

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

Durée : 2 heures

RECOMMANDATIONS GENERALES

Vérifier que le sujet comporte **14 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 techniques, 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.

- 50% des points sont attribués à des questions de cours et TP (40 mn)
- 50% des points sont attribués aux exercices (1h20 mn) ; la question 8 est indépendante des précédentes.

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 : _____

1ère partie : Questions de cours (10 points sur 20)

Le schéma unifilaire de l'annexe 1 représente la boucle 15 kV de l'hôpital de Charleville Mézières.

.....

/0,75

01/ Dans quelle domaine de tension se situe le 15 kV ?

Indiquer les valeurs limites, en courant alternatif, des domaines de tension en HT.

Qu'appelle-t-on « ouvrage de 2^{ème} catégorie » en distribution publique ?



.....

/3,5

02/ Indiquer le type d'architecture de l'alimentation EDF utilisé dans le schéma en annexe 1.

Quel en est l'intérêt ?

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

Citer les différents cas où ce type de comptage est obligatoire.

Le client souscrit à une augmentation de puissance. ERDF doit modifier le couplage des transformateurs de courant dans la cellule DM2 (protection générale). On supposera que l'installation est en mode d'exploitation. Citer les différentes étapes à suivre afin de consigner cette cellule « disjoncteur » (les symboles des clés et serrures ont été effacés) ainsi que les consignes de sécurité à respecter.

Quel titre d'habilitation doit-on posséder pour réaliser cette manœuvre ?

➤ Type d'architecture :

➤ Intérêt :

➤ Comptage HT car :

➤ *Comptage HT obligatoire si :*

➤ *Etapes de consignation :*

➤ *Consignes de sécurité :*

➤ *Titre d'habilitation nécessaire :*

.....
/0,5

03/ En distribution publique, avec un SLT type « neutre relié à la terre par impédance de limitation » (IL), à quelles valeurs cette impédance limite un courant de défaut type I_{k1} ?

➤

.....
/0,5

04/ Quelle est la couleur du tarif auquel a du souscrire le client (hôpital) auprès d'EDF ? Justifier.

➤

➤

.....
/1,75

05/ Quel est l'intérêt et le principe du schéma de liaison à la terre en neutre compensé (IC) ?
A partir de quel(s) critère(s) est-il décidé d'étudier l'opportunité du passage de IL en IC ?

➤ Intérêt :

➤ Principe :

➤ Critère (s) :

.....
/1

06/ Citer les 4 types de défaut, en fonction de leur durée, que l'on est susceptible de rencontrer sur un réseau HTA.

➤

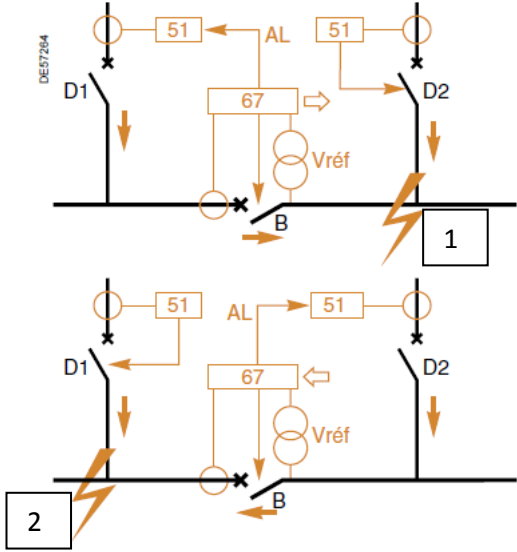
➤

➤

➤

.....
/1,5

07/ 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 :

.....
/0,5

8/ Qu'appelle-t-on « bushing » ? Quel est leur rôle ?

-
-

2^{ème} partie : Calcul de courants de court-circuit avec la méthode des composantes symétriques (10 points sur 20)

Le raccordement d'une installation au RPT (Réseau Public de Transport) est scindé en deux phases : l'étude du raccordement et la réalisation de celui-ci (cf. figure ci-dessous).

La phase d'étude est consécutive à une demande de raccordement au RPT et aboutit à la proposition d'une solution technique caractérisée en termes de consistance, coût et délai. On distingue trois types d'étude de raccordement :

L'étude exploratoire. Elle consiste en une approche prospective des solutions de raccordement et ne permet pas d'aboutir directement à la phase de réalisation.

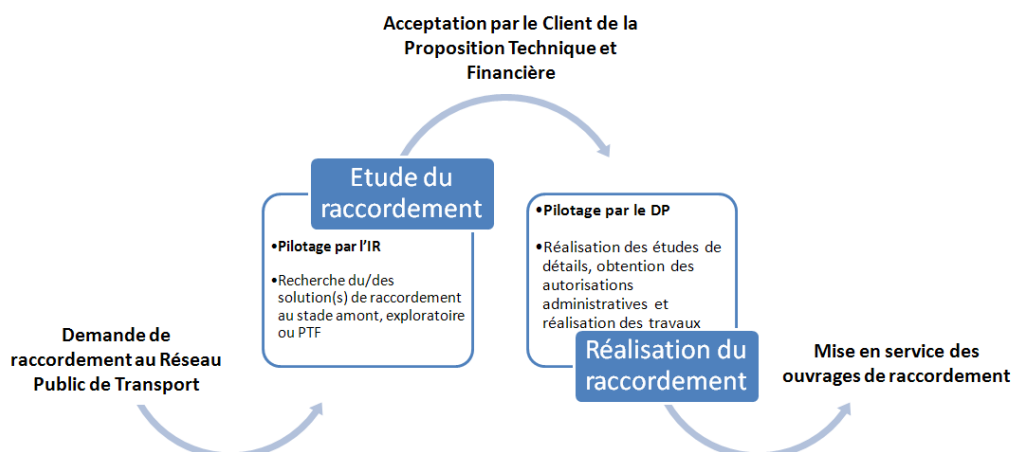
La Proposition Technique et Financière (PTF). Elle consiste en une approche détaillée et complète des solutions de raccordement, et constitue un engagement de RTE. Une fois signée, la phase de réalisation du raccordement est engagée.

L'étude « amont ». Elle s'applique aux distributeurs et doit permettre un niveau de concertation élevé dans le cadre du développement des réseaux publics d'électricité. L'objectif est d'organiser une collaboration entre les gestionnaires de réseaux de transport et de distribution afin d'assurer une desserte rationnelle et de qualité du territoire national. Ce type d'étude est à caractère prospectif, sans engagement de RTE, et doit être suivi d'une étude de type PTF pour la mise en œuvre effective de la stratégie préférentielle identifiée lors de l'étude amont.

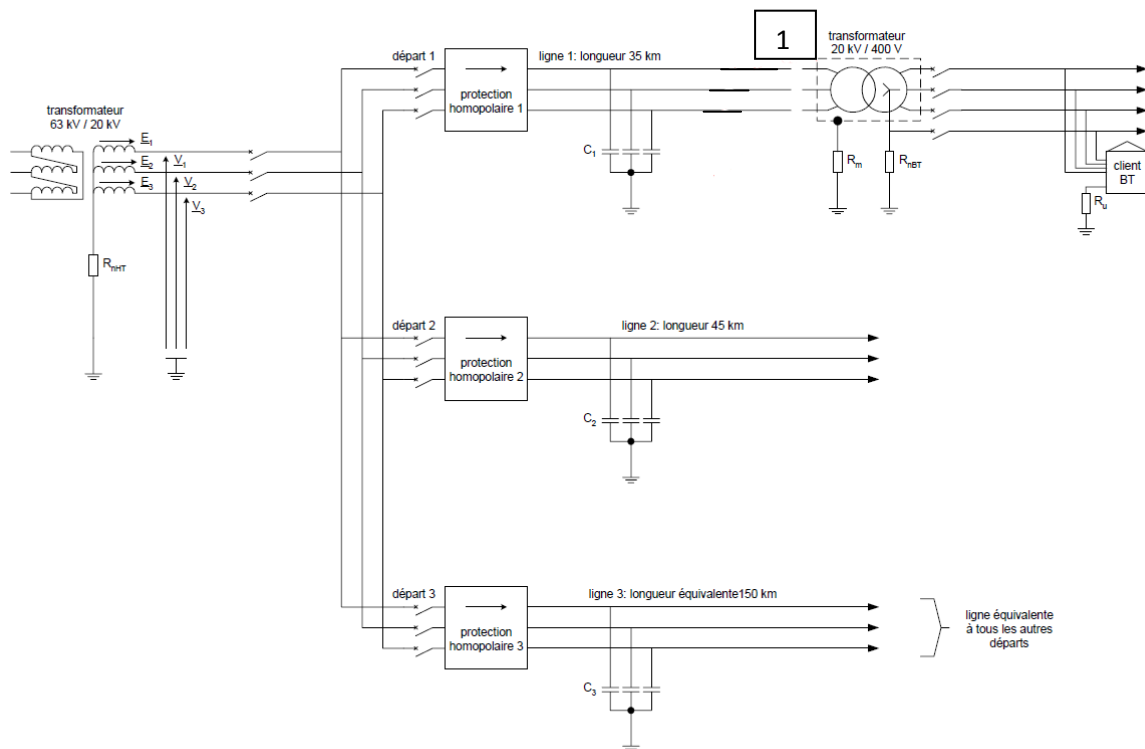
Il est à noter que ces phases ne concernent que l'étude des travaux RTE. La construction des actifs du Client n'est pas prise en compte et il lui appartient de réaliser le bilan économique global du raccordement proposé.

La phase d'étude du raccordement est pilotée au niveau régional, par un Ingénieur Raccordement (IR).

La phase de réalisation comprend les études de détail, l'obtention des autorisations administratives et la construction des ouvrages, et aboutit à la mise en service du raccordement. Le pilotage de cette phase est assuré par un Directeur de Projet (DP).



Le Distributeur ERDF a sollicité RTE pour étudier l'extension d'un Poste Source HTB/HTA dans le cadre d'une étude amont (schéma partiel ci-dessous). Il envisage une augmentation de la puissance soutirée.



Caractéristique du réseau : $U_r = 63 \text{ kV}$; $I_{CCR} = 21 \text{ kA}$; $R/X = 0,1$; le réseau HTB étant à neutre mis directement à la terre, on considèrera $\underline{Z}_o = \underline{Z}_d$ ($R_o = R_d$ et $X_o = X_d$).

Caractéristique du transformateur : 63/20 kV - $S_t = 10 \text{ MVA}$ – Dyn11 – $S_{cc} = 463 \text{ MVA}$ – $U_{cc} = 10\%$ - $R_{(0)}/R_t = 1$ - $X_{(0)}/X_t = 0,9$ - $R/X = 0,15$.

Caractéristique des lignes : On ne tiendra compte que de la ligne 1 (impédance négligée des barres de départ car liaison courte). Sa longueur est de 35 km. On prendra comme résistivité du câble $36 \text{ m}\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ (norme UTE C 13-205, §C3.1.1). Les câbles ont une section de 240 mm^2 . La réactance linéique est de $0,12 \Omega/\text{km}$, la réactance homopolaire de $0,15\Omega/\text{km}$ et la résistance homopolaire de $0,3\Omega/\text{km}$.

On considère $\underline{Z}_d = \underline{Z}_i$.

On demande de déterminer les courants de court-circuit biphasé isolé, monophasé et triphasé au point repéré1 par la méthode des composantes symétriques afin de dimensionner le disjoncteur à installer sur le primaire du transformateur.

Les formules nécessaires sont dans le formulaire (page 13).

ON TRAVAILLERA AVEC UNE PRECISION DE 10^{-3}

.....
/0,75

01/ Calculer l'impédance, la résistance et la réactance du réseau amont vues du point 1 :

$$Z_r =$$

$$R_r =$$

$$X_r =$$

.....
/0,75

02/ Calculer l'impédance, la résistance et la réactance du transformateur vues du point 1 :

$$Z_t =$$

$$R_t =$$

$$X_t =$$

.....
/0,5

03/ Calculer la résistance et la réactance de la ligne 1 :

$$R_L =$$

$$X_L =$$

.....
/1,5

04/ Calculer le courant de court-circuit biphase (I_{k2}) isolé sur un défaut franc au point 1 :

$$I_{k2} =$$

.....
/1,5

05/ La résistance de point neutre (RPN) prévue du transformateur est de 60Ω . Déterminer la valeur du courant de court-circuit monophasé (I_{k1}) sur un défaut franc au point 1 par la méthode des composantes symétriques.

I_{k1} sur défaut franc =

.....
/2

06/ On souhaite insérer un nouveau disjoncteur sur le primaire du transformateur 20kV/400V au point 1. Calculer le courant de court-circuit sur un défaut triphasé (I_{k3}) en ce point et ensuite, ses pouvoirs de coupure et de fermeture.

$$I_{k3} =$$

$$P_{dc} =$$

$$P_{df} =$$

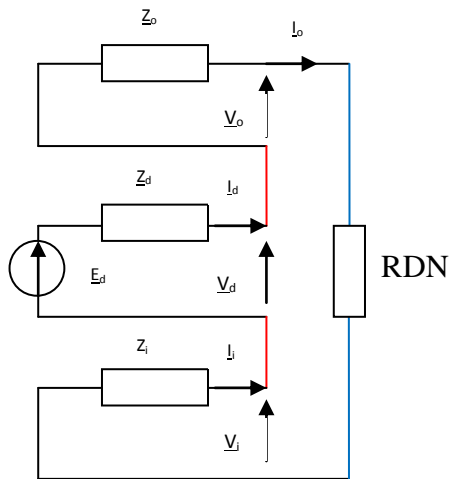
.....
/0,5

07/ Est-il nécessaire de mettre un disjoncteur au point 1 ou des fusibles suffisent-ils ? Pourquoi ?



.....
/2,5

08/ On se replace dans le cas d'un défaut monophasé phase/terre (I_{k1}) sur le réseau 20 kV et on prendra les valeurs d'impédance suivantes : $Z_d = Z_i = 9j \Omega$; $Z_0 = 15j \Omega$; RDN = 60 Ω . On rappelle le schéma monophasé équivalent d'un défaut type I_{k1} sur la page suivante. Calculer I_0 , I_d et I_i puis, à l'aide de la matrice de Fortescue, calculer I_1 , I_2 et I_3 .



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 :

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

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

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

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	$\underline{I}_{cc3} = \frac{\underline{E}_d}{\underline{Z}_d}$	$I_{cc3} = \frac{V}{ Z_d } = \frac{U}{ Z_d \cdot \sqrt{3}}$
Biphasé-terre	Défaut impédant	$\underline{I}_{cc2T} = \frac{-3 \cdot \underline{Z}_i}{\underline{Z}_d \cdot \underline{Z}_i + (3 \cdot \underline{Z} + \underline{Z}_0) \cdot (\underline{Z}_d + \underline{Z}_i)} \times \underline{E}_d$	$I_{cc2T} = \frac{\sqrt{3} \cdot Z_i }{ Z_d \cdot Z_i + (3 \cdot Z + Z_0) \cdot (Z_d + Z_i) } \times U$
	Défaut franc	$\underline{I}_{cc2T} = \frac{-3 \cdot \underline{Z}_i}{\underline{Z}_d \cdot \underline{Z}_i + \underline{Z}_i \cdot \underline{Z}_0 + \underline{Z}_0 \cdot \underline{Z}_d} \times \underline{E}_d$	$I_{cc2T} = \frac{\sqrt{3} \cdot Z_i }{ Z_d \cdot Z_i + \underline{Z}_i \cdot \underline{Z}_0 + \underline{Z}_0 \cdot \underline{Z}_d } \times U$
Biphasé isolé	Défaut impédant	$\underline{I}_{cc2} = \frac{3}{a^2 - a} \times \frac{\underline{E}_d}{\underline{Z}_d + \underline{Z}_i + \underline{Z}_c}$	$I_{cc2} = \frac{U}{ Z_d + Z_i + Z_c }$
	Défaut franc	$\underline{I}_{cc2} = \frac{3}{a^2 - a} \times \frac{\underline{E}_d}{\underline{Z}_d + \underline{Z}_i}$	$I_{cc2} = \frac{U}{ Z_d + Z_i }$
Monophasé-terre	Défaut très impédant	$\underline{I}_{cc1T} = \frac{\underline{E}_d}{\underline{Z}}$	$I_{cc1T} = \frac{V}{ Z } = \frac{U}{ Z \cdot \sqrt{3}}$
	Défaut impédant	$\underline{I}_{cc1T} = \frac{3 \underline{E}_d}{\underline{Z}_0 + \underline{Z}_d + \underline{Z}_i + 3 \underline{Z}}$	$I_{cc1T} = \frac{3 \cdot V}{ Z_0 + Z_d + Z_i + 3Z } = \frac{\sqrt{3} \cdot U}{ Z_0 + Z_d + Z_i + 3Z }$
	Défaut franc	$\underline{I}_{cc1T} = \frac{3 \underline{E}_d}{\underline{Z}_0 + \underline{Z}_d + \underline{Z}_i}$	$I_{cc1T} = \frac{3 \cdot V}{ Z_0 + Z_d + Z_i } = \frac{\sqrt{3} \cdot U}{ Z_0 + Z_d + Z_i }$

ANNEXE 1

