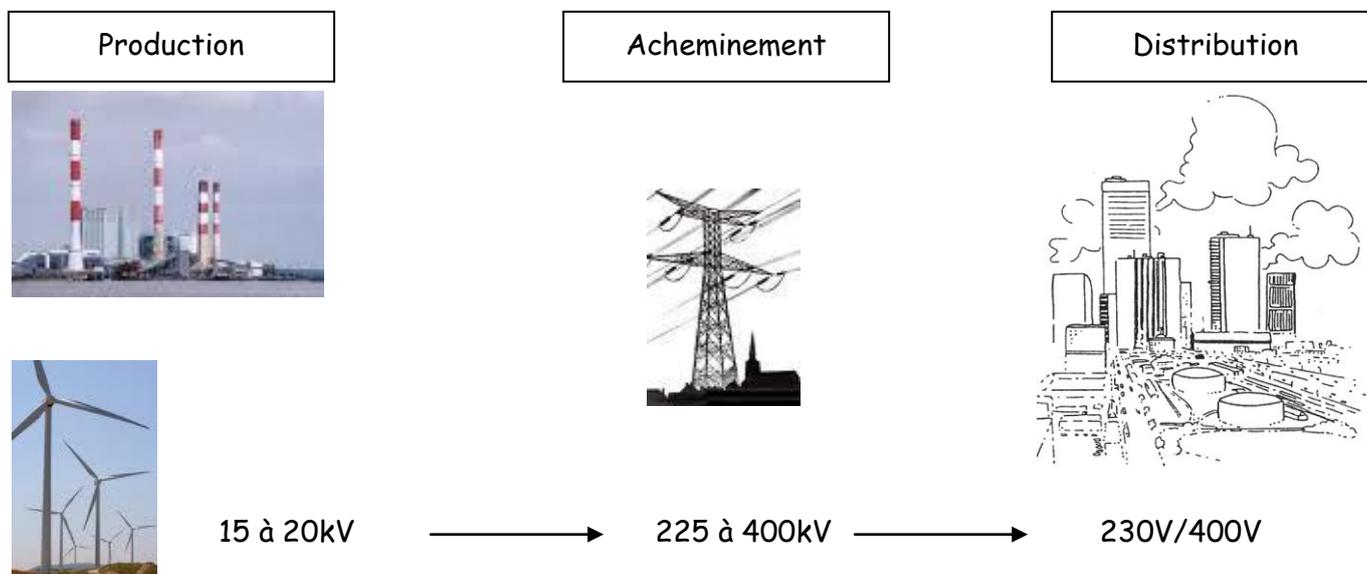


CH23 Le transformateur triphasé

Enjeu : les producteurs d'énergie électrique doivent rationaliser leurs réseaux afin de proposer un coût de l'électricité minimal et d'assurer la compatibilité et la pérennité de leurs installations.

Problématique : Dans cette optique, les valeurs de tensions aux niveaux de la production, de l'acheminement et de la distribution sont différentes. Comment assurer l'interface entre ces différents niveaux ?



Objectifs :

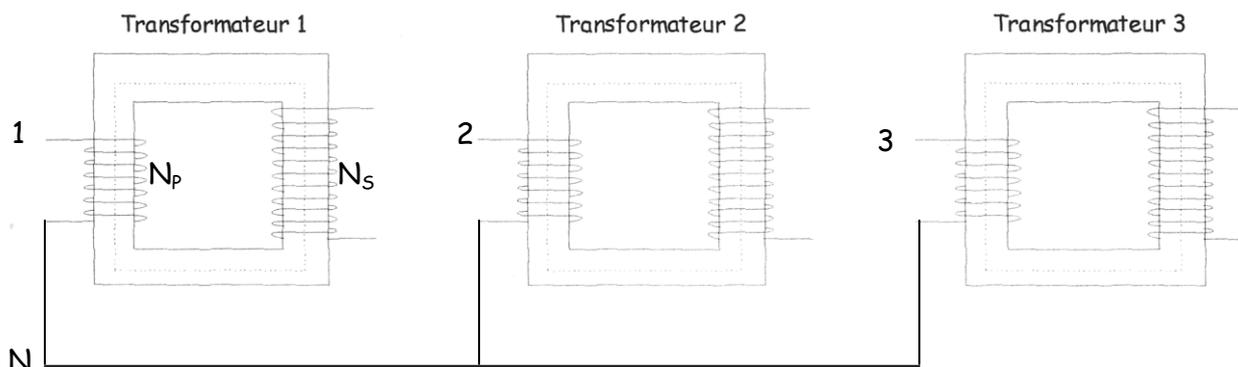
A l'issue de la leçon, l'étudiant doit :

23.1	Savoir flécher les tensions aux bornes d'un transformateur triphasé		
23.2	Savoir reconnaître ou dessiner les différents couplages sur la représentation normalisée		
23.3	Savoir déterminer les tensions en phases sur la représentation normalisée		
23.4	Savoir déterminer le rapport de transformation d'un transformateur triphasé		
23.5	Savoir déterminer l'indice horaire d'un transformateur triphasé		

1. Comment élever ou abaisser la valeur efficace de la tension d'un réseau triphasé ?

⇒ **A l'aide de trois transformateurs monophasés identiques :**

Exemple (couplage étoile au primaire) :

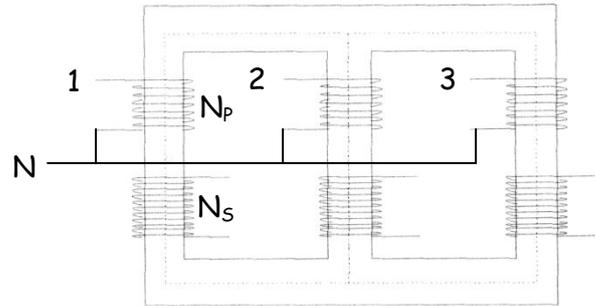


Avantage : transport et entretien plus simple (une quatrième unité peut-être stockée pour se substituer très rapidement à l'une des trois premières tombées en panne)

Inconvénient : Pertes fer et coût plus important.

⇒ A l'aide d'un transformateur triphasé :

Exemple (couplage étoile au primaire) :



Avantage : moins de pertes fer, diminution du coût et meilleur comportement en régime déséquilibré.

Inconvénient : transport et entretien plus difficiles

Remarque : sur une même colonne, les bobinages primaire et secondaire sont entrelacés afin de réduire les flux de fuites (et donc de diminuer X_s).

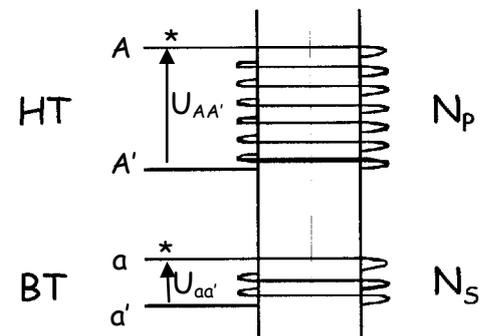
2. Comment flécher les tensions sur les transformateurs triphasés ?

Les entrées des bobines sont matérialisées par des points ou des étoiles.

On utilise des lettres **majuscules** côté haute tension et **minuscules** côté basse tension.

On représente les tensions par des flèches pointant sur l'entrée des bobines.

Les tensions aux bornes des deux bobines d'une phase sont alors en phase (ci-contre $\varphi_{u_{AA'}/u_{aa'}} = 0$)



3. Quelle est la représentation normalisée d'un transformateur triphasé ?

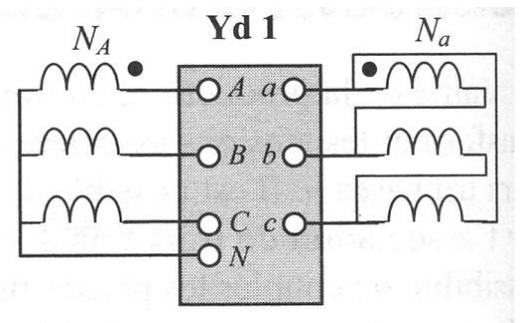
La représentation normalisée d'un transformateur triphasé est le symbole type bornier (voir ci-contre).

Le rectangle central représente la plaque des connections du transformateur. Sur cette plaque, les entrées des bobines sont en regard.

Sur une même ligne, sont représentés les enroulements montés sur un même noyau.

Sur l'exemple ci-dessus :

- ✓ Le « Y » indique un couplage **étoile du primaire**
- ✓ Le « d » indique un couplage **triangle du secondaire**
- ✓ Le « 1 » indique **l'indice horaire** (il sera défini un peu plus loin dans la leçon)



4. Quelles tensions sont en phases sur la représentation normalisée ?

Les tensions aux bornes des enroulements situés sur une même ligne sont en phases.

Sur l'exemple donné précédemment, v_A est en phase avec u_{ab} .

5. Comment détermine-t-on le rapport de transformation d'un transformateur triphasé ?

Il faut distinguer :

⇒ Le rapport de transformation par noyau m (équivalent du monophasé) :

$$m = \frac{N_s}{N_p} = \frac{\text{valeur efficace aux bornes d'une bobine au secondaire à vide}}{\text{valeur efficace d'une bobine au primaire}}$$

⇒ Le rapport de transformation du transformateur triphasé m' (celui qui sera utilisé pour les calculs) :

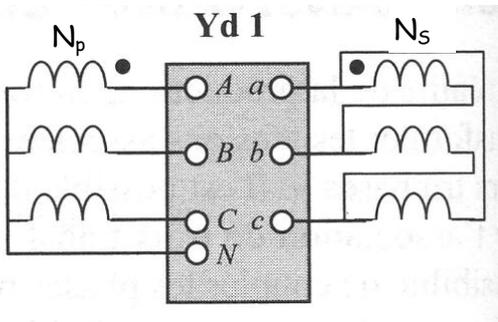
C'est le rapport entre deux tensions de même nature (simple ou composée).

$$m' = \frac{V_{s0}}{V_p} = \frac{U_{s0}}{U_p}$$



Les rapports m et m' ne sont pas obligatoirement égaux : cela dépend des couplages primaires et secondaires.

Exemple :



Couplage Y au primaire : N_s est soumis à une tension simple

Couplage d au secondaire : N_p est soumis à une tension composée.

On a donc : $m = \frac{N_s}{N_p} = \frac{U_s}{V_p}$

Et : $m' = \frac{U_s}{U_p} = \frac{U_s}{\sqrt{3} \times V_p} = \frac{1}{\sqrt{3}} \times m$

6. Comment détermine-t-on l'indice horaire d'un transformateur triphasé ?

⇒ On détermine le retard angulaire : on appelle θ le retard angulaire d'une tension secondaire sur son homologue tension primaire :

$$\theta = \varphi_{v_a/v_A} = \varphi_{u_{ab}/u_{AB}}$$

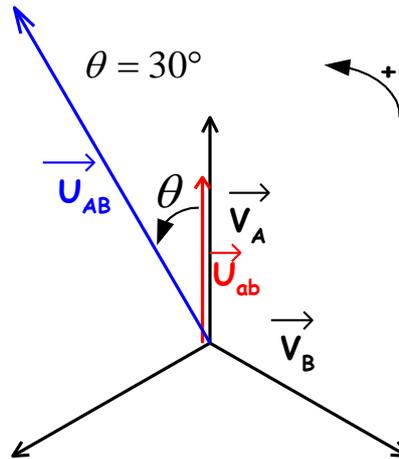
Remarque : θ est un multiple de 30° ($\pi/6$ rad).

⇒ On en déduit l'indice horaire I.H :

$$I.H = \frac{\theta}{30^\circ}$$

Valeurs possible de θ :	0°	30°	60°	90°	120°	150°	180°	210°	240°	270°	300°	330°
I.H. correspondant	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11

Exemple : sur le couplage Yd1 précédent, la tension aux bornes de N_p est en phase avec la tension aux bornes de N_s . Donc u_{ab} est en phase avec v_A :



En traçant $\overline{U_{AB}}$ puis θ , on peut lire $\theta=30^\circ$. L'indice horaire de ce montage est donc bien 1.

7. Quels sont les couplages les plus usuels ?

- ⇒ **Le couplage triangle-triangle (D-d)** : permet la connexion entre deux réseaux 3 fils.
- ⇒ **le couplage étoile-étoile (Yy)** : ce couplage permet de relier deux parties d'un réseau avec la présence d'un point neutre au primaire et au secondaire
- ⇒ **Les couplages étoile triangle (Yd ou Dy)** : ces couplages permettent de passer à un réseau triphasé 3 fils à un réseau 4 fils ou inversement.

Avantages : Cela permet donc de créer un point neutre localement. Le couplage triangle au primaire permet de supprimer les harmoniques de rang multiple de 3 dans les lignes placées en amont du transformateur.

Inconvénient : l'indice horaire n'est jamais nul, ce qui impose de tenir compte des déphasages pour les connexions avec d'autres réseaux.

⇒ **Couplage triangle-zizag Dz0** : ce couplage est utilisé pour permettre le passage d'un réseau 3 fils à un réseau 4 fils sans déphasage (l'indice horaire est nul).

8. Qu'est-ce que le couplage zigzag ?

Le couplage zigzag est une particularité des transformateurs

Le zigzag est composé de deux demi-enroulements couplés à des tensions différentes.

Sur l'exemple ci-contre :

$$v_a = \frac{N_s}{2} u_{AB} - \frac{N_s}{2} u_{CA}$$

Soit :

$$v_a = \frac{m}{2} u_{AB} - \frac{m}{2} u_{CA}$$

