

1 Introduction.

1.1 Généralités.

Avant tout, nous tenons à remercier les différents élèves qui en faisant leurs stages chez E.D.F. nous ont ramené les renseignements qui nous ont permis d'organiser ce document à destination des élèves de S.T.S. électrotechnique.

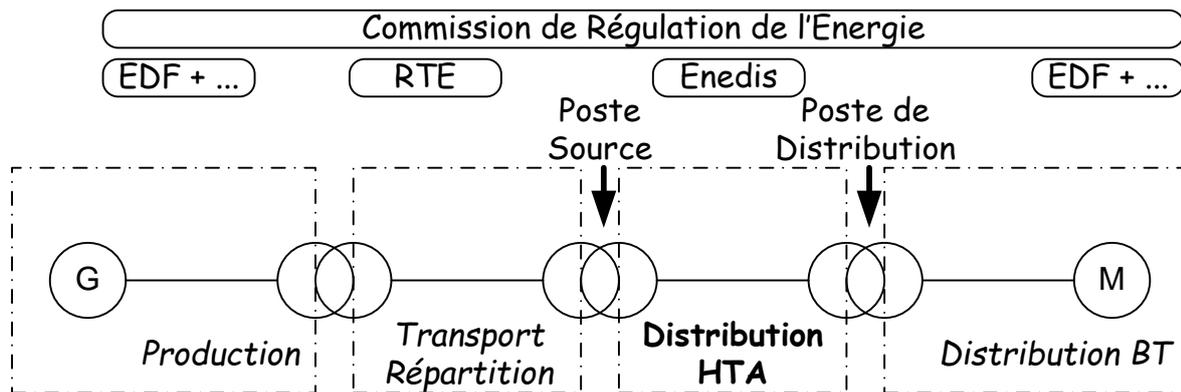
Un remerciement particulier à M. Palka (P2001) et M. Baraille (P2005).

L'étude de la distribution HTA, qu'il s'agisse de la conception, de l'exploitation ou de la maintenance, est complexe et relève bien souvent de compétences dépassant le cadre des savoirs classiques d'un technicien en électrotechnique. Nous avons donc décidé de limiter l'étendue de ce document à l'organisation d'un poste de transformation HTA/BT. Avec deux points particuliers :

les principes d'alimentation HTA,
le transformateur abaisseur.

Ce document est accompagné du dossier rédigé en TP qui illustre sur un exemple les principes de la distribution HTA issue des postes sources ...

1.2 Rappel.



Les termes employés ci-dessus ne sont pas « normalisés » ils servent juste à clarifier les notions utilisées dans ce document. Il a environs en 2014 2200 **postes sources** ...

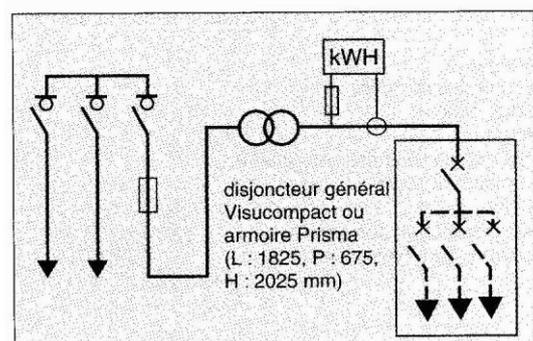
A titre indicatif, en 2015, les clients concernés par les différents niveaux de tension sont approximativement les suivants :

HTA	:	770 000	postes (dont lycée du Dauphiné)
BT	:	35 000 000	clients.

1.2.1 Fonctions.

Un poste de distribution (ou de transformation) doit remplir plusieurs fonctions à savoir :

arrivée et départs de l'énergie,
protection du transformateur HTA/BT,
commutations,
annexes : mesure,
comptage,
contrôle,
liaisons et connexions diverses ...

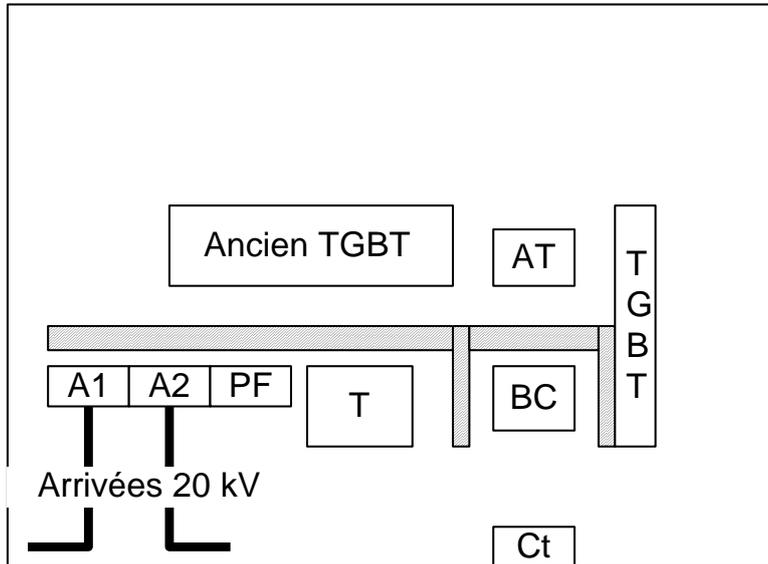


1.2.2 Localisation géographique.

(voir le dossier rédigé en TP concernant le bassin Romano-Péageois et ses 2 postes source).

1.2.3 Localisation physique : exemple du Dauphiné.

(voir le diaporama sur le site COURTD2.free.fr).



A1/A2 : Arrivées HTA,

TGBT : TGBT 410 V,

T : Transformateur HTA/BT,

Ct : Compteur, (en basse tension).

BC : Batterie de condensateurs,

Ancien TGBT: 127/230 V,

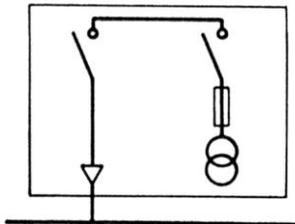
AT : Autotransformateur BT/BT.

2 Arrivées 20 kV.

2.1 Structures des alimentations HTA. (Voir TP).

Comme il a été vu en TP, la structure des postes sources est essentiellement radiale sans arborescence.

2.1.1 Antenne (ou simple dérivation).



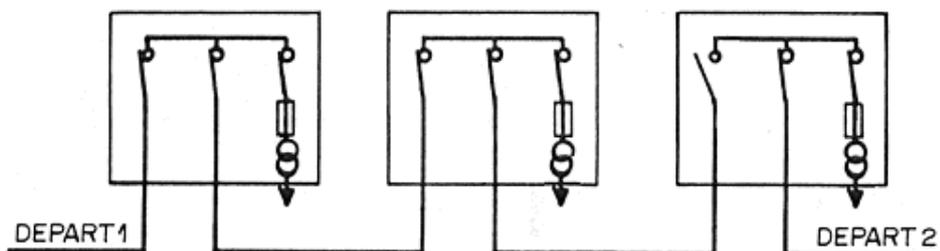
Doc EDF :

Le poste est alimenté par une dérivation simple du réseau HTA. Cette solution est essentiellement utilisée en bout de réseau aérien.

L'inconvénient réside dans l'absence de continuité de service en cas de problème amont ...

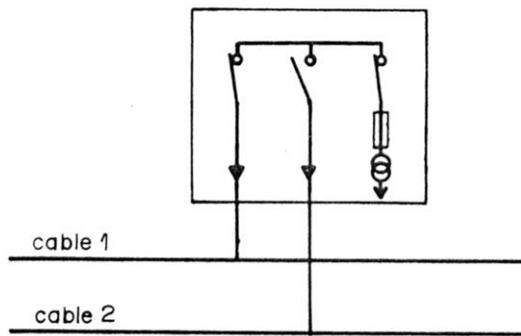
2.1.2 Rupture (ou coupure) d'artère.

Les postes alimentés de cette manière sont traversés par la ligne HTA (Artère). En cas de défaut sur l'artère, les départs BT continuent à être alimentés par fermeture des interrupteurs adéquats. La continuité de service est donc améliorée par rapport à l'alimentation en antenne.



Doc. EDF :

2.1.3 Double dérivation.



Doc. EDF :

Le poste est raccordé à deux câbles d'alimentation (un en service et un en réserve).

En cas de problème, le basculement automatique s'effectue en quelques secondes assurant ainsi une relative continuité de service.

Les deux interrupteurs ne peuvent pas être fermés simultanément, il faut un verrouillage mécanique entre les deux.

(Voir **Stade de France** en fin de chapitre).

2.1.4 Cellules.

Doc. Alstom :

Fonction	Arrivée ou départ par interrupteur.	Départ-protection par association interrupteur-fusibles.	Alimentation en double dérivation ou normal-secours.	Départ-protection par combiné interrupteur-fusibles.	Gaine de liaison - Remontée barres ou - Arrivée directe.
Schéma					
Désignation	IS	PF	DD et NS	PFA	L ou LST

2.1.5 Description fonctionnelle :

Arrivées, départs,

Protections inter à fusibles, disjoncteur etc ...

Mesures : courants, tensions, comptage ...

Adaptation matérielle : haut/bas, JdB, extension Etc, etc ...

2.1.6 Caractéristiques électriques.

Afin de choisir les différentes cellules permettant d'organiser un poste de transformation HTA/BT, il faut définir les critères suivants, et choisir des matériels ayant des caractéristiques telles que :

Critères :

Tension de service (ou d'emplois U_e)

Courant de ligne (ou d'emplois I_e)

Tenue aux court-circuit

Caractéristiques :

Tension assignée U_n .

Courant assigné I_n .

Courant de court-circuit Max (I_{kmax}).

La détermination des protections : calibres ou réglages est le résultat d'études complexes qui dépassent le cadre de ce document. Quelques méthodes de détermination seront cependant vues sous forme de T.D. (avant-projet 2001 par exemple).

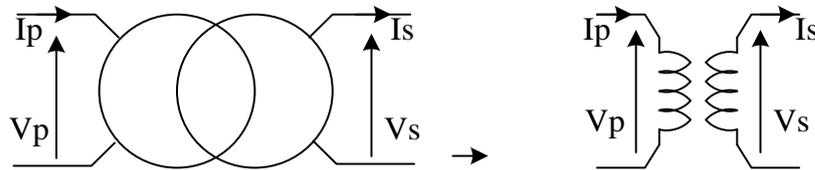
3 Transformateur abaisseur.

3.1 Fonctionnement.

3.1.1 Schéma équivalent.

Un transformateur est un appareil qui permet de modifier la valeur efficace d'une tension sinusoïdale sans en changer la fréquence ni la forme.

Un transformateur monophasé se représente de la manière suivante :



3.1.2 Equations de base.

On définit le rapport de transformation m comme suit :

$$m = \frac{V_s}{V_p} = \frac{I_p}{I_s}$$

Si sa puissance apparente vaut S en VA alors on a en monophasé :

$$S = V_p \cdot I_p = V_s \cdot I_s$$

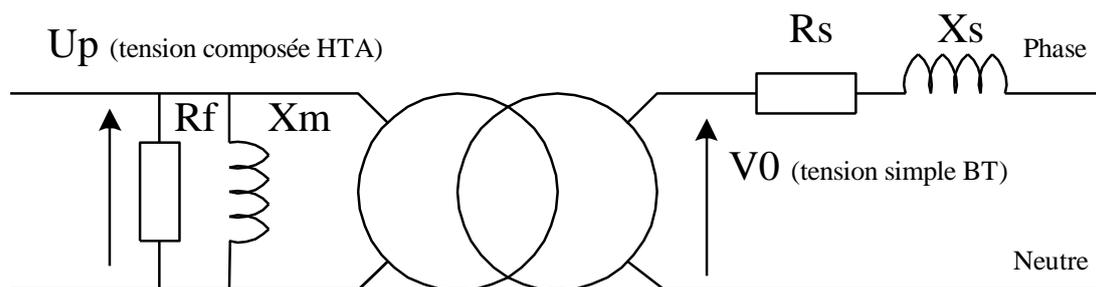
en triphasé :

$$S = 3 \cdot V_p \cdot I_p = 3 \cdot V_s \cdot I_s = \sqrt{3} \cdot U_p \cdot I_p = \sqrt{3} \cdot U_s \cdot I_s$$

3.1.3 Imperfections.

Cette partie est la conclusion technologique du cours sur la modélisation des transformateurs vu en Sciences Appliquées et validé en séance d'essai de système.

Le schéma suivant modélise un transformateur de distribution. Il s'agit d'un modèle équivalent monophasé qui traduit fidèlement le comportement électrique d'un transformateur triphasé.



L'échauffement du transformateur se décompose en deux parties :

Les pertes joules qui dépendent du courant qui circule dans le transformateur. On modélise cet échauffement par la résistance R_s placée en série au secondaire du transformateur.

On a alors $P_j = 3 \cdot R_s \cdot I_s^2$ avec I_s le courant en ligne au secondaire ...

Les pertes fer qui dépendent du temps de branchement du transformateur (même en fonctionnement à vide). On modélise cet échauffement par une résistance R_f placée en parallèle au primaire du transformateur.

On a alors $P_f = 3 \cdot \frac{U_p^2}{R_f}$ avec U_p la tension entre phase au primaire ...

3.2 Caractéristiques.

3.2.1 Plaque signalétique.



3.2.2 Valeurs types.

puissance assignée (kVA) ⁽¹⁾	100	160	250	315*	400	500*	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150																																																																																										
tension assignée primaire ⁽¹⁾	15 ou 20 kV																																																																																																							
secondeire à vide ⁽¹⁾	400 V entre phases, 231 V entre phase et neutre																																																																																																							
niveau d'isolement assigné ⁽⁴⁾ primaire	17,5 kV pour 15 kV 24 kV pour 20 kV																																																																																																							
réglage HTA (hors tension)	± 2,5 % ou ± 5 % ou ± 2,5 % ± 5 % ⁽¹⁾																																																																																																							
couplage	Dyn 11 ⁽¹⁾ (triangle; étoile neutre sorti)																																																																																																							
pertes (W) à vide	210	460	650	800	930	1100	1300	1220	1470	1800	2300	2750	3350	4380																																																																																										
dues à la charge ⁽²⁾	2150	2350	3250	3900	4600	5500	6500	10700	13000	16000	20000	25500	32000	33000																																																																																										
tension de court-circuit (%) ⁽²⁾	4	4	4	4	4	4	4	6	6	6	6	6	6	7																																																																																										
courant à vide (%)	2,5	2,3	2,1	2	1,9	1,9	1,8	2,5	2,4	2,2	2	1,9	1,8	1,7																																																																																										
chute de tension à pleine charge (%)	<table border="0"> <tr> <td>charge cos φ = 1</td> <td>2,21</td> <td>1,54</td> <td>1,37</td> <td>1,31</td> <td>1,22</td> <td>1,17</td> <td>1,11</td> <td>1,51</td> <td>1,47</td> <td>1,45</td> <td>1,42</td> <td>1,45</td> <td>1,45</td> <td>1,29</td> </tr> <tr> <td>charge cos φ = 0,8</td> <td>3,75</td> <td>3,43</td> <td>3,33</td> <td>3,30</td> <td>3,25</td> <td>3,22</td> <td>3,17</td> <td>4,65</td> <td>4,63</td> <td>4,62</td> <td>4,60</td> <td>4,61</td> <td>4,62</td> <td>5,11</td> </tr> <tr> <td>charge cos φ = 1</td> <td>97,69</td> <td>98,27</td> <td>98,46</td> <td>98,53</td> <td>98,64</td> <td>98,70</td> <td>98,78</td> <td>98,53</td> <td>98,57</td> <td>98,60</td> <td>98,63</td> <td>98,61</td> <td>98,61</td> <td>98,83</td> </tr> <tr> <td>charge cos φ = 0,8</td> <td>97,13</td> <td>97,85</td> <td>98,09</td> <td>98,17</td> <td>98,30</td> <td>98,387</td> <td>98,48</td> <td>98,17</td> <td>98,22</td> <td>98,25</td> <td>98,29</td> <td>98,27</td> <td>98,26</td> <td>98,54</td> </tr> <tr> <td>charge cos φ = 1</td> <td>98,14</td> <td>98,54</td> <td>98,70</td> <td>98,75</td> <td>98,84</td> <td>98,89</td> <td>98,96</td> <td>98,81</td> <td>98,84</td> <td>98,86</td> <td>98,88</td> <td>98,87</td> <td>98,87</td> <td>99,04</td> </tr> <tr> <td>charge cos φ = 0,8</td> <td>97,69</td> <td>98,18</td> <td>98,37</td> <td>98,44</td> <td>98,56</td> <td>98,62</td> <td>98,71</td> <td>98,51</td> <td>98,56</td> <td>98,58</td> <td>98,61</td> <td>98,60</td> <td>98,60</td> <td>98,80</td> </tr> </table>														charge cos φ = 1	2,21	1,54	1,37	1,31	1,22	1,17	1,11	1,51	1,47	1,45	1,42	1,45	1,45	1,29	charge cos φ = 0,8	3,75	3,43	3,33	3,30	3,25	3,22	3,17	4,65	4,63	4,62	4,60	4,61	4,62	5,11	charge cos φ = 1	97,69	98,27	98,46	98,53	98,64	98,70	98,78	98,53	98,57	98,60	98,63	98,61	98,61	98,83	charge cos φ = 0,8	97,13	97,85	98,09	98,17	98,30	98,387	98,48	98,17	98,22	98,25	98,29	98,27	98,26	98,54	charge cos φ = 1	98,14	98,54	98,70	98,75	98,84	98,89	98,96	98,81	98,84	98,86	98,88	98,87	98,87	99,04	charge cos φ = 0,8	97,69	98,18	98,37	98,44	98,56	98,62	98,71	98,51	98,56	98,58	98,61	98,60	98,60	98,80
charge cos φ = 1	2,21	1,54	1,37	1,31	1,22	1,17	1,11	1,51	1,47	1,45	1,42	1,45	1,45	1,29																																																																																										
charge cos φ = 0,8	3,75	3,43	3,33	3,30	3,25	3,22	3,17	4,65	4,63	4,62	4,60	4,61	4,62	5,11																																																																																										
charge cos φ = 1	97,69	98,27	98,46	98,53	98,64	98,70	98,78	98,53	98,57	98,60	98,63	98,61	98,61	98,83																																																																																										
charge cos φ = 0,8	97,13	97,85	98,09	98,17	98,30	98,387	98,48	98,17	98,22	98,25	98,29	98,27	98,26	98,54																																																																																										
charge cos φ = 1	98,14	98,54	98,70	98,75	98,84	98,89	98,96	98,81	98,84	98,86	98,88	98,87	98,87	99,04																																																																																										
charge cos φ = 0,8	97,69	98,18	98,37	98,44	98,56	98,62	98,71	98,51	98,56	98,58	98,61	98,60	98,60	98,80																																																																																										
bruit (dBA) puissance acoustique Lwa	53	59	62	64	65	67	67	68	68	70	71	72	74	74																																																																																										
pression acoustique Lpa à 0,3 mètre	42	48	50	52	53	54	54	55	55	56	58	58	59	59																																																																																										

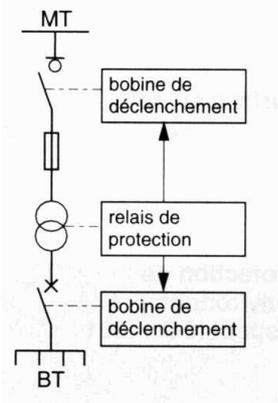
3.3 Protections.

3.3.1 Protections électriques.

Le choix des protections électriques est très spécifique en raison du comportement du transformateur lors de sa mise sous tension et de la pointe de courant qui apparait alors.

(Voir les TD correspondant au choix de fusibles HTA de protection ...).

3.3.2 Protections internes.



Doc. Schneider

Les enroulements du transformateur baignent généralement dans un diélectrique chargé de les refroidir.

En cas de défaut, il faut éviter les échauffements anormaux et leurs conséquences qui peuvent être destructrices !

- On utilise un DGPT2, dispositif de protection capable de détecter :
- les dégagements gazeux internes
 - les suppressions,
 - les élévations de température anormales,

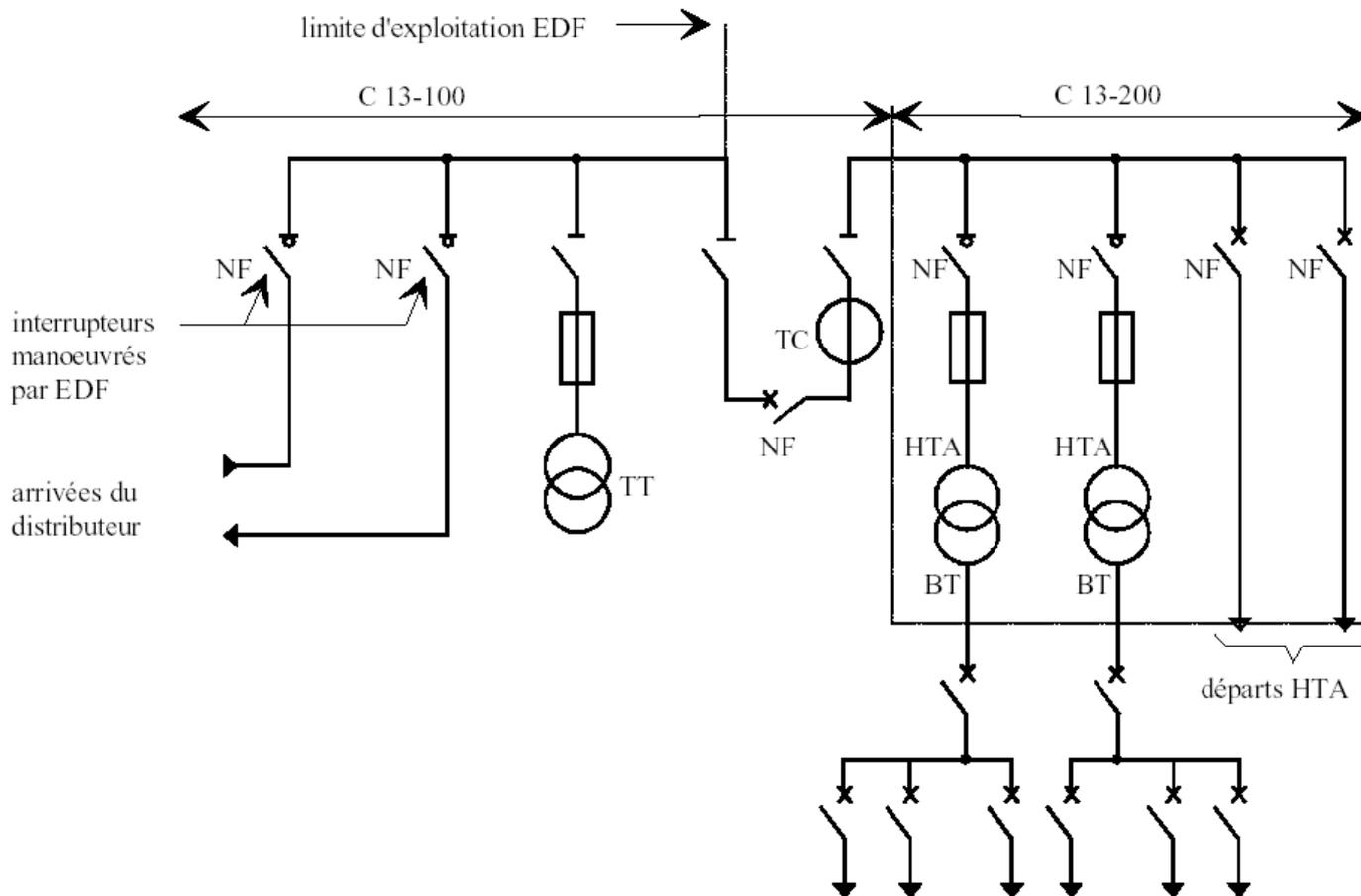
et d'agir en ouvrant les dispositifs en amont aussi bien qu'en aval.
(Voir le TD correspondant ...)

4 Annexes.

4.1 Exemple de poste.

4.1.1 Schéma.

Documentation Schneider



EX : dessiner le raccordement d'un compteur d'énergie coté HTA ...

4.1.2 Description.

Alimentation en rupture d'artère, comptage HTA, deux transformateurs HT/BT et départs HTA.

4.1.3 Problème du comptage.

(Voir le TP tarification et le raccordement d'un compteur/centrale au chapitre 14 ...)

Le comptage, et donc la facturation de l'énergie consommée (active, réactive, harmoniques ...), nécessite une analyse de l'énergie fournie. Il faut donc disposer d'images précises des tensions disponibles ainsi que des courants absorbés.

Le comptage peut s'effectuer au primaire du transformateur, dans ce cas, on utilise généralement des transformateurs de potentiel pour abaisser les tensions mesurées par le compteur.

En revanche s'il s'effectue au secondaire il faut intégrer les pertes internes du transformateur.

C'est la norme NFC 13-100 qui définit l'emplacement du comptage :

avec un seul transformateur de courant nominal $I_{sn} < 2000$ A le comptage s'effectue en basse tension.
autres cas : il s'effectue en haute tension.

5 Exemple du Stade de France¹.

L'objet de l'étude porte sur l'alimentation en énergie électrique du stade de France.

5.1 Structure HTA.

- 5.1.1 Repérez l'arrivée normale ENEDIS (ERDF) et donnez son type.
- 5.1.2 Surlignez en vert la boucle d'alimentation normale 20 kV.
- 5.1.3 Surlignez en jaune la boucle d'alimentation de remplacement 20 kV.
- 5.1.4 Mettez en évidence (rouge) la boucle de sécurité 20 kV.
- 5.1.5 Quel est le principal schéma de liaison à la terre du neutre de cette installation ?
- 5.1.6 Comment est renforcée la continuité de service au niveau des circuits de sécurité basse tension (410V) ?

5.2 Liaison « Livraison » / « Poste Sud-Est ».

On veut travailler sur le câble de liaison entre le poste de livraison et le poste satellite Sud-Est.

- 5.2.1 Indiquez les deux appareils à manoeuvrer.

Ces deux appareils sont condamnables en manoeuvre et en mise à la terre au moyen de clefs.

Un point noir indique une clef présente, un point blanc une clef absente et deux points (noir et blanc) une clef présente mais prisonnière en l'absence de la deuxième.

- 5.2.2 Indiquez les manoeuvres à réaliser pour séparer le câble et le mettre à la terre.

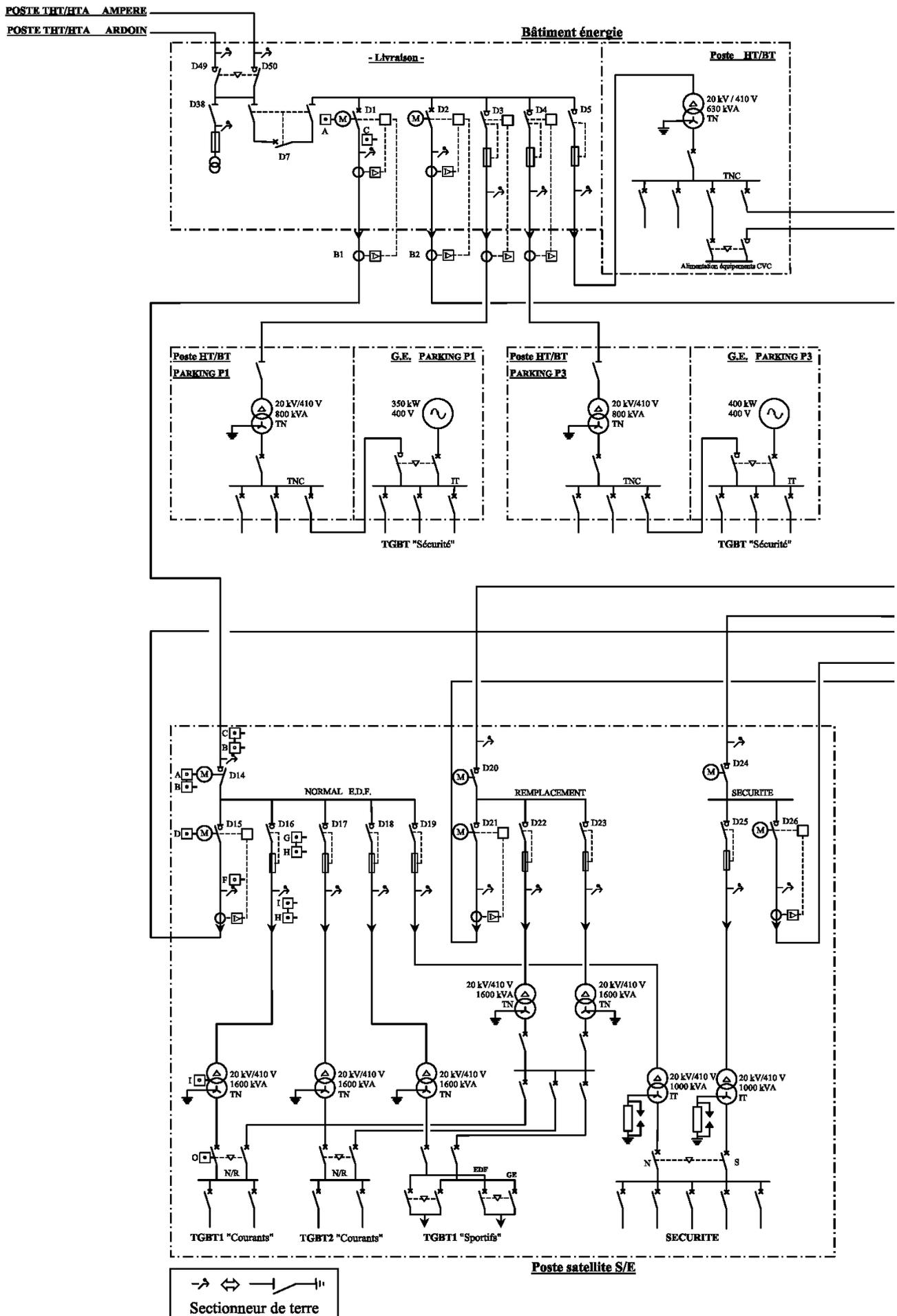
5.3 Dimensionnement des cellules.

- 5.3.1 En considérant les puissances apparentes des transformateurs abaisseurs, quelle est la puissance installée Sino dans le poste satellite Nord Ouest ? Et Sise pour le poste Sud Est ?
- 5.3.2 Déduisez en le courant maximal I_{max} pouvant traverser les cellules de la boucle normale surlignée en vert.
- 5.3.3 Les cellules installées sur cette boucle ont un courant assigné $I_{sn}=400A$, sont-elles compatibles avec le fonctionnement maximal du stade ?
- 5.3.4 Qu'en est-il de la cellule D7 ?

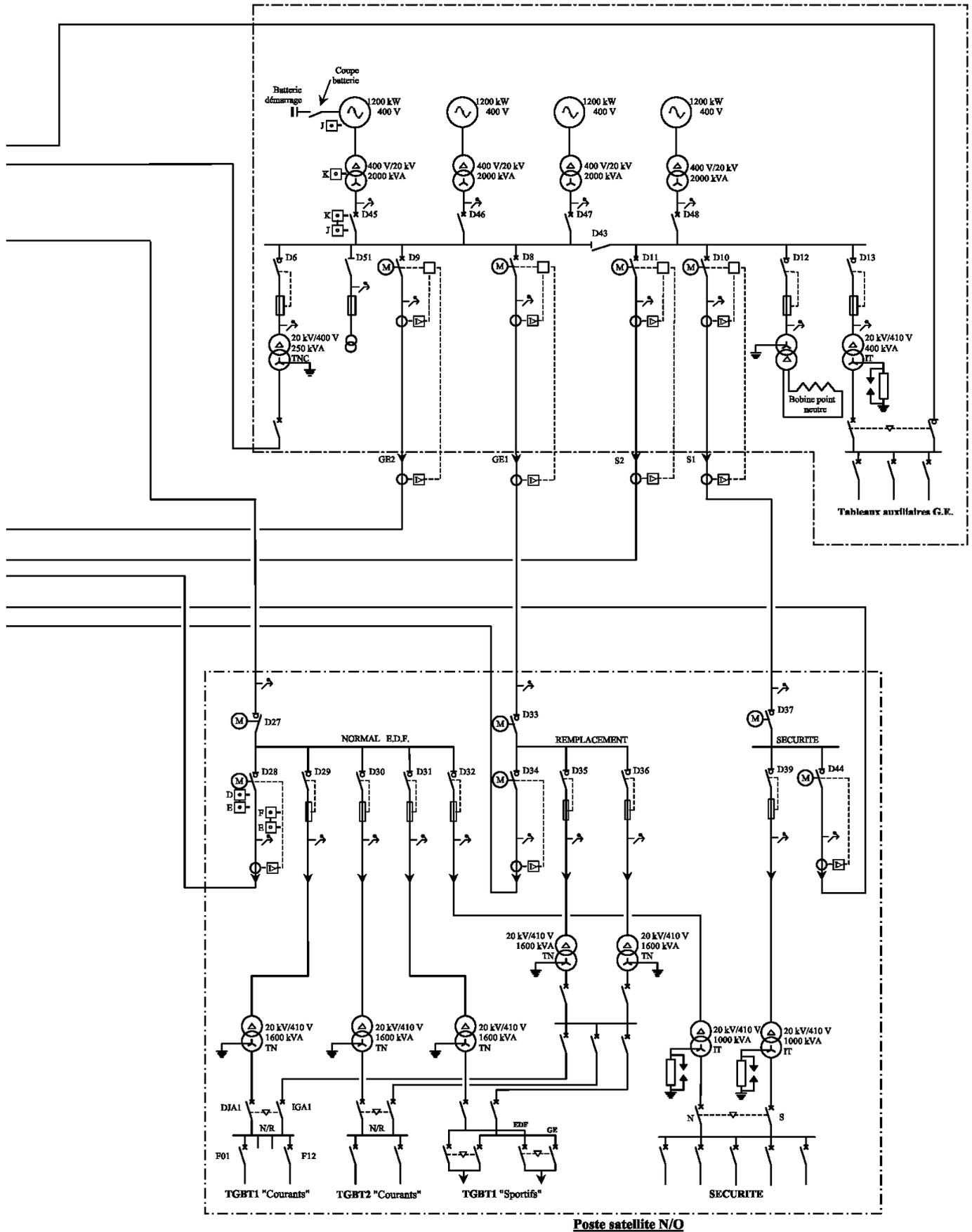
5.4 Centrale GE.

- 5.4.1 Combien vaut la puissance active nominale P_n fournie par un groupe électrogène ?
- 5.4.2 Combien vaut la puissance apparente nominale S_n du transformateur chargé d'élever la tension fournie par ce groupe électrogène ?
- 5.4.3 Les groupes électrogènes peuvent fournir de l'énergie réactive, quelle puissance réactive maximale peuvent-ils fournir sans endommager le transformateur auquel ils sont raccordés en fonctionnement nominal ?
- 5.4.4 Quel est le facteur de puissance correspondant ?

¹ Extrait du concours général 1999.



Centrale G.E. - Bâtiment énergie



(Notes)