

Le support de cours présenté est du niveau Bac Pro ELEEC à l'exception de 3 ou 4 diapositives qui débordent du référentiel , et que l'on peut supprimer le cas échéant sans nuire au sens général du document. Des liens renvoient vers des pages lorsque l'approfondissement d'une notion est nécessaire.

# Étude du transformateur 3 ~ HTA/BT

photo: transformateur sec "[trihal](#)"  
Schneider.

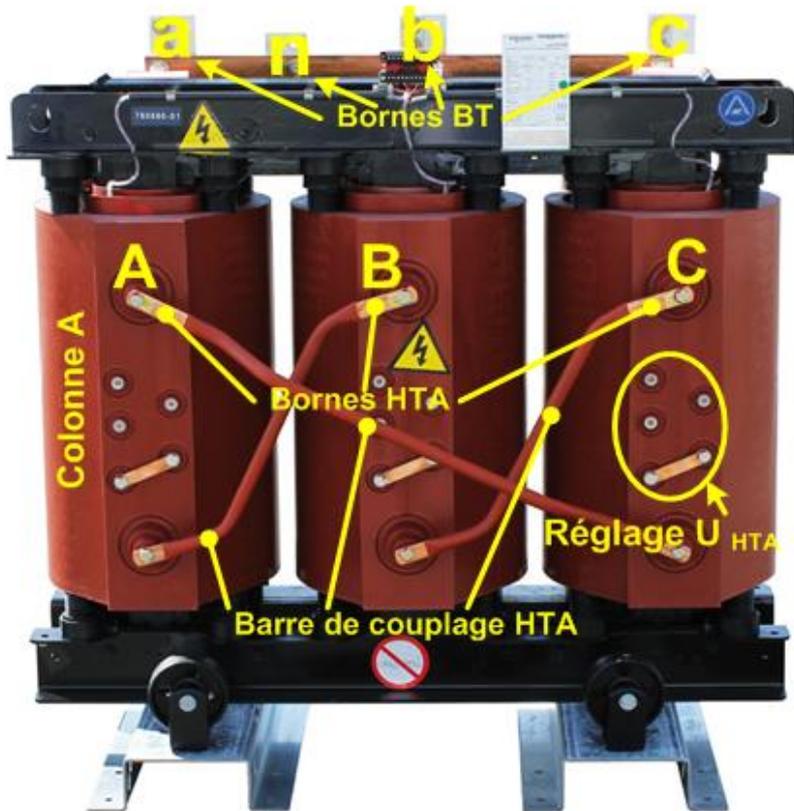
# Le transformateur triphasé

Le **transformateur triphasé** règle et achemine, à chaque instant, la tension issue des centrales de production d'énergie à travers tout le territoire.

La tension **triphasee** produite est d'abord transportée en HT pour être ensuite distribuée en B.T aux clients. La valeur de la tension livrée a pour valeur: **(400V/230V)**

Ces deux fonctions (élévateur et abaisseur de tension) sont assurées par le transformateur triphasé. Par ailleurs, l'isolation galvanique entre enroulement HT et BT réalisée par le transformateur permet la modification du **S.L.T.**

# Le transformateur triphasé



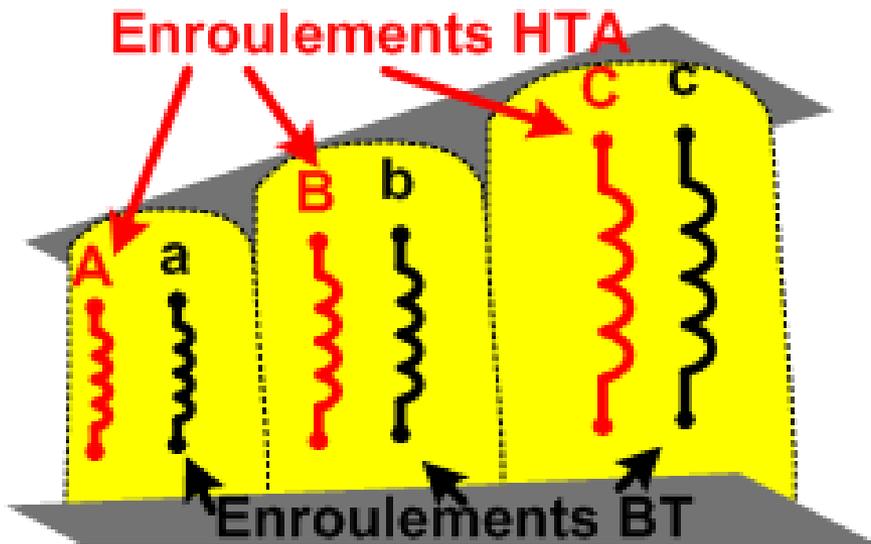
Structure: (Sec trihal)

- Un circuit magnétique constitué de 3 colonnes
- 6 Bornes HTA (lettres majuscules)
- 4 Bornes BT si n (lettres minuscules)

# Le transformateur triphasé

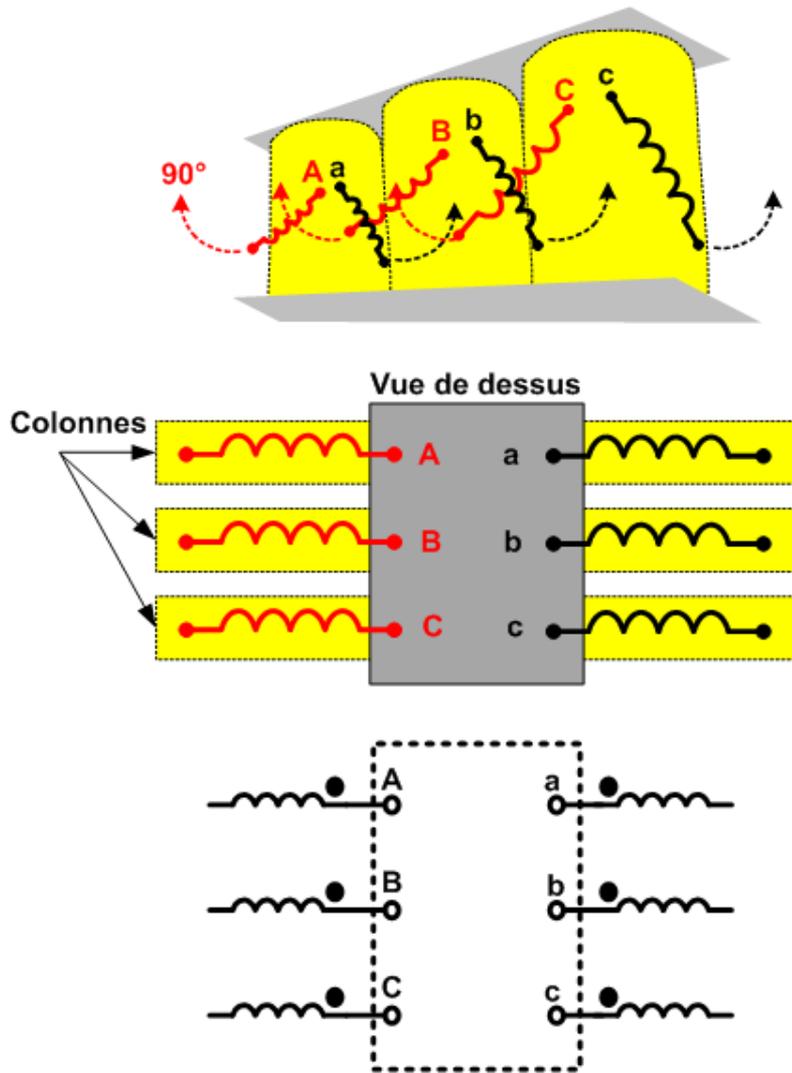
## Les enroulements:

- 6 enroulements: 2 par colonnes
- 3 enroulements en HTA: 1 par phase
- 3 enroulements en BT: 1 par phase



Le point **neutre** est commun aux 3 enroulements.

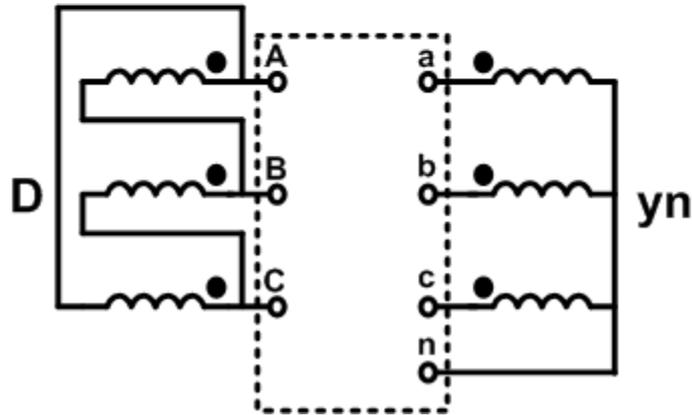
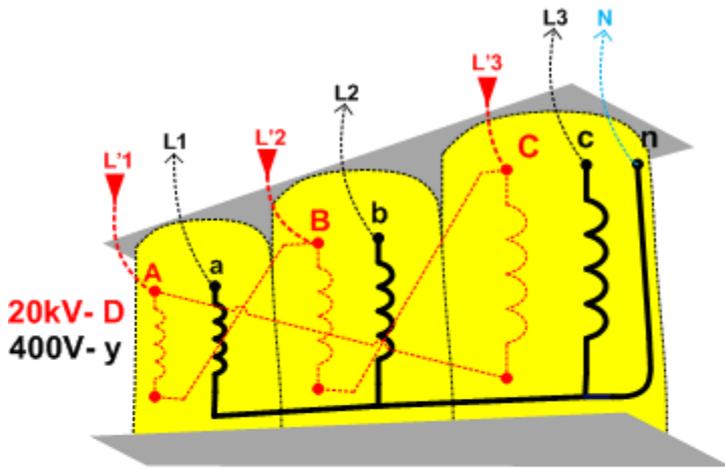
# Le transformateur triphasé



## Symbole et représentation:

- Le transformateur est représenté vu de dessus avec les enroulements relevés à 90° de chaque côté de la boîte de connexion: chaque colonne constitue un transformateur monophasé.
- Les points à l'extrémité des enroulements sont des indicateurs de **polarité**.

# Le transformateur triphasé

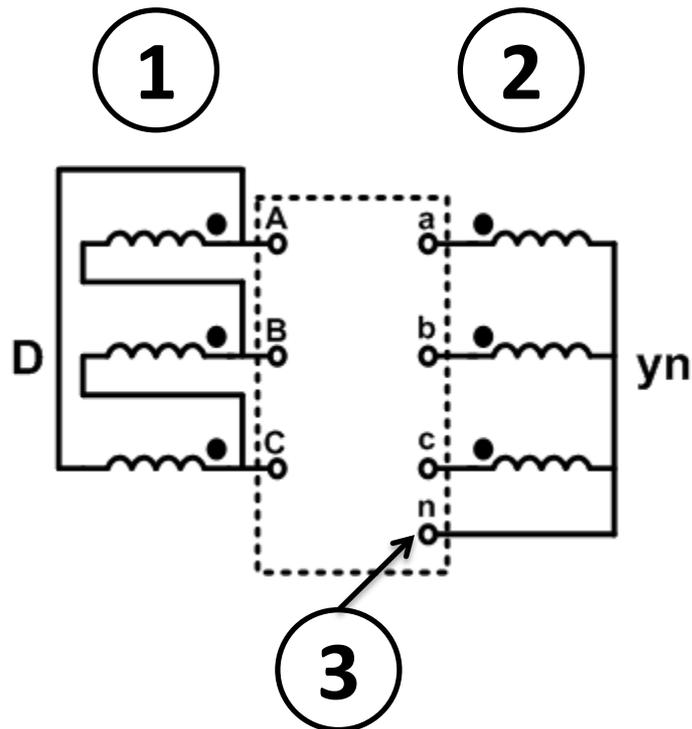


Couplage des enroulements:

3 couplages sont possibles:

- HTA: étoile (Y) ou triangle (D)
- BT: étoile (y) ou triangle (d) ou zigzag (z)
- Si neutre existe (n)
- (N) n'a pas d'intérêt côté HT.

# Le transformateur triphasé

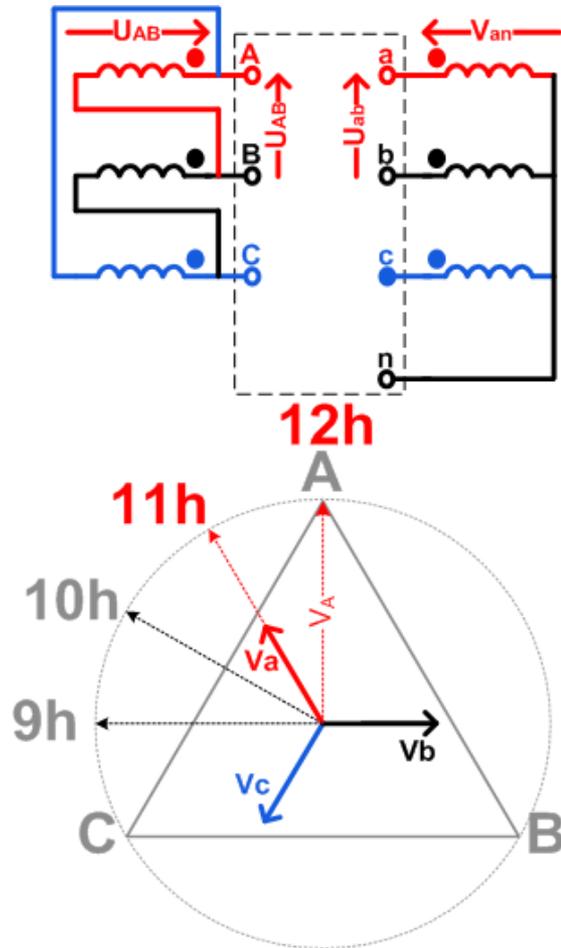


Désignation:

- **1 + 2 + 3 + indice horaire**  
(voir diapo suivante)
- Dans le cas présent:

**Dyn11**

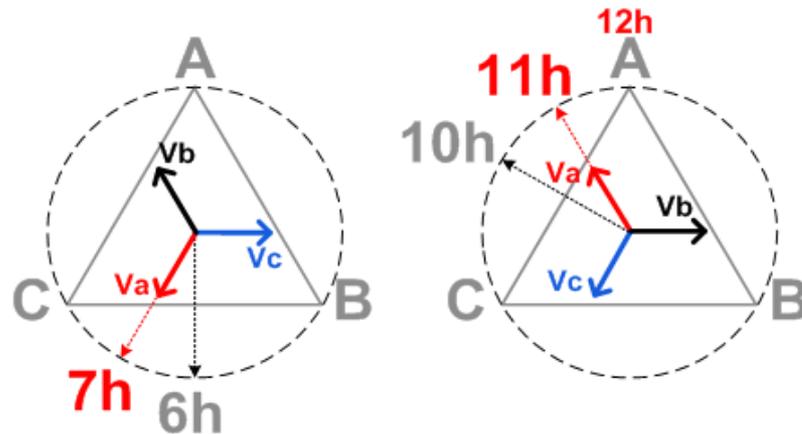
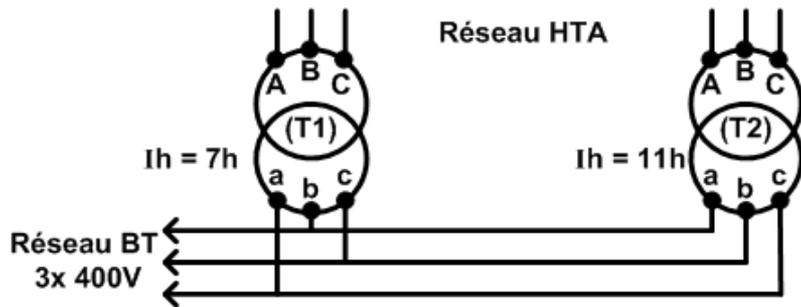
# Le transformateur triphasé



## Indice horaire:

- C'est le déphasage mesuré entre  $\mathbf{U}_{BT}$  et son homologue  $\mathbf{U}_{HTA}$ .
- $\Delta_{ABC} = \vec{U}_{AB} + \vec{U}_{BC} + \vec{U}_{CA}$
- $V_{an}$  est en phase avec  $U_{AB}$  et déphasé de  $30^\circ$  en avance par rapport à  $V_A$  (12h).

# Le transformateur triphasé

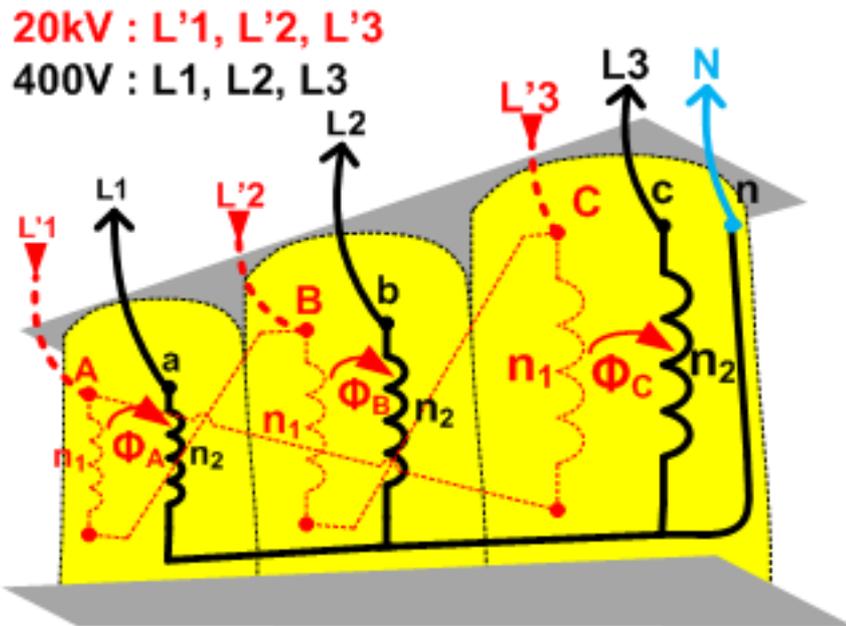


A quoi sert l' $I_h$ ?

- Deux transformateurs peuvent être couplés en parallèle s'ils possèdent un indice horaire égal ou compatible. Ici le couplage entre (T1) et (T2) est possible car:

- $V_{a(T1)} - V_{c(T2)} = 0$
- $V_{b(T1)} - V_{a(T2)} = 0$
- $V_{c(T1)} - V_{b(T2)} = 0$

# Le transformateur triphasé



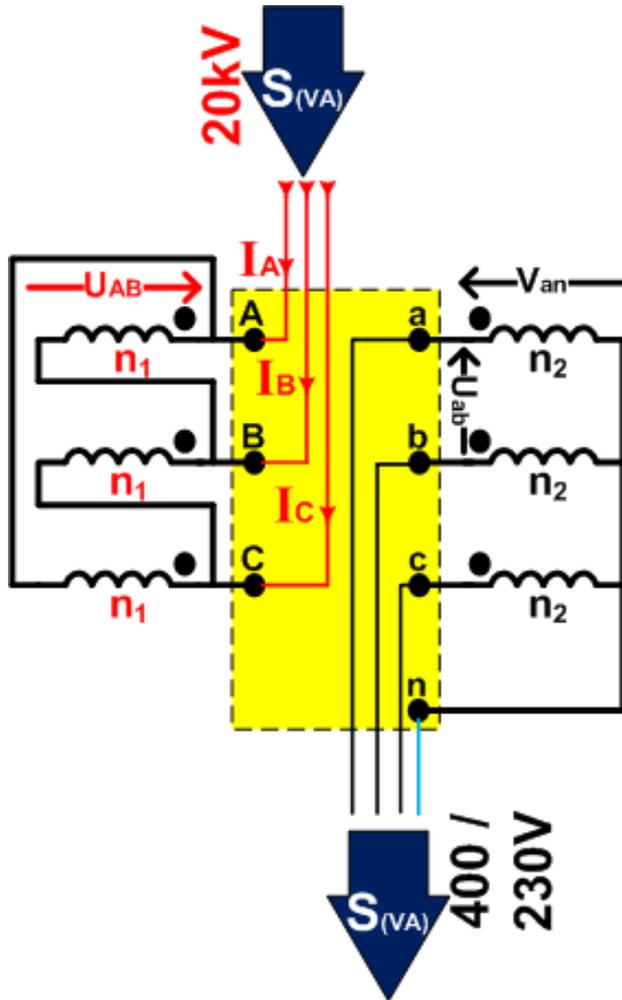
## Fonctionnement: l'Induction

- Dans chaque colonne A, B et C, l'enroulement **HTA** crée un flux magnétique  $\Phi$  qui induit une tension **U** dans l'enroulement **BT** homologue: c'est la [loi de Faraday](#)

**Explication** (sommaire): une variation de flux ( $d\Phi$ ) durant un intervalle de temps ( $dt$ ) induit une tension **U** proportionnelle à son nombre de spires **n**, aux bornes de l'enroulement qu'il traverse.

$$v_2 = -n_2 \frac{d\Phi}{dt}$$

# Le transformateur triphasé



## Fonctionnement: l'adaptation

- Le transformateur appelle une puissance  $S$ (VA) du réseau HTA qu'il transfère vers l'installation BT aux pertes près (2 à 3% environ).

$$S = \sqrt{3} \times U_{HT} \times I_{HT} \approx \sqrt{3} \times U_{BT} \times I_{BT}$$

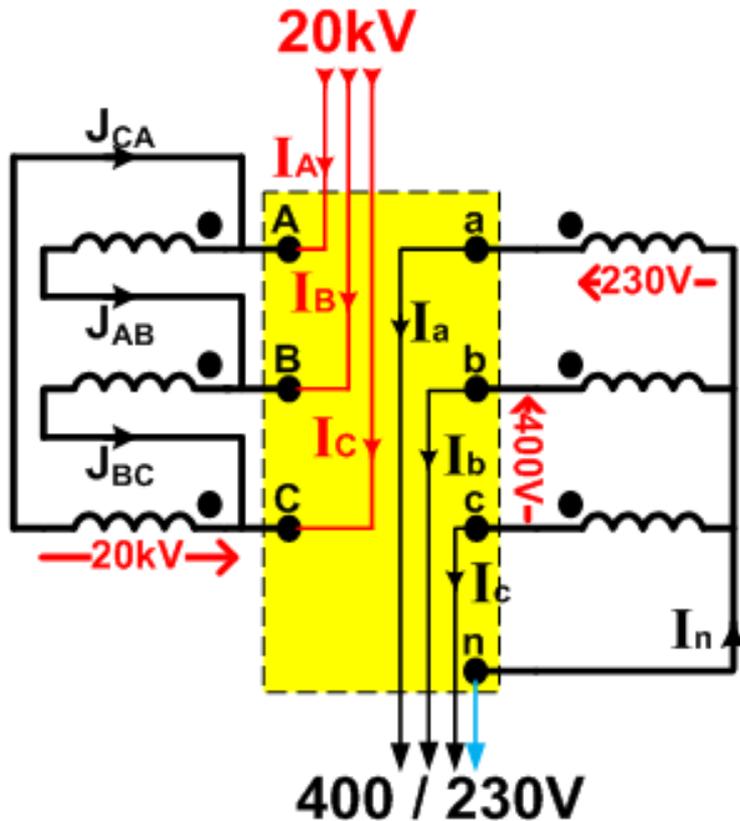
- Le courant  $I_{BT}$  s'ajuste de manière à conserver  $S_{prim} = S_{sec}$ . Le rapport de transformation  $m$  permet de dimensionner les grandeurs.

$$m = \frac{U_{BT}}{U_{HT}} = \frac{I_{HT}}{I_{BT}} = \frac{n_2}{n_1}$$

- $m < 1$  lorsque le transformateur est abaisseur de tension.

# Le transformateur triphasé

Que vaut  $J_{AB}$  pour un transformateur de 630kVA?



Intérêt du Dyn :

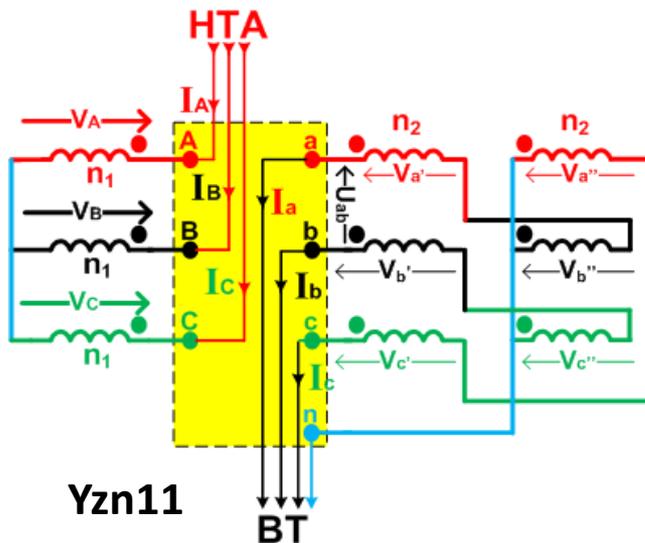
- En **triangle** l'enroulement HTA est parcouru par un courant  $J$  et travaille sous pleine tension  $U$ . (utile si  $I$  est élevé)

$$I_{\text{Enr}} = J = \frac{I_{\text{Ligne}}}{\sqrt{3}}$$

- En **étoile** l'enroulement est parcouru par  $I$  mais est alimenté sous tension réduite: (utile si  $U$  est élevée)

$$U_{\text{Enr}} = V = \frac{U}{\sqrt{3}}$$

# Le transformateur triphasé

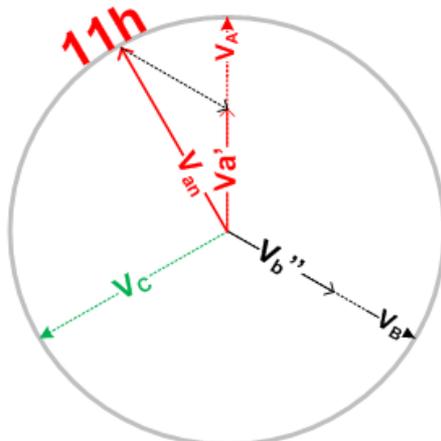


Intérêt du z :

- Le 3<sup>ème</sup> couplage utilisé en distribution d'énergie est le couplage zigzag, surtout réalisé du côté BT. Le zigzag combine les avantages des couplages Y et D avec la particularité d'accepter un couplage Y sans neutre côté HTA car la composante homopolaire est nulle:

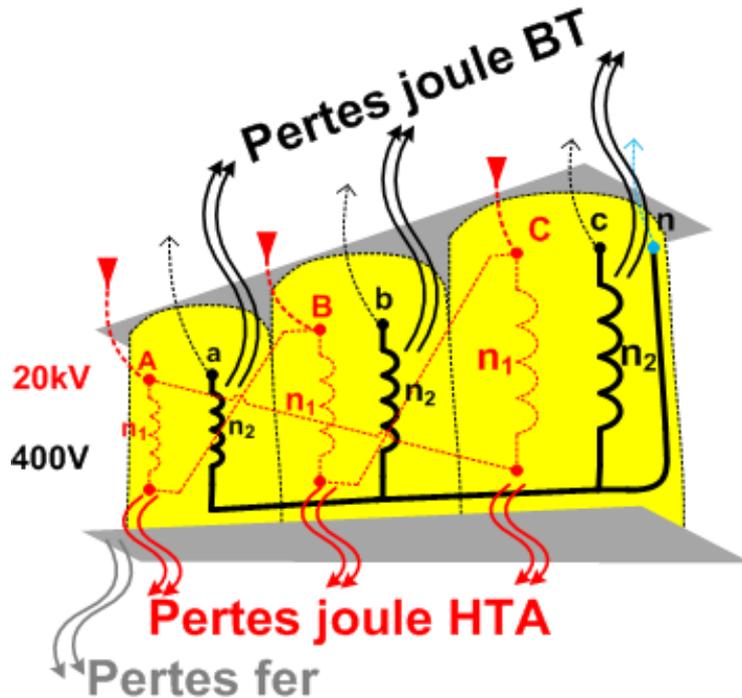
$$\vec{I}_A + \vec{I}_B + \vec{I}_C = \vec{0}$$

- Chaque colonne porte deux enroulements BT qui fournissent des tensions égales en module et en phase.



# Le transformateur triphasé

**A.N:** Calculer et vérifier la valeur du rendement d'un Transformateur de 2500kVA après avoir répondu aux questions des 2 diapositives suivantes. ([ressource](#))



## Essais du transformateur:

- Après sa fabrication, le transformateur est testé: isolement, pertes fer, pertes cuivre,..etc. et le calcul de son rendement est effectué.

$$\eta = \frac{P_2}{P_2 + \sum \text{Pertes}} = \frac{P_2}{P_2 + P_{\text{Fer}} + P_{\text{Cuivre}}}$$

# Le transformateur triphasé

*Les 3 diapositives suivantes portent sur un transformateur trihal de 2500kVA*

Produit : transformateur enrobé	Puissance assignée : 2500 kVA
Type : Abaisseur - Intérieur - Triphasé	Fréquence assignée : 50 Hz
Norme : IEC 726	Masse totale : 8600 kg
Diélectrique : Trihal	Classes (HD464 S1) : C2 E2 F1
Mode de refroidissement : AN	Année : 1997
Ambiante maximum selon IEC 76 : 40 °C	Altitude de fonctionnement : $X < 1000 m$ Décharges partielles : $\leq 10 pC$ à 1.10 Um
Tensions assignées : HT 20000 V	Courants : 72-17 A
Prises : HT 21000 V - 20500 V - 19500 V - 19000 v	
Isolément : 24 kV (125/50)	Tension appliquée : 50 kV
	Durée : 60 s
Tensions assignées : BT 400 V	Courants : 3608.4 A
Isolément : 1.1 kV (0/10)	Tension appliquée : 10 kV
	Durée : 60 s
Couplages : Dyn11	Tension induite : 40000 V
	Durée : 22 s
	Fréquence : 270 Hz

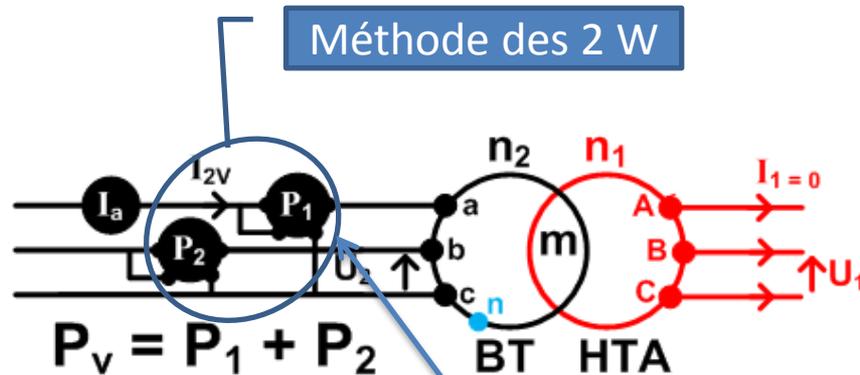
- On mesure  $r_{HT}$  et  $r_{BT}$  entre bornes du transformateur couplé (essai en =) .

Résistances à 20.0 °C	
HT : 0.540 Ω	BT : 0.000210 Ω
0.540 Ω	0.000250 Ω
0.550 Ω	0.000240 Ω
Moyennes : 0.543 Ω	0.000233 Ω
$\Sigma R1^2$ : 4244 W	4557 W
$\Sigma R1^2$ 120 °C : 5942 W	6380 W

*Retrouver, en vous aidant des informations données dans les 2 tableaux, les valeurs des puissances données ci-contre.*

# Le transformateur triphasé

Relever les pertes à vide d'un transformateur de **2500kVA** ([ressource](#))



Mesure des pertes à vide									Résultats
Hz	U(V)	I1(A)	I2(A)	I3(A)	I4(A)	dW1 ± dW2	cte	k	PV
50	400	25.22	19.09	23.13	22.48	7386	1		7386 W

Documents Schneider:  
Trihal 2500KVA

Résultat

## Pertes fer (à vide):

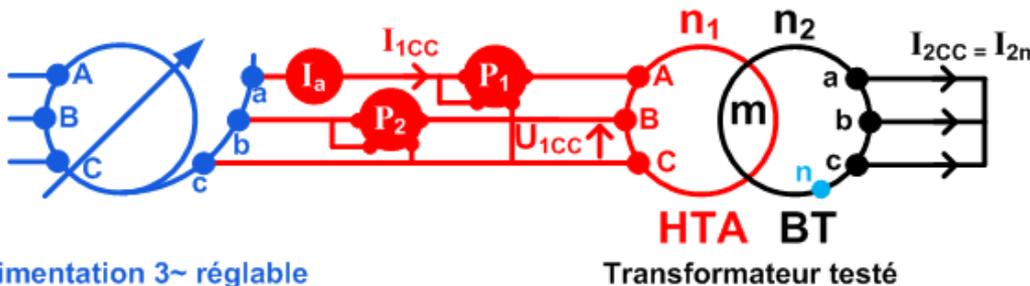
- Elles sont mesurées à partir de l'essai à vide et sont indépendantes de la charge.
- Le transformateur est alimenté en BT (+ simple). La puissance électrique mesurée est perdue dans le circuit magnétique.

# Le transformateur triphasé

Relever les pertes cuivre à 120°C d'un transformateur de **2500kVA** ([ressource](#))

## Pertes cuivre:

- a, b et c sont mises en ct circuit et on règle  $U_{1cc}$  (% de  $U_{HT}$ ) de manière à obtenir  $I_n$ . La puissance électrique mesurée correspond aux pertes joule dans les enroulements HTA et BT.



Mesure des pertes dues à la charge à 20.0 °C (HT/BT)									Résultats à 120 °C		
U(V)	I1(A)	I2(A)	B(A)	cte	dW1±dW2	cte	k	Pmes	PCC	ΔPCC	UCC
1297	72.17	72.17	72.17	1	13550	1		13550			
1297								13550	15714 W	-43.88 %	6.50%

Documents Schneider: Trihal 2500KVA

# Le transformateur triphasé

Étude de cas: [Ressources](#)

**france transfo**  
Schneider Electric

TRANSFORMATEUR TRIPHASE 50 Hz Réf. de conformité

Conforme à Année 2003

400 kVA Nr 53727JF-2 isolement HT KV 125-50

Tension de c/c 4.00% Couplage Dyn11

Haute tension		Basse tension	
pos 1	20500 V		
pos 2	20000 V	410 V	
pos 3	19500 V		

Courants 11.5 A 563.3 A

Nature enroul. ALU  
Refroidissement ONAN  
Diélectrique HUILE  
Masse diél. 240 kg  
Masse à découvrir 675 kg  
Masse totale 1150 kg  
Ambiante 40 °C

Usine de Maizières-Les-Metz ( Moselle ) France

NAL-226374

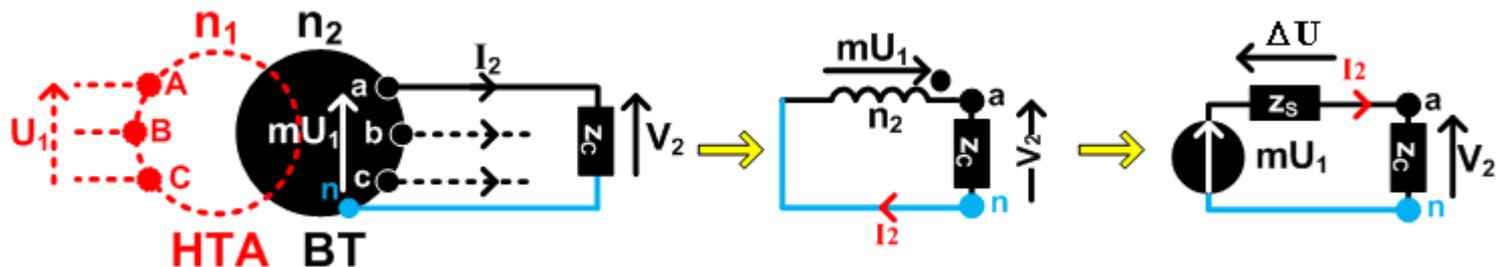
**410v** **Minera**

- la plaque signalétique ci-contre décrit Un transformateur de distribution **Dyn11** de **400kVA**:
- *Le transformateur est sec? oui non*
- *Retrouvez par le calcul la valeur 563,3A.*
- *UCC = 800V? oui non*
- *Calculer le rapport de transformation  $m$  des tensions et des courants.*

# Le transformateur triphasé

fonctionnement en charge (un enroulement): [simulateur](#)

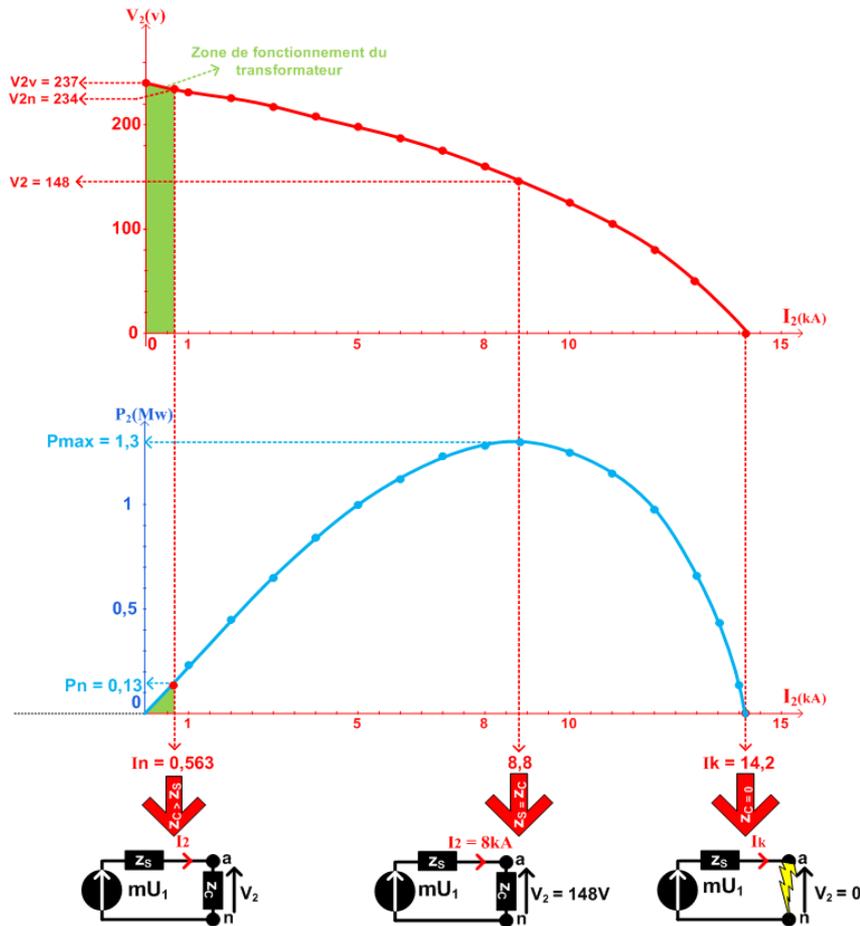
- **zs:** [impédance d'un enroulement](#):  
 $r_s = 4,8m$  et  $x_s = 16m$  ( $S=400kVA$ )
- **zc:** impédance de la charge.
- Le transformateur possède un comportement identique à tous les autres générateurs: La tension  $V_2$  diminue avec le courant  $I_2$  débité, c'est la chute de tension, introduite par l'impédance [zs](#) des enroulements.



Relever à l'aide du simulateur les grandeurs nominales du transformateur de **400kVA**

Marc Sanchez - Lycées Paul Mathou – Gourdan-Polignan – BAC PRO ELEEC

# Le transformateur triphasé



Caractéristique  $U_2 = f(I_2)$  du transformateur de **400kVA**.

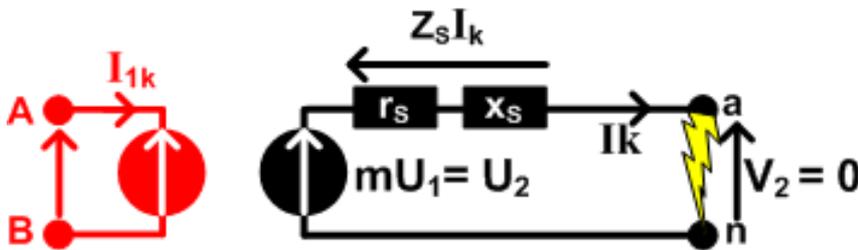
- La plage de fonctionnement du transformateur correspond à la **zone colorée en vert**.
- La non linéarité de la caractéristique augmente pour de très forte valeur de  **$I_2$** . Elle provient de l'impédance  **$z_s$**  qui impose son déphasage lorsque  $z_s > z_c$ .
- La valeur max de la puissance consommée par la charge est obtenue lorsque  **$z_c = z_s$**

# Le transformateur triphasé

- L'impédance  $Z_S$

$$\boxed{r_s + jx_s} = \boxed{Z_s}$$

- Modèle de l'enroulement lors d'un court-circuit



Quel est l'intérêt de connaître l' $I_k$  du transformateur?

Courant de ct-ct:  $I_k$

- L' $I_k$  est la plus grande valeur  $I_{BT}$  que peut fournir le transformateur.
- L'enroulement **BT** débite alors dans son impédance  $Z_s$  sous  $U_{BT}$ .
- Le modèle électrique du transformateur lors de l'essai en ct ct (vu précédemment et sous pleine tension (Ct Ct réel) permet d'illustrer le phénomène.
- Relever l' $I_k(A)$  du transformateur de 400kVA
- Calculer l' $I_k(A)$  du transformateur