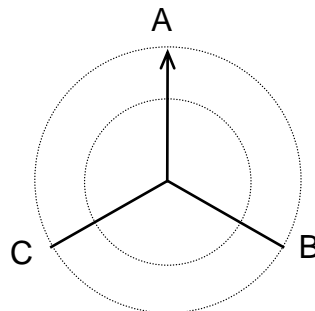
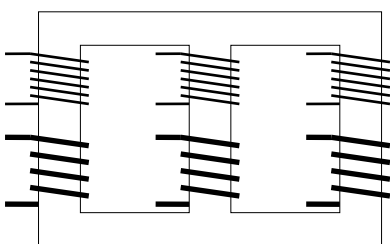
*Exemple* : un indice horaire de  $n = 11$  correspond à un retard de  $11 \times 30^\circ = 330^\circ$

pour un couplage Yyn0

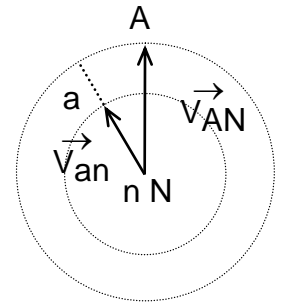
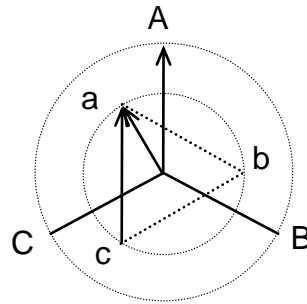
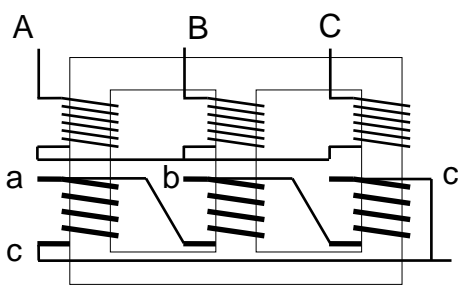
où  $n$  signifie « neutre sorti »



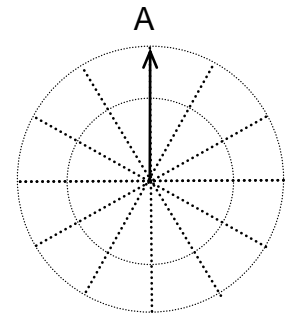
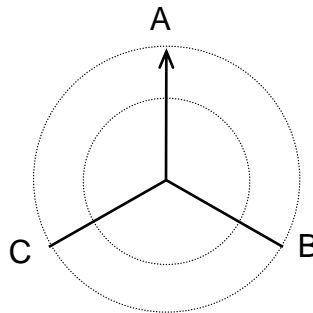
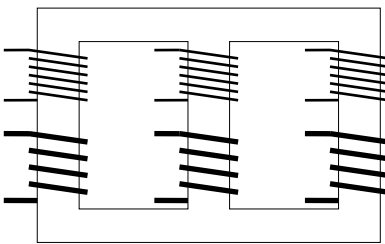
pour un couplage Yy6



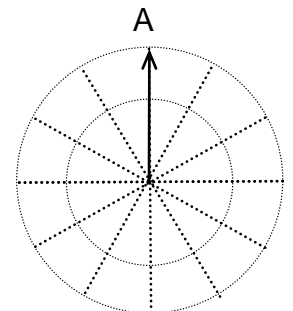
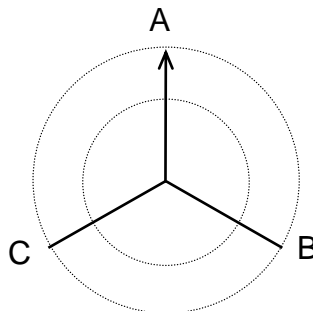
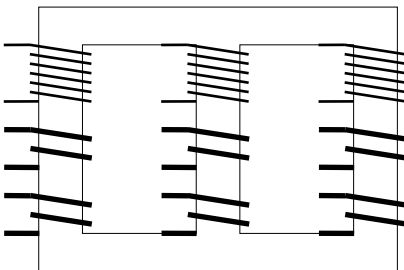
pour un couplage Yd 11



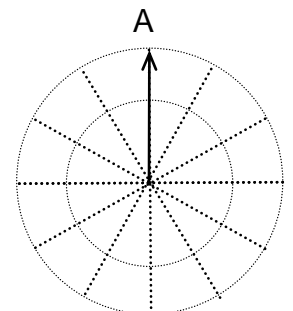
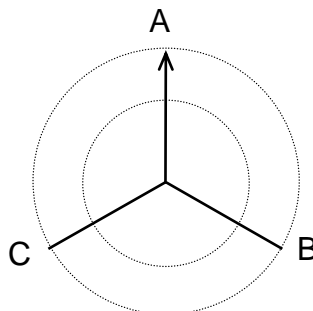
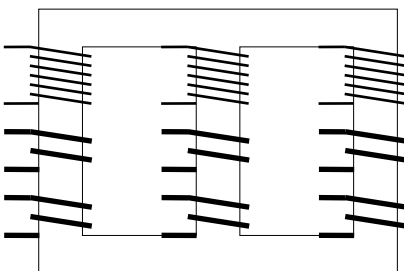
pour un couplage Dy 5



pour un couplage Yz



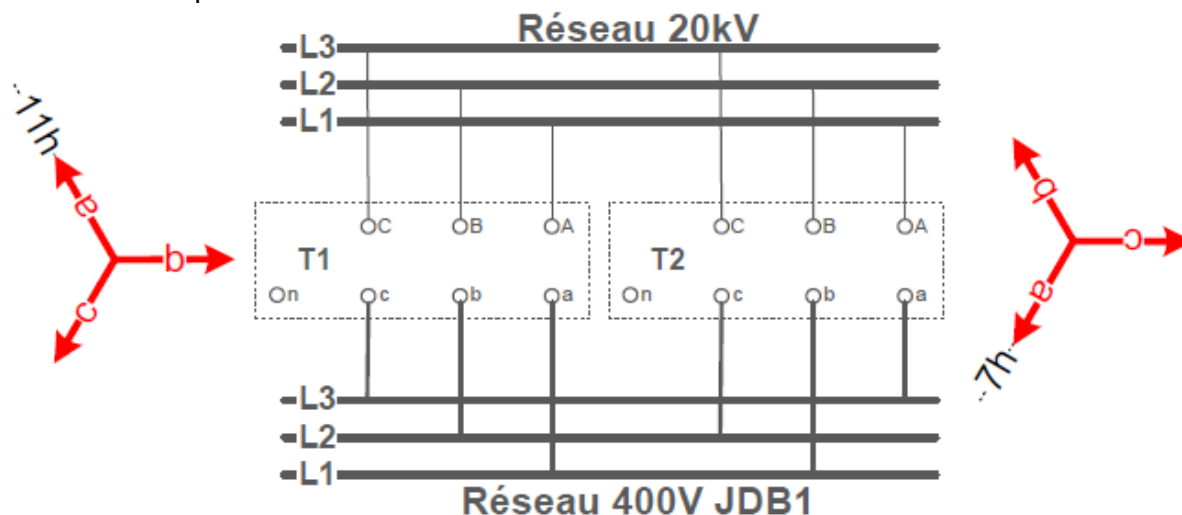
pour un couplage Dz



## 6. Mise en parallèle de deux transformateurs

Les transformateurs sont des machines statiques dont la durée de vie est très longue. Supposons que l'on construise une usine dont l'ensemble des récepteurs absorbe une puissance apparente de 1 MVA. On installera un transformateur d'alimentation de puissance apparente légèrement supérieure à 1 MVA. Si l'usine décide de s'agrandir et que l'ensemble des récepteurs doivent absorber, mettons, 3 MVA, deux solutions se présentent. Une première solution est de débrancher le transformateur existant et à le remplacer par un transformateur de puissance un peu supérieure à 3 MVA, c'est une solution "chère".

Une deuxième solution consiste à acheter un transformateur de puissance apparente un peu supérieure à 2 MVA et à le placer en parallèle sur le transformateur déjà en place. Cette solution est moins onéreuse. Exemple :



Mais, pour que l'on puisse coupler à vide 2 transfos triphasés T1 et T2, il faut que leurs diagrammes vectoriels de tension coïncident, il faut que les deux transformateurs possèdent le :

- **Même rapport de transformation**
- **Même ordre de succession des phases**
- **Même décalage angulaire**, ils doivent donc appartenir au même groupe.
- Pour avoir une répartition correcte des puissances entre les 2 transfos en charge, il faut aussi qu'ils aient la **même chute de tension** donc pratiquement la même tension de court-circuit.

On pourra donc coupler en parallèle des transformateurs dont les indices diffèrent de  $\pm 4$  à condition d'effectuer les éventuelles permutations circulaires nécessaires aux niveaux des bornes secondaires.

On définit quatre groupe de transformateurs suivant les valeurs des indices horaires : deux transformateurs d'un même groupe (et de même rapport) peuvent aisément fonctionner en parallèle.

Groupe	Indices horaires	Couplages
I	0,4,8	Yy Dd Dz
II	2,6,10	Yy Dd Dz
III	1,5,9	Dy Yz Yd
IV	3,7,11	Dy Yz Yd

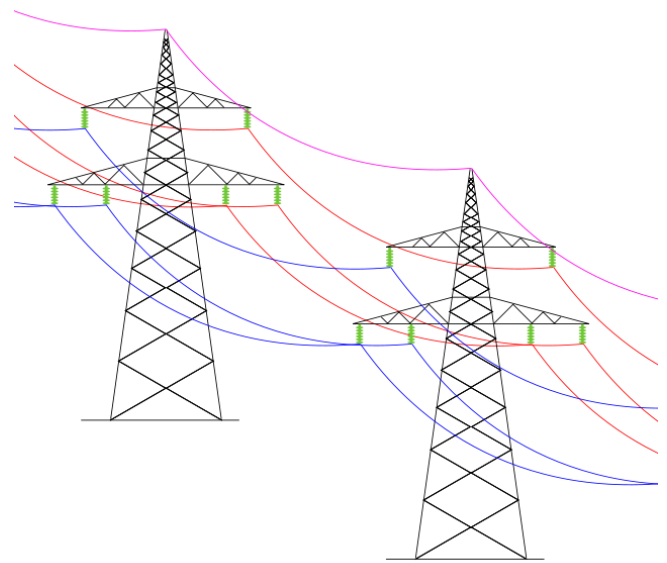
## Annexe : Le réseau électrique de RTE (Réseau de transport d'électricité)

**Lignes à haute tension** : environ 100 000 km de lignes comprenant deux sous-ensembles :

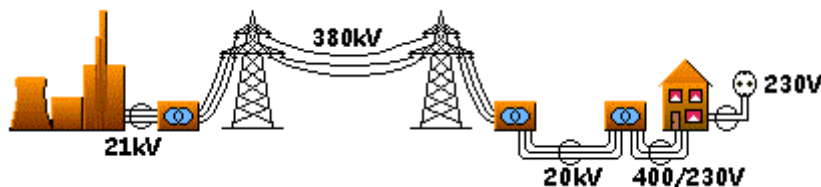
- **les lignes de grand transport** à 400 kV, qui acheminent l'électricité à grande distance (sur plusieurs centaines de km). Sur ce réseau sont raccordées les lignes d'interconnexions avec les pays voisins et toutes les centrales nucléaires ;

- **les lignes de répartition régionale**, avec trois niveaux principaux de tension : 225 kV, 90 kV et 63 kV.

Ce réseau assure la répartition régionale jusqu'aux réseaux de distribution à moyenne tension (20 kV), ainsi qu'aux grandes industries.



Cette structure est très comparable au réseau de transport routier



-les autoroutes européennes et nationales correspondent au réseau 400 kV,  
 -les routes nationales correspondent au réseau 225 kV,  
 -les routes départementales correspondent au réseau 90 et 63 kV.

Il comprend également les postes électriques de répartition et de transformation.

La distribution locale d'électricité à moyenne (HTA 20 KV) et basse tension (230/400 V ; utilisateurs finaux).

Domaines de tensions types de lignes	Tension	Usage
Haute Tension B HTB $U > 50 \text{ kV}$	<b>400 kV</b> <b>225 kV</b>	Transport d'énergie électrique à longue distance et international.
HTB	90 kV 63 kV	Transport d'énergie électrique distant, industries lourdes, transport ferroviaire.
Haute Tension A HTA $1000 \text{ V} < U \leq 50 \text{ kV}$	30 kV <b>20 kV</b> 15 kV	Transport d'énergie électrique, local, industries, PME, services, commerces
Basse Tension BTB $500 \text{ V} < U \leq 1\ 000 \text{ V}$ BTA $50 \text{ V} < U \leq 500 \text{ V}$	230 V / 400 V	Distribution d'énergie électrique, ménages, artisans.