

**EXAMEN FINAL (SUJET) - 2016**  
**CONCEPTION & DIMENSIONNEMENT**  
**DES RESEAUX ELECTRIQUES INDUSTRIELS**  
**ER40 – Haute tension**

**Durée : 2 heures**

**RECOMMANDATIONS GENERALES**

Vérifier que le sujet comporte **11 pages**.

L'épreuve est à traiter obligatoirement sur ce sujet, aux endroits prévus à cet effet.

**Le candidat utilisera les notations propres au sujet, présentera clairement ses calculs et encadrera les résultats attendus.**

Le passage d'une forme littérale à son application numérique se fait dans le respect de la position de chaque grandeur exprimée. Le résultat numérique est donné avec son unité.

Le(s) correcteur(s) apprécie(nt) une copie soignée et rédigée lisiblement.

Si le texte du sujet, de ses questions ou de ses documents annexes, conduit le candidat à formuler une ou plusieurs hypothèses, il lui est demandé de la (ou les) mentionner explicitement dans sa copie.

**Notation** : Epreuve évaluée sur un total de 20 points.

- 45% des points sont attribués à des questions de cours et TP (40 mn environ)
- 55% des points sont attribués aux exercices (1h20 mn environ)

**Coefficient** de l'épreuve finale : 4

**Matériel autorisé** : Calculatrice de poche alphanumérique ou à écran graphique à fonctionnement autonome sans imprimante. **UTILISATION DU TELEPHONE PORTABLE INTERDITE.**

**NOM** : \_\_\_\_\_

## 1<sup>ère</sup> partie : Questions de cours (9 points sur 20)

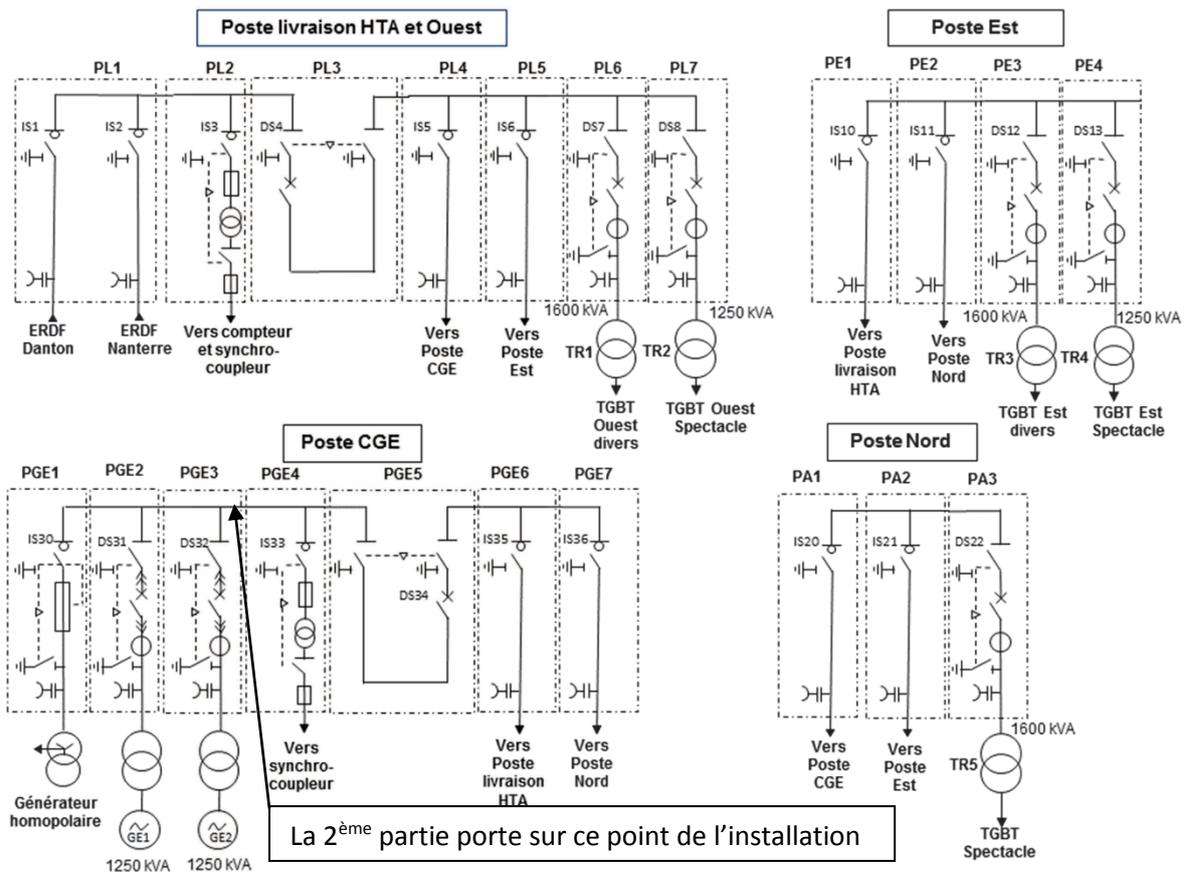
L'Aréna – Nanterre La Défense est une enceinte en cours de construction. Elle est située derrière la Grande Arche de la Défense dans le département des Hauts-de-Seine.

Cette enceinte devra accueillir des manifestations sportives et culturelles. Sa structure modulaire permettra à 32 000 personnes d'assister aux matchs du club de rugby du Racing- Métro ou à 40 000 personnes de se réunir à l'occasion de spectacles, concerts ou congrès. Elle disposera également d'une surface de 33 000 m<sup>2</sup> pour l'installation de bureaux et commerces. Elle sera mise en service en décembre 2016.

L'installation électrique, d'une puissance de 4600 kVA, comprend 3 types d'équipement : ceux utilisés lors des spectacles comme l'éclairage, la vidéo, la sonorisation (1800 kVA) ; ceux de sécurité comme les alarmes, la signalisation, les détecteurs (800 kVA) et les équipements pour la ventilation, les bureaux, les restaurants, les commerces (2000 kVA).

Des extensions futures sont prévues.

La disponibilité de l'énergie électrique durant les manifestations est assurée par le réseau d'ENEDIS, ex ERDF, et des groupes électrogènes. Ces groupes sont nommés « la centrale groupe électrogène (CGE) ».



/0,5

01/ L'alimentation électrique d'ENEDIS est en 20 kV. De quel domaine de tension s'agit-il ? Qu'appelle-t-on « ouvrage de 1<sup>ère</sup> catégorie » en distribution publique ?



/2,5

02/ Indiquer le type d'architecture du « poste de livraison HTA et Ouest » utilisé dans le schéma ci-dessus.



Quel en est l'intérêt ?



Pourquoi a-t-on choisi d'effectuer le comptage sur la partie haute tension ?



Quel est le type d'architecture du réseau 20 kV installé sur le site ?



Quel norme a été appliquée pour concevoir le réseau 20 kV du site ?



/0,75

3/ Les unités fonctionnelles « protection transformateur » sont équipées de disjoncteur. Aurait-on pu choisir des unités fonctionnelles avec fusibles ? Pourquoi ?



/1,25

4/ On souhaite changer le câble qui relie l'unité fonctionnelle PGE7 à l'unité fonctionnelle PA1. Ces cellules sont équipées de sectionneur de mise à la terre. En supposant qu'on débute les opérations au poste nord, indiquer l'ordre chronologique d'ouverture et de fermeture des différents appareils afin de pouvoir changer le câble.



Quel titre d'habilitation doit posséder la personne qui va effectuer les manœuvres ?



Citer les différents équipements de protection individuelle que doit utiliser la personne qui va effectuer cette opération :

/0,5

05/ Comment peut-on expliquer, d'un point de vue technique, l'intérêt de la mise en place de sectionneurs de mise à la terre dans les cellules HTA ?



/1

06/ La tension 20 kV du PL1 est issue du poste source de Nanterre. Quel est le rôle d'un poste source ?



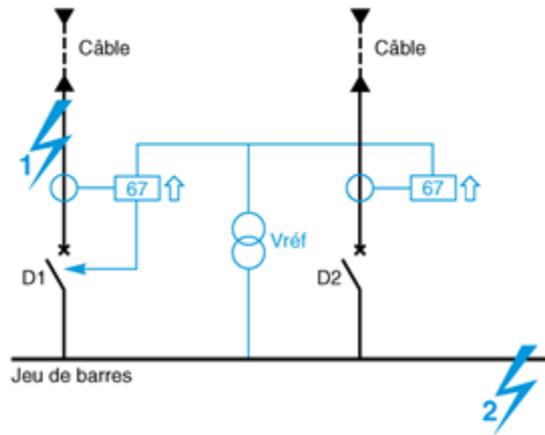
/1,25

07/ Citer les 5 types de schéma de liaison à la terre possibles sur une installation HTA :



/1,25

08/ Quel (s) disjoncteur (s) protégera (ont) l'installation en cas de court-circuit repéré « 1 » ?  
Quel (s) disjoncteur (s) protégera (ont) l'installation en cas de court-circuit repéré « 2 » ?  
Comment s'appelle ce type de protection ? Quel en est le principe ?



- Défaut 1 :
- Défaut 2 :
- Type de protection :
- Principe :

**2<sup>ème</sup> partie : Calcul d'un Ik3 et d'un Ik1 en un point du circuit par la méthode des composantes symétriques ; détermination des pouvoirs de coupure et de fermeture du disjoncteur situé dans l'unité fonctionnelle PGE3 (11 points sur 20)**

Le groupe électrogène repéré GE2 a une puissance de 1250 kVA. Sa tension de sortie est de 400 V, son facteur de puissance de 0,78. Sa réactance subtransitoire est de 15% et sa réactance transitoire de 20%. Etant relié à la terre par une impédance, l'impédance homopolaire  $\underline{Z}_o$  sera négligé.  $\underline{Z}_d = \underline{Z}_i$ . On posera  $R/X = 0,1$ .

Le transformateur a les caractéristiques suivantes :  $S = 1250$  kVA et  $U_{cc} = 5,5\%$ . Il va transformer la tension de 400V issue du groupe électrogène en 20 000V pour alimenter le réseau HTA de l'installation. On posera  $R_o / R_{transfo} = 1$  ;  $X_o / X_{transfo} = 0,9$  ;  $\underline{Z}_d = \underline{Z}_i$  ;  $I_{2CC} = I_{2n}$  ;  $P_{1cc} = 16$  kW.

On se focalisera, dans le cadre de cet exercice, uniquement sur l'unité fonctionnelle PGE3 prise séparément du reste de l'installation (cf page 2). On négligera les impédances de l'appareillage et des liaisons. Cet exercice n'a qu'une finalité pédagogique. On utilisera, pour les calculs, la méthode la plus précise possible.

**ON TRAVAILLERA AVEC UNE PRECISION DE 10<sup>-3</sup>**

01/ Calculez les impédances transitoire et subtransitoire du groupe électrogène.

/2

➤ Impédance transitoire :

$$Z' = Z_d' = Z_i' =$$

$$R' = R_d' = R_i' =$$

$$X' = X_d' = X_i' =$$

➤ Impédance subtransitoire :

$$Z'' = Z_d'' = Z_i'' =$$

$$R'' = R_d'' = R_i'' =$$

$$X'' = X_d'' = X_i'' =$$

2/ Calculer l'impédance, la résistance et la réactance, vues du secondaire, du transformateur. En déduire les composantes symétriques de ce dernier.

/2

$$Z_{\text{transfo}} =$$

$$R_{\text{transfo}} = R_d = R_i =$$

$$X_{\text{transfo}} = X_d = X_i =$$

$$R_0 =$$

$$X_0 =$$

/3

03/ A l'aide des composantes symétriques, calculer le courant de court-circuit triphasé ( $I_{k3}$ ) sur un défaut franc au secondaire du transformateur, sur le jeu de barres qui relie PGE3 à PGE4, en transitoire puis en subtransitoire.

$$I'_{k3} =$$

$$I''_{k3} =$$

/1

04/ Quels doivent être les pouvoirs de coupure et de fermeture du disjoncteur de l'unité fonctionnelle PGE3 ?

$$P_{dc} =$$

$$P_{df} =$$

/3

05/ Nous sommes en présence d'un défaut impédant phase / terre type  $I_{k1}$  sur le secondaire du transformateur de l'unité fonctionnelle PGE3. L'impédance de court-circuit est de  $20j \Omega$ . On demande de calculer la valeur du courant de défaut par la méthode des composantes symétriques. On se placera dans le cas d'un régime transitoire.

$I_{k1} =$

## FORMULAIRE

Transformation de Fortescue	Transformation inverse
$\begin{bmatrix} \underline{V}_1 \\ \underline{V}_2 \\ \underline{V}_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \underline{V}_0 \\ \underline{V}_d \\ \underline{V}_i \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} \underline{V}_0 \\ \underline{V}_d \\ \underline{V}_i \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \underline{V}_1 \\ \underline{V}_2 \\ \underline{V}_3 \end{bmatrix}$

Matrice des impédances :

$$\begin{bmatrix} \underline{Z}_o \\ \underline{Z}_d \\ \underline{Z}_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \underline{Z} + \underline{Z}' + \underline{Z}'' & 0 & 0 \\ 0 & \underline{Z} + a \cdot \underline{Z}' + a^2 \cdot \underline{Z}'' & 0 \\ 0 & 0 & \underline{Z} + a^2 \cdot \underline{Z}' + a \cdot \underline{Z}'' \end{bmatrix}$$

Réseau amont :  $Z_{cc} = \frac{U_n^2}{S_{cc}}$  ; machine tournante :  $Z = \frac{U_n^2}{S_n} U_{cc} (\%)$

Transformateur :  $Z = \frac{U_n^2}{S_n} U_{cc} (\%)$  ;  $S = U \cdot I \cdot \sqrt{3}$  ;  $P_{1cc} = 3 \cdot R_s \cdot I_{cc}^2$  ;

### Rappel :

Coefficient de 2,5 entre court-circuit symétrique et asymétrique.

On ajoute 10% de tension pour le dimensionnement des disjoncteurs.

TYPE DE COURT-CIRCUIT	TYPE DE DÉFAUT	VALEUR COMPLEXE DU COURANT DE COURT-CIRCUIT	MODULE (VALEUR EFFICACE) DU COURANT DE COURT-CIRCUIT
Triphasé	Défaut impédant ou franc	$I_{cc3} = \frac{E_d}{Z_d}$	$I_{cc3} = \frac{V}{ Z_d } = \frac{U}{ Z_d  \cdot \sqrt{3}}$
Biphasé-terre	Défaut impédant	$I_{cc2T} = \frac{-3 Z_i}{Z_d Z_i + (3 Z_0 + Z_d)(Z_d + Z_i)} \times E_d$	$I_{cc2T} = \frac{\sqrt{3}  Z_i }{ Z_d Z_i + (3 Z_0 + Z_d)(Z_d + Z_i) } \times U$
	Défaut franc	$I_{cc2T} = \frac{-3 Z_i}{Z_d Z_i + Z_i Z_0 + Z_0 Z_d} \times E_d$	$I_{cc2T} = \frac{\sqrt{3}  Z_i }{ Z_d Z_i + Z_i Z_0 + Z_0 Z_d } \times U$
Biphasé isolé	Défaut impédant	$I_{cc2} = \frac{3}{a^2 - a} \times \frac{E_d}{Z_d + Z_i + Z_c}$	$I_{cc2} = \frac{U}{ Z_d + Z_i + Z_c }$
	Défaut franc	$I_{cc2} = \frac{3}{a^2 - a} \times \frac{E_d}{Z_d + Z_i}$	$I_{cc2} = \frac{U}{ Z_d + Z_i }$
Monophasé-terre	Défaut très impédant	$I_{cc1T} = \frac{E_d}{Z}$	$I_{cc1T} = \frac{V}{ Z } = \frac{U}{ Z  \cdot \sqrt{3}}$
	Défaut impédant	$I_{cc1T} = \frac{3 E_d}{Z_0 + Z_d + Z_i + 3 Z}$	$I_{cc1T} = \frac{3 \cdot V}{ Z_0 + Z_d + Z_i + 3 Z } = \frac{\sqrt{3} \cdot U}{ Z_0 + Z_d + Z_i + 3 Z }$
	Défaut franc	$I_{cc1T} = \frac{3 E_d}{Z_0 + Z_d + Z_i}$	$I_{cc1T} = \frac{3 \cdot V}{ Z_0 + Z_d + Z_i } = \frac{\sqrt{3} \cdot U}{ Z_0 + Z_d + Z_i }$