

# BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR

## ÉLECTROTECHNIQUE

ÉPREUVE E.4

CONCEPTION - ETUDE PRELIMINAIRE

SESSION 2022

Durée : 4 heures  
Coefficient : 5

### Matériel autorisé :

« L'usage de calculatrice avec mode examen actif est autorisé, L'usage de calculatrice sans mémoire « type collègue » est autorisé.

### Documents à rendre avec la copie :

- le candidat répondra sur le dossier réponses et des feuilles de copie ;

Dès que le sujet vous est remis, assurez-vous qu'il est complet. Le sujet comporte quatre dossiers :

- le **dossier présentation - questionnaire** qui se compose de 13 pages, numérotées de 1/13 à 13/13 ;
- le **dossier technique** qui se compose de 7 pages, numérotées de 1/7 à 7/7 ;
- le **dossier ressources** qui se compose de 9 pages, numérotées de 1/9 à 9/9 ;
- le **dossier réponses à rendre avec la copie** qui se compose de 3 pages, numérotées de 1/3 à 3/3.

Il sera tenu compte de la qualité de la rédaction, en particulier pour les réponses aux questions ne nécessitant pas de calcul. Le correcteur attend des phrases construites respectant la syntaxe de la langue française. **Chaque réponse sera clairement précédée du numéro de la question à laquelle elle se rapporte.**

Les notations du texte seront scrupuleusement respectées.

|  |                   |
|--|-------------------|
| BTS ÉLECTROTECHNIQUE                         | SESSION 2022      |
| Épreuve E4 : Conception – étude préliminaire | Code : 22EQCEPME1 |

# BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR

## ÉLECTROTECHNIQUE

Session 2022

ÉPREUVE E4



### PRÉSENTATION - QUESTIONNEMENT

|   |    |
|---|----|
| PRÉSENTATION GÉNÉRALE .....   | 2  |
| Partie A : CUVERIE PRIMAIRE.....                                      | 4  |
| Partie B : POMPES DE CIRCULATION.....                                 | 6  |
| Partie C : TRANSFORMATEUR ET PROTECTIONS .....                        | 8  |
| Partie D : ALIMENTATION SANS INTERRUPTION ET COMPTEURS D'ÉNERGIE..... | 12 |

## PRÉSENTATION GÉNÉRALE

L'entreprise VDLV voit le jour en 2012 à Pessac en Gironde, près de Bordeaux. Elle est spécialisée dans la fabrication de liquides pour générateurs d'aérosols.

Différentes matières premières entrent dans la composition de ces liquides, notamment :



- **le Propylène Glycol (dénommé PG par la suite)** : Il appartient à la famille des éthers de glycol et a la particularité de se vaporiser facilement. Il est utilisé couramment dans l'industrie cosmétique, médicale et alimentaire.
- **la Glycérine Végétale (dénommée VG par la suite)** : Elle rentre dans la famille des polyols et se vaporise à basse température. Produisant plus de vapeur que le PG, elle a un aspect très visqueux et un goût légèrement sucré.

L'augmentation de la demande, qui s'accompagne d'un développement du parc de machines ainsi que d'une augmentation des besoins en stockage, amène la société à devoir s'agrandir. L'entreprise choisit de déménager dans un bâtiment plus spacieux et mieux adapté de 14 000 m<sup>2</sup> situé sur la commune voisine de Cestas.

### **Premier enjeu étudié : répondre à la demande d'alimentation en mélange (PG + VG) par la production.**

Avec une production estimée à deux millions de flacons de 10 mL par mois et la production d'un autre type de conditionnement DIY (Do It Yourself / à préparer soi-même), les nouveaux locaux doivent permettre de stocker dans la cuverie primaire le PG et le VG en quantité suffisante pour une autonomie de deux mois et demi.

La gestion des stocks de PG et VG doit être réalisée de manière sécurisée et automatisée.

Depuis la cuverie primaire, un système de pompes doit envoyer la matière première vers des mélangeurs situés à l'étage.

C'est dans cette seconde zone, la cuverie secondaire, que les mélanges de base sont créés et homogénéisés selon différentes proportions PG/VG. Le mélange est ensuite envoyé vers la zone de production par gravité où des arômes peuvent être ajoutés.

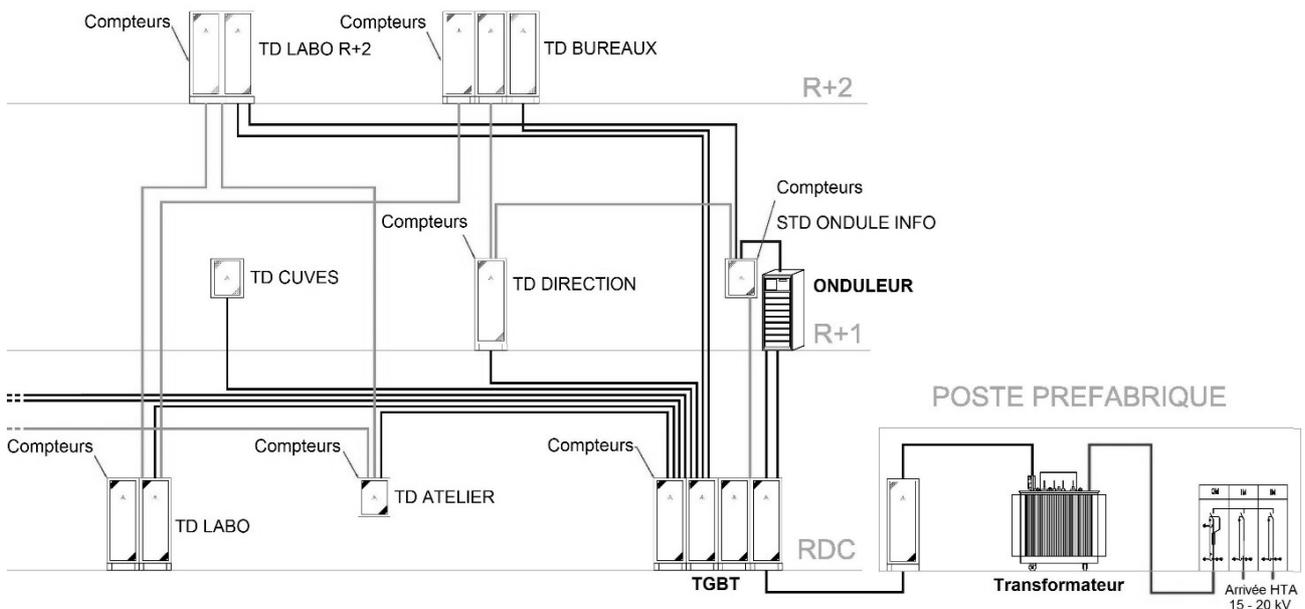
Pour simplifier notre étude, nous considérerons que les flacons sont remplis à 100 % de (PG+VG).

## Deuxième enjeu étudié : assurer l'alimentation électrique et le contrôle des consommations de l'ensemble du site.

Enedis alimente le site à partir d'une boucle HTA de 15 kV. Un poste préfabriqué est installé à une centaine de mètres du site avec un transformateur HTA/BT.

La distribution est ensuite assurée via le tableau général basse tension (TGBT) par différents tableaux divisionnaires (TD), une partie devant être secourue par une alimentation sans interruption (ASI).

Le TGBT et tous les TD sont associés à des compteurs d'énergie communicants.



## Objectifs de l'étude préliminaire

Le sujet a pour objectif de conduire une étude de conception préliminaire en relation avec les deux enjeux énoncés précédemment selon le plan présenté ci-dessous.

**Enjeu n°1** : répondre à la demande d'alimentation en mélange (PG + VG) pour la production.

**La partie A** a pour objectif de réaliser partiellement l'avant-projet d'automatisation de la cuverie primaire.

**La partie B** a pour objectif de dimensionner les pompes pour la circulation vers la cuverie secondaire.

**Enjeu n°2** : assurer l'alimentation électrique et le contrôle des consommations de l'ensemble du site.

**La partie C** a pour objectif de dimensionner une partie de la distribution électrique (transformateur HTA/BT, protections).

**La partie D** a pour objectif de réaliser partiellement l'avant-projet de l'ASI et du comptage d'énergie.

## **PARTIE A : CUVERIE PRIMAIRE**

L'étude porte sur l'avant-projet de dimensionnement des volumes de PG et de VG à stocker, ainsi que sur l'automatisation des cuves primaires.

Documents :

- DRES1 : capteurs de niveau ;
- DTEC1 : cahier des charges de l'automatisation des cuves primaires ;
- DREP1 : synoptique de la cuverie primaire.

### **Dimensionnement des cuves primaires**

- A.1.** Sachant que la production est estimée à 2 millions de flacons de 10 mL par mois, **calculer** en litres la quantité  $V_m$  de mélange (PG+VG) utilisée chaque mois pour les flacons. **Calculer** le volume  $V$  à stocker pour obtenir deux mois et demi d'autonomie.

L'entreprise produisant également un autre type de conditionnement, **la solution retenue est 4 cuves de 15 000 litres.**

### **Mesure du niveau des cuves primaires**

Les stocks de PG et VG diminuant de manière égale, l'entreprise retient une solution avec 2 cuves VG et 2 cuves PG cylindriques, de 6 m de hauteur chacune (avec remplissage maximum à 5 m), situées en intérieur.

Afin de lancer un réapprovisionnement lorsque le stock est de moitié, le niveau dans ces cuves doit être mesuré en permanence, avec un minimum de **maintenance et d'entretien.**

Le PG et le VG ne possèdent pas exactement les mêmes caractéristiques (viscosité, masse volumique...) mais les capteurs des quatre cuves devront être identiques dans un souci d'homogénéisation du matériel.

- A.2. Justifier** la ou les technologies de capteur de niveau qui peu(ven)t être envisagée(s) parmi les 4 familles proposées sur le DRES1, sachant que la viscosité du VG est élevée.

### **Automatisation des cuves primaires**

L'entreprise souhaite automatiser le stockage et le transfert du PG et du VG vers la cuverie secondaire.

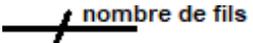
- A.3.** À l'aide du cahier des charges DTEC1, **indiquer** et justifier le nombre et le type des entrées / sorties nécessaires pour l'API (Automate Programmable Industriel).
- A.4. Citer** les autres critères de choix de l'API permettant de répondre au cahier des charges.

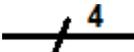
Les principaux formats de standard électrique analogique utilisés pour les capteurs industriels sont 0-10 V et 4-20 mA.

**A.5. Indiquer** le format demandé par l'entreprise et **préciser** les avantages de ce choix.

L'entreprise retient la solution avec des capteurs à ultrasons actifs. Par sécurité, des détecteurs « cuve vide » à contact sec sont également installés.

**A.6.** Pour les 4 cuves, **représenter** sur le synoptique du document réponse DREP1 l'emplacement des capteurs, des détecteurs ainsi que des balises lumineuses.

Un schéma unifilaire doit respecter la schématisation suivante : 

Exemple pour 4 fils : 

**A.7.** Pour la cuve PG2 uniquement, **représenter** en schéma unifilaire sur le synoptique du document réponse DREP1 les liaisons reliant le coffret électrique :

- à la balise 5 voyants ;
- au capteur de niveau 4-20 mA (actif) ;
- au détecteur cuve vide.

## PARTIE B : POMPES DE CIRCULATION

L'étude porte sur le dimensionnement des pompes permettant l'acheminement du PG et du VG vers la cuverie secondaire.

Les caractéristiques à déterminer pour le choix des pompes sont :

- le débit ;
- la pression que devra apporter chaque pompe ;
- la puissance hydraulique.

Dans un souci d'homogénéité, les quatre pompes seront identiques.

On se place dans le cas le plus défavorable du circuit VG (fluide très visqueux).

Documents :

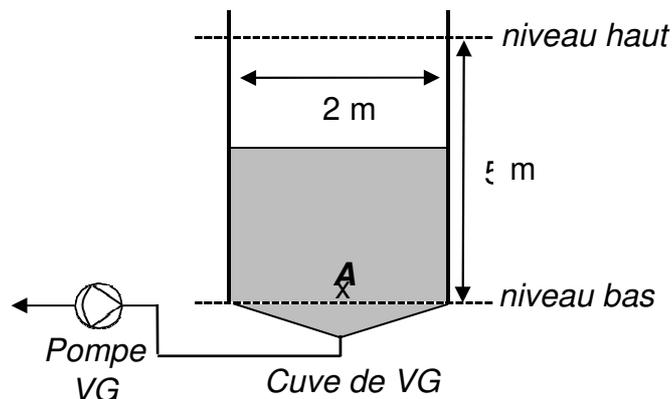
- DTEC2 : réseaux fluides de l'installation ;
- DRES2 : correspondance des dimensions de tuyauteries.

Données :

- débit volumique maximal attendu :  $Q_V = 10 \text{ m}^3/\text{h}$  ;
- accélération de la pesanteur :  $g = 9,81 \text{ m/s}^2$  ;
- masse volumique du VG :  $\rho_{VG} = 1\,260 \text{ kg/m}^3$  ;
- la pression atmosphérique sera prise comme référence, toutes les pressions seront donc relatives.

Afin de déterminer les caractéristiques d'une pompe du circuit VG, il est nécessaire de faire une étude hydraulique entre les points A et B repérés sur le DTEC2. Le point A est situé au niveau du **rez-de-chaussée** (en bas de la cuve).

La *figure 1* représente le schéma simplifié d'une cuve de VG associée à sa pompe.



**Figure 1** : Schéma simplifié d'une cuve de VG

- B.1. Calculer** la pression relative  $p_{Ah}$  au niveau du point A lorsque la cuve est à son niveau haut (cuve pleine).
- B.2. Déterminer** la valeur de la pression relative  $p_{Ab}$  au point A lorsque la cuve est à son niveau bas (cuve vide).
- B.3. En déduire** le cas le plus défavorable (cuve pleine ou cuve vide) pour le dimensionnement de la pompe.

On rappelle le théorème de Bernoulli appliqué à un fluide s'écoulant d'un point A vers un point B, avec présence d'une pompe générant une différence de pression  $\Delta p_{pompe}$  et sans tenir compte des pertes de charges ( $v$  = vitesse en m/s,  $z$  = altitude en m,  $p$  = pression en Pa,  $\rho$  = masse volumique en kg/m<sup>3</sup>) :

$$\frac{1}{2} \rho \cdot v^2 + \rho \cdot g \cdot z_B + p_B = \frac{1}{2} \rho \cdot v^2 + \rho \cdot g \cdot z_A + p_A + \Delta p_{pompe}$$

Compte tenu du diamètre important de la cuve, on néglige la vitesse  $v_A$  du fluide au niveau du point A (point bas dans la cuve).

Le point B, repéré sur le DTEC2, est situé au **premier étage** (dans le tuyau, très proche de la sortie). Les points A et B seront considérés à la pression atmosphérique.

- B.4.** À partir du DTEC2, **estimer** la différence d'altitude ( $z_B - z_A$ ) à remonter pour amener le fluide au niveau du point B.
- B.5.** À partir du DTEC2 et du DRES2, **calculer** la section intérieure **S** du tuyau qui achemine le VG.
- B.6. Montrer** que pour le débit volumique maximal attendu, la vitesse  $v_B$  du fluide au point B (dans le tuyau à l'étage) est d'environ **0,55 m/s**.
- B.7. Calculer** la valeur de la différence de pression  $\Delta p_{pompe}$  que devra créer la pompe pour acheminer le VG du point A au point B.

Compte tenu de la viscosité élevée du VG, de la longueur de tuyau et des différents coudes, les pertes de charges sont ici très importantes et ont été évaluées à  $\Delta p_{pertes} = 7,3 \cdot 10^5$  Pa.

- B.8. Calculer** la valeur de la différence de pression totale  $\Delta p'_{pompe}$  que devra générer la pompe en tenant compte de ces pertes de charges et **conclure** sur l'élément le plus important à prendre en compte pour son calcul.

On rappelle l'expression de la puissance hydraulique d'une pompe en fonction du débit et de la pression :

$$P_{hyd} = Q_v \Delta p \quad \text{avec } P_{hyd} \text{ en W, } Q_v \text{ en m}^3/\text{s, } \Delta p \text{ en Pa}$$

- B.9. Calculer** la puissance hydraulique maximale que devra pouvoir fournir la pompe.

## PARTIE C : TRANSFORMATEUR ET PROTECTIONS

L'étude vise à établir les caractéristiques du transformateur du poste de livraison et celles de disjoncteurs à différents niveaux de l'installation.

Documents :

- DTEC3 : extraits du CCTP
- DTEC4 : extrait du schéma de distribution du site
- DRES3 : notations et définitions utilisées
- DRES4 : extrait de la norme EN 50588 sur les transformateurs triphasés
- DRES5 : détermination du courant de court-circuit par la méthode de composition
- DRES6 : standard des calibres et pouvoirs de coupure des disjoncteurs

### Bilan de puissance

Le tableau divisionnaire intitulé TD CUVES alimente uniquement les éléments de la cuverie secondaire, constituée de 17 moteurs.

Les moteurs M1 à M16 sont identiques, et leurs plaques signalétiques indiquent :

**Puissance utile : 2,2 kW**      **cos  $\varphi$  : 0,80**      **rendement : 0,73**

**C.1. Calculer** la puissance active  $P_{aM1}$  absorbée par un de ces moteurs. **Calculer** le courant efficace consommé correspondant  $I_{bM1}$ .

Les 16 moteurs identiques du TD CUVES (M1 à M16) fonctionnent un peu en dessous de leur régime nominal de telle manière que la puissance réellement utilisée correspond à 90% de leur puissance nominale. Ces moteurs ne fonctionnent jamais simultanément et leur facteur de simultanéité **ks** est égal à 0,8.

Le moteur M17 absorbe une puissance active nominale de 5 kW et fonctionne quant à lui à 77% de sa puissance absorbée nominale.

Les définitions des coefficients d'utilisation et de simultanéité sont rappelées dans le DRES3.

**C.2. Donner** la valeur du facteur d'utilisation des moteurs M1 à M16 et celle du moteur M17. **Calculer** la puissance active à installer  $P_{installée}$ .

**C.3. Calculer** la puissance apparente  $S_{installée}$  du TD CUVES (le  $\cos\varphi$  du moteur M17 vaut également 0,8). **Calculer** l'intensité efficace  $I_{installée}$  du courant sur le TD CUVES.

## Dimensionnement et caractérisation du transformateur

Les bilans des puissances des autres tableaux divisionnaires, TD, sont réalisés en appliquant la même méthode que celle employée pour le TD CUVES. On obtient un courant d'emploi  $I_{btotal}$  au niveau du poste source de 1 100 A.

**C.4. Calculer** la puissance apparente **S** que doit pouvoir fournir le transformateur.

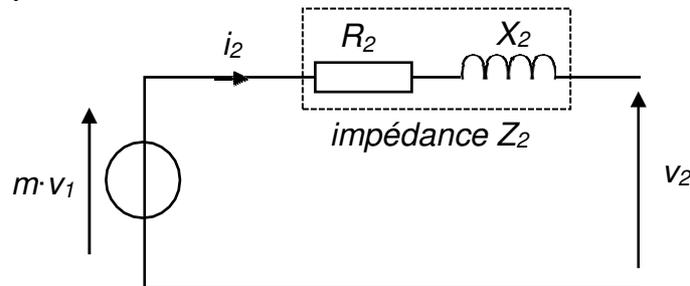
**C.5. Déterminer** les caractéristiques du transformateur qui satisfait au CCTP (technologie, tension primaire, puissance apparente normalisée, valeurs maximales des pertes).

## Caractérisation des disjoncteurs

Afin de déterminer le pouvoir de coupure des disjoncteurs, il faut calculer les valeurs des courants de court-circuit en différents points de l'installation :

- au niveau du transformateur du poste de livraison ;
- au niveau du TGBT ;
- au niveau du TD CUVES.

On rappelle le schéma équivalent d'une phase du transformateur triphasé, vu du secondaire (les éléments  $R_2$  et  $X_2$  modélisent les imperfections du transformateur ;  $m$  est le rapport de transformation ;  $v_1$  est la tension simple au primaire ;  $v_2$  est la tension simple au secondaire) :



Les caractéristiques du transformateur sont les suivantes :

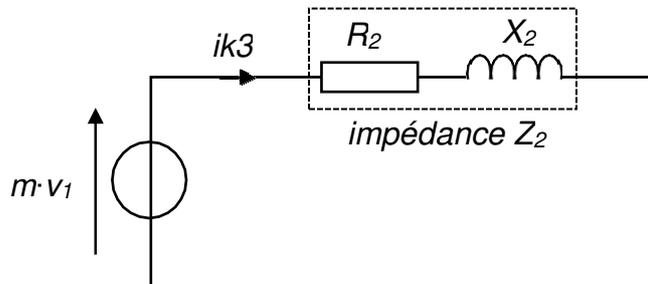
- tension efficace nominale entre phases au primaire :  $U_{1N} = 15 \text{ kV}$  ;
- tension efficace à vide entre phases au secondaire :  $U_{20} = 410 \text{ V}$  ;
- résistance modélisant les pertes joules :  $R_2 = 2,2 \text{ m}\Omega$  ;
- réactance modélisant les fuites magnétiques :  $X_2 = 12,4 \text{ m}\Omega$ .

On rappelle l'expression de l'impédance  $Z$  équivalente à l'association série d'une résistance  $R$  et d'une réactance  $X$  :  $Z = \sqrt{R^2 + X^2}$

**C.6.** À partir des caractéristiques du transformateur, **calculer** :

- la valeur du rapport de transformation  $m$  ;
- la valeur de l'impédance  $Z_2$ .

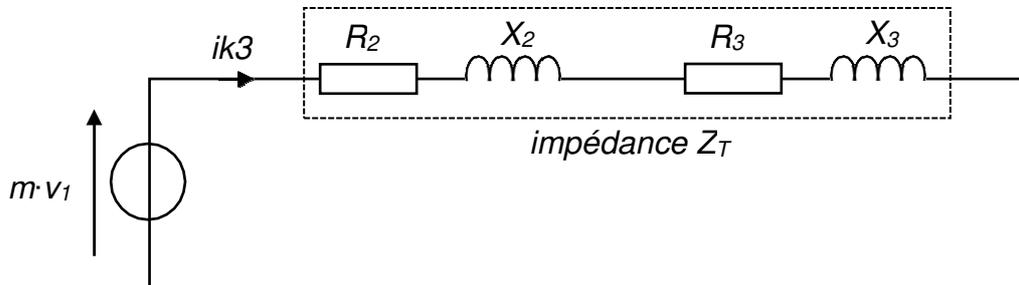
Si un court-circuit triphasé a lieu au secondaire du transformateur (on note  $ik_3$  le courant de court-circuit triphasé), le schéma équivalent d'une phase devient :



**C.7.** Etablir la relation entre  $m$ ,  $V_1$ ,  $Z_2$  et la valeur efficace  $Ik_3$ .

**C.8.** Calculer la valeur efficace du courant de court-circuit  $Ik_3$  TRANSFO au secondaire du transformateur lorsqu'il est alimenté sous tension nominale.

Lors d'un court-circuit triphasé au niveau du TGBT, le schéma équivalent d'une phase devient le suivant ( $R_3$  et  $X_3$  modélisent les imperfections du jeu de barre et du câble reliant le transformateur au TGBT) :



Connaissant les caractéristiques du câble reliant le transformateur au TGBT (aluminium, longueur 95 m, section  $4 \times 300 \text{ mm}^2$ ), ainsi que celles du jeu de barre, on a pu déterminer les valeurs :  $R_3 = 2,9 \text{ m}\Omega$  et  $X_3 = 3,2 \text{ m}\Omega$ .

**C.9.** Calculer l'impédance totale  $Z_T$  lors d'un court-circuit au niveau du TGBT.

**C.10.** Calculer la valeur efficace du courant  $Ik_3$  TGBT lors d'un court-circuit triphasé au niveau du TGBT.

La méthode que l'on vient d'appliquer pour trouver  $I_{k3TRANSFO}$  et  $I_{k3TGBT}$  s'appelle la méthode des impédances.

Pour déterminer la valeur du courant de court-circuit  $I_{k3TDCUVES}$  au niveau du TD CUVES, il est possible d'utiliser la méthode de composition à partir d'abaques qui figurent dans le guide UTE C 15-105 de la norme NFC 15-100.

- C.11.** Sur le DTEC4, **relever** la longueur, la section et le matériau du câble reliant le TGBT au TD CUVES. En admettant que le courant de court-circuit  $I_{k3TGBT}$  au niveau du TGBT est de 15 kA, **déterminer** le courant  $I_{k3TDCUVES}$  au niveau des moteurs du TD CUVES par la méthode de composition (DRES5).

L'ensemble des questions précédentes permettent de choisir les caractéristiques principales des disjoncteurs à 3 niveaux différents de l'installation : au niveau du poste de livraison, au niveau du TGBT ainsi qu'au niveau du TD CUVES.

- C.12. Compléter** le tableau du document réponse DREP2 pour les trois disjoncteurs à choisir (DRES6).

## PARTIE D : ALIMENTATION SANS INTERRUPTION ET COMPTEURS D'ENERGIE

### Alimentation sans interruption (ASI)

L'étude porte sur les caractéristiques de l'onduleur et de ses batteries, afin d'alimenter une partie de l'installation en assurant la continuité et la qualité de l'énergie électrique.

Documents :

- DTEC3 : extraits du CCTP
- DRES7 : données techniques d'onduleurs

- D.1.** Parmi les données techniques qui figurent dans les documentations d'onduleurs, **indiquer** :
- une donnée technique qui permet de savoir si la tension délivrée par l'onduleur est proche d'une sinusoïde parfaite ;
  - une donnée technique qui permet de savoir si l'onduleur crée de la pollution harmonique sur le réseau.
- D.2.** En s'appuyant sur la partie 4.13 du CCTP (DTEC3), **calculer** l'énergie  **$E$**  (en W·h) que les batteries de l'onduleur doivent pouvoir fournir afin de garantir l'autonomie imposée par le CCTP.
- D.3.** En vous appuyant sur l'homogénéité des unités, **établir** la relation entre l'énergie  **$E$**  stockée dans les batteries (en W·h), la tension  **$U$**  aux bornes des batteries (en V) et la capacité  **$Q$**  des batteries (en A·h).
- D.4.** **Calculer** la capacité utile  **$Q_u$**  des batteries qui permettrait d'obtenir l'autonomie demandée en cas de coupure réseau, avec une tension aux bornes des batteries  $U = 480$  V. En **déduire** la valeur de capacité nominale  **$Q_n$**  de ces batteries, sachant que pour les préserver, on n'utilise que 70% cette capacité nominale.

### Compteurs d'énergie

L'étude porte sur la justification, le coût et l'utilité de la pose de compteurs d'énergie communicants.

L'entreprise possède plus de 1 000 m<sup>2</sup> de superficie dédiée à une activité de type tertiaire.

Documents :

- DTEC3 : extraits du CCTP ;
- DTEC5 : synoptique de l'installation électrique ;
- DRES8 : réglementation liée à la réduction des consommations énergétiques.

- D.5.** Parmi les textes réglementaires cités dans le DRES8, **indiquer** en justifiant la réponse, ceux qui doivent être respectés par l'entreprise.

Le TGBT possède des départs vers :

- la centrale de mesure ;
- les luminaires de la zone du stock de matières premières ;
- les prises de courant de la zone matières premières ;
- les chauffages du local technique ;
- des unités de ventilation du site ;
- les TD et STD qu'il alimente directement.

**D.6.** Le CCTP (partie 4.7.6) étant plus contraignant que les textes réglementaires, **lister** les dispositifs de comptage électrique dans le TGBT, en indiquant pour chacun son affectation (*exemple : n°4 = compteur chauffage*).

**Calcul des coûts** - Données complémentaires :

- Centrale de mesure :
  - implantation et raccordement : 30 min / unité
  - paramétrage et mise en service : 1 h / unité
- Compteur communicant :
  - implantation et raccordement : 30 min / unité
  - paramétrage et mise en service : 15 min / unité
- pose du bus de communication : 5 h
- paramétrage et mise en service de l'interface logicielle sur PC : 24 h
- taux horaire hors taxe (HT) :
  - implantation, pose et raccordement 40 € / h
  - paramétrage et mise en service : 60 € / h
- TVA : 20 %

**D.7. Calculer** le coût total toutes taxes comprises (TTC) de la main d'œuvre nécessaire à l'installation et à la mise en service de 13 compteurs communicants, d'une centrale de mesure, du bus et de l'interface logiciel.

**D.8. Proposer** des actions à mettre en place afin d'améliorer les performances énergétiques du site.