

BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR

ÉLECTROTECHNIQUE

Session 2023

ÉPREUVE E4

Microcentrale des deux Nants



PRÉSENTATION - QUESTIONNEMENT

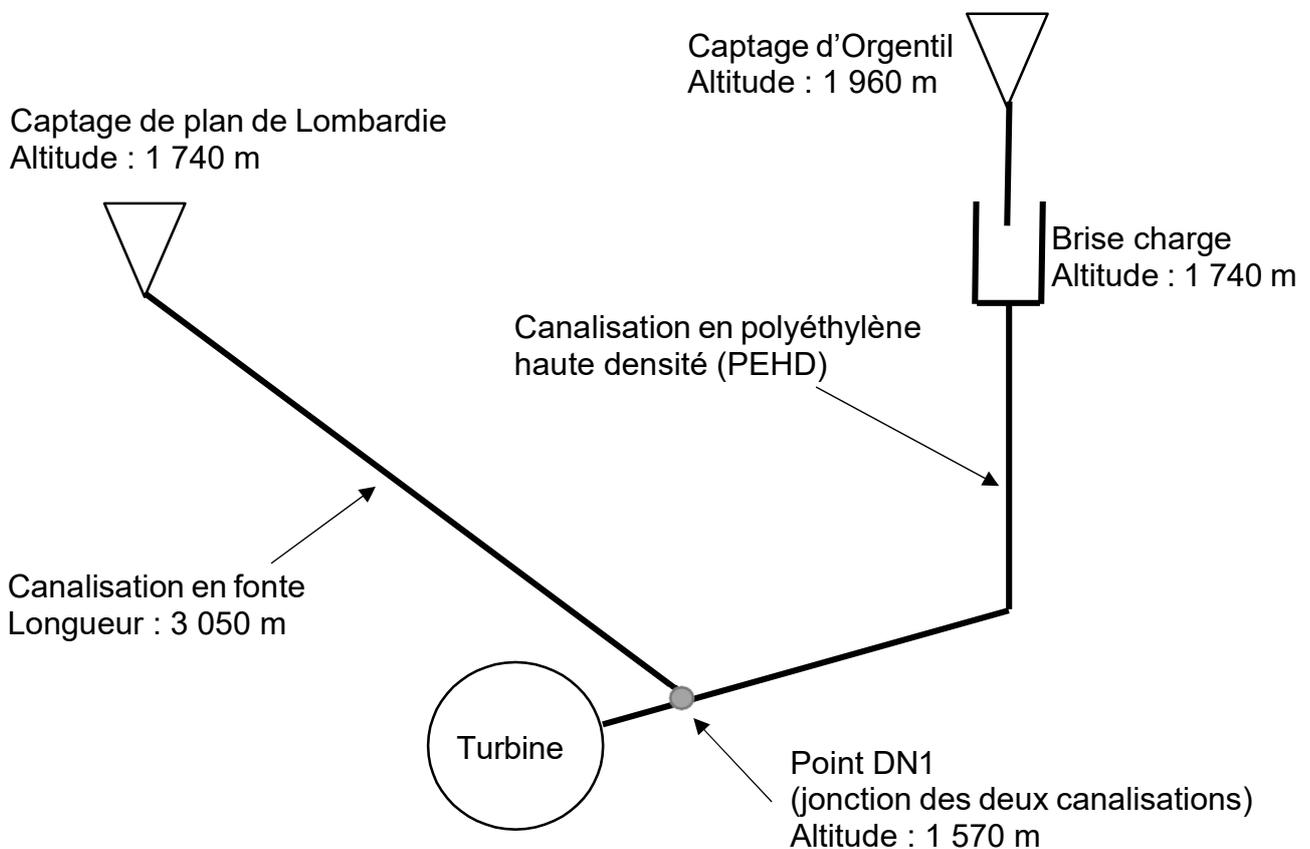
PRÉSENTATION GÉNÉRALE.....	2
PARTIE A : PRODUCTION D'ÉLECTRICITÉ	4
PARTIE C : SYSTÈME DE COMPENSATION D'ÉNERGIE RÉACTIVE	7
PARTIE D : CÂBLE RELIANT LA MICROCENTRALE AU TRANSFORMATEUR	9

PRÉSENTATION GÉNÉRALE

Le syndicat des eaux de moyenne tarentaise (SEMT) est un établissement public de coopération intercommunale. Il a pour vocation de veiller à l'approvisionnement qualitatif et quantitatif en eau potable d'un ensemble de cinq communes de la moyenne tarentaise (Moutiers, Brides-les Bains, Saint-Jean-de-Belleville, Salin Fontaine et Courchevel).

Suite à une étude comparative entre les besoins et les ressources en eau potable distribuée par la SEMT, la situation risque d'être déficitaire à l'horizon 2025 si aucun nouveau captage n'était exploité.

En 2015, le syndicat a reçu une autorisation préfectorale d'exploiter des émergences au plan de Lombardie (commune de Saint-Jean-de-Belleville). L'eau est captée puis canalisée sur une longueur d'environ 3 km pour rejoindre une autre conduite déjà existante (la canalisation d'Orgentil).



Comment valoriser la chute d'eau induite par l'augmentation de la consommation d'eau potable en produisant de l'énergie électrique verte ?

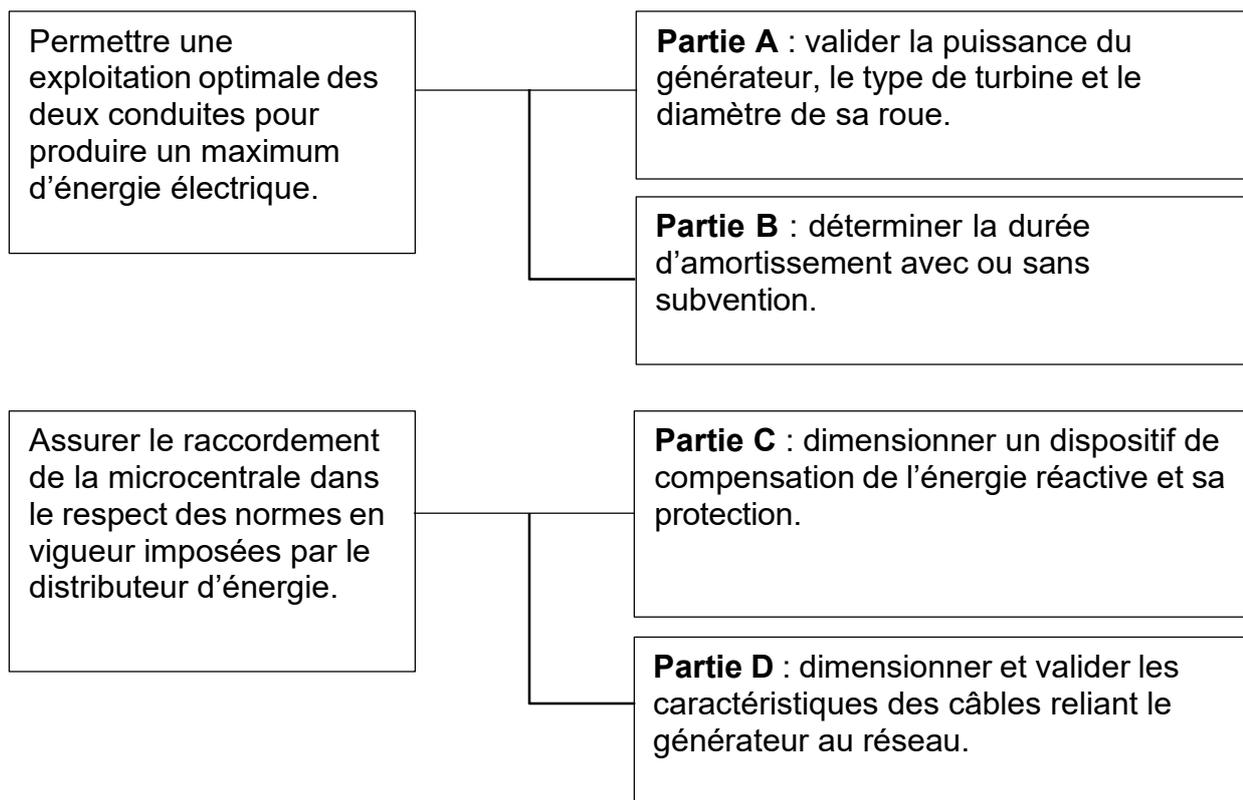
Pour valoriser les deux chutes d'eau, assurer des recettes financières au SEMT et contribuer à la création d'énergie verte, le SEMT a décidé de créer une microcentrale au point de jonction des deux canalisations. L'exploitation de la microcentrale ne devra pas interrompre l'approvisionnement des réservoirs situés en aval afin de permettre une continuité dans l'alimentation en eau potable des usagers du SEMT.

La conception et la réalisation de cette microcentrale devra répondre au cahier des clauses techniques particulières (CCTP) élaboré par le SEMT lors de la consultation des entreprises.

L'énergie électrique produite sera injectée sur le réseau 400 V triphasé au travers d'un nouveau transformateur géré par ENEDIS. Elle devra respecter les normes en vigueur en ce qui concerne la pollution harmonique et le facteur de puissance.

Objectifs de l'étude préliminaire :

Le sujet suivant a pour objectif de réaliser une étude de conception de la microcentrale qui réponde au CCTP lancé par le SEMT. Elle sera menée de la façon suivante :



L'objectif est de valider la puissance du générateur, le type de turbine et son diamètre.

A1. Générateur électrique

Dans la première partie de cette étude, il faut quantifier la puissance hydraulique disponible à l'entrée de la microcentrale en tenant compte des pertes de charge dans les canalisations pour déterminer la puissance électrique du générateur asynchrone.

Documents :

- DTEC1 : Description d'une microcentrale et de son système hydraulique ;
- DTEC2 : Réseau de canalisations alimentant la microcentrale ;
- DRES1 : Mécanique des fluides.

Q1. Compléter le synoptique (DREP 1) en indiquant les différents types d'énergie mis en jeu par la microcentrale et les deux composants qui effectuent les conversions d'énergie.

Sur le captage d'Orgentil, la section de la canalisation partant du brise charge et rejoignant le point DN1 est : $S = 1,23 \times 10^{-2} \text{ m}^2$.

Q2. En utilisant DRES 1 et DTEC2, **calculer** la vitesse de l'eau v_{org} (en m/s) dans cette conduite.

On rappelle :

- la masse volumique de l'eau $\rho = 1\,000 \text{ kg/m}^3$;
- l'accélération de la pesanteur $g = 9,81 \text{ m/s}^2$;
- $1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa}$.

On considère que la pression en sortie du brise charge est égale à la pression atmosphérique. On utilisera les pressions relatives pour effectuer les calculs. L'origine des altitudes ($z=0$) pour le calcul des énergies potentielles de pesanteur est le niveau de la mer.

Q3. À l'aide du DRES 1, **montrer que** l'énergie volumique E_{BC} du fluide en sortie du brise charge est environ égale à $17,1 \text{ MJ/m}^3$.

L'énergie volumique de l'eau au point DN1 peut s'exprimer sous la forme $E_{DN1} = 1,54 \times 10^7 + p_{DN1}$ où p_{DN1} est la pression théorique de l'eau au point DN1.

Q4. En utilisant la loi de conservation de l'énergie entre la sortie du brise charge et le point DN1, **calculer** la pression théorique p_{DN1} . **Donner** le résultat en bars.

Dans la suite de cette partie, on prendra pour la valeur de la pression théorique au point DN1 : **$p_{DN1} = 17,0 \text{ bar}$** . Par ailleurs, l'ensemble des pertes de charge des deux canalisations, ramené au point DN1 est : **$\Delta p_{ertes} = 2,62 \text{ bar}$** .

Q5. Calculer la pression réelle $p_{DN1 \text{ réelle}}$ au point DN1 (pression en entrée de la turbine).

Q6. Calculer le débit volumique total Q_t dans la canalisation en entrée de la turbine (après le point DN1).

La puissance hydraulique P_h , en watts, d'une turbine est donnée par la relation :

$$P_h = \rho \cdot Q$$

avec ρ la pression en entrée de turbine, exprimée en pascals, et Q le débit volumique du fluide en entrée de turbine, exprimé en m^3/s .

Q7. Calculer la puissance hydraulique P_h disponible en entrée de la turbine.

Le rendement de la turbine utilisée vaut $\eta_{\text{turbine}} = 87\%$. On estime le rendement du générateur électrique à $\eta_{\text{géné}} = 93\%$.

Q8. Montrer que la valeur de la puissance électrique $P_{\text{élec}}$ que pourra fournir le générateur électrique est d'environ 57 kW.

Le générateur électrique décrit dans le CCTP est une machine asynchrone à cage fonctionnant en régime hypersynchrone et d'une puissance électrique de 70 kW.

Q9. Donner une autre technologie de machine qui aurait pu être utilisée pour produire l'énergie électrique. **Citer** les avantages et les inconvénients de la solution qui a été retenue dans le CCTP.

A2. Turbine de type Pelton

Le CCTP spécifie l'emploi d'une turbine de type Pelton. Le client souhaite confirmer le choix de ce type de turbine et définir le diamètre de sa roue, qui n'a pas été spécifié dans le CCTP.

Données :

- pour la suite de cette partie, en tenant compte des pertes de charges, on prendra une hauteur nette de chute de **144 m** ;
- l'arbre de la roue de la turbine sera directement accouplé à l'arbre du générateur électrique qui devra tourner à une vitesse proche de 1 000 tr/min ;
- dans une étude hydraulique, on montre que la vitesse de l'eau à la sortie du jet de la turbine se calcule par $v_{\text{jet}} = \sqrt{2 \cdot g \cdot h}$ avec h , la hauteur nette de chute ;
- la vitesse linéaire des augets qui donne un rendement optimum de la turbine est telle que $v_{\text{jet}} = 2 \cdot v_{\text{auget}}$.

Documents :

- DRES2 : Mécanique sur la turbine ;
- DREP2.

Q10. Sur DREP 2, **placer** approximativement le point de fonctionnement de la microcentrale. **Préciser** si le CCTP est respecté.

Q11. Montrer que la vitesse linéaire des augets vaut $v_{\text{auget}} = 26,6 \text{ m/s}$.

Q12. En utilisant DRES2, **déterminer** le diamètre D de la turbine.

PARTIE B : DURÉE D'AMORTISSEMENT AVEC OU SANS SUBVENTION

L'objectif est de déterminer l'option de rachat de l'énergie électrique la plus intéressante pour le SEMT.

Données :

- l'énergie produite annuellement par la microcentrale est estimée à 400 MW·h ;
- le coût de l'installation hors subvention est estimé à 500 k€ ;
- la puissance active de raccordement de la génératrice $P_{nom} = 57$ kW ;
- la hauteur de chute est supérieure à 150 m.

Documents :

- DRES3 : Texte législatif fixant les conditions d'achat.

La première option consiste à avoir un tarif d'achat plus élevé sans bénéficier de subvention.

Q13. Relever la valeur du tarif d'achat à une composante en prenant en compte le type de chute de l'installation.

Q14. Calculer l'énergie plafonnée E_{plaf} qui bénéficie de ce tarif d'achat.

Q15. Relever la valeur de la durée totale du contrat de rachat et **calculer** l'énergie produite E_{prod} par la microcentrale pour la durée du contrat.

La deuxième option consiste à avoir un tarif de rachat plus faible à 45 €/ (MW·h) mais de bénéficier de subvention à hauteur de 30% du coût de l'installation.

Q16. Calculer les montants de la rémunération **de la production** de la microcentrale pour une durée de vingt ans, pour les deux options de rachat :

- $M1_{Tot}$ (pour l'option 1) en tenant compte du changement de tarif dès que le seuil d'énergie plafonnée est dépassé.
- $M2_{Tot}$ (pour l'option 2).

Q17. En déduire les bénéfices ($B1_{TOT}$ et $B2_{TOT}$) réalisés et **calculer** les durées d'amortissement de l'installation (DA1 et DA2) pour chacune des options.

Q18. Conclure sur l'option de rachat la plus intéressante.

PARTIE C : SYSTÈME DE COMPENSATION D'ÉNERGIE RÉACTIVE

L'objectif est de caractériser les constituants du dispositif de compensation de l'énergie réactive mise en jeu par la génératrice asynchrone de la microcentrale.

Données :

- l'étude menée dans la **partie A** a été faite en tenant compte d'une production optimale d'énergie par la microcentrale. Or sur l'année, la production n'est pas constante. Elle évolue au gré des saisons car le débit n'est pas constant dans les captages. Pendant la période la plus favorable, la puissance active fournie par la machine asynchrone est $P_{nom} = 57 \text{ kW}$;
- la puissance apparente du transformateur de distribution auquel est reliée l'installation est de $S_T = 160 \text{ kVA}$;
- le réseau électrique auquel est reliée la machine asynchrone présente des harmoniques et le facteur de déplacement du fondamental des courants circulant dans la machine asynchrone est $\cos \varphi_1 = 0,86$ inductif ;
- un texte législatif indique qu'un producteur d'énergie électrique produisant une puissance active inférieure à 1 MW doit fournir sur le réseau auquel il est relié une puissance réactive égale à $Q_{réseau} = 40\% \times P_{nom}$.

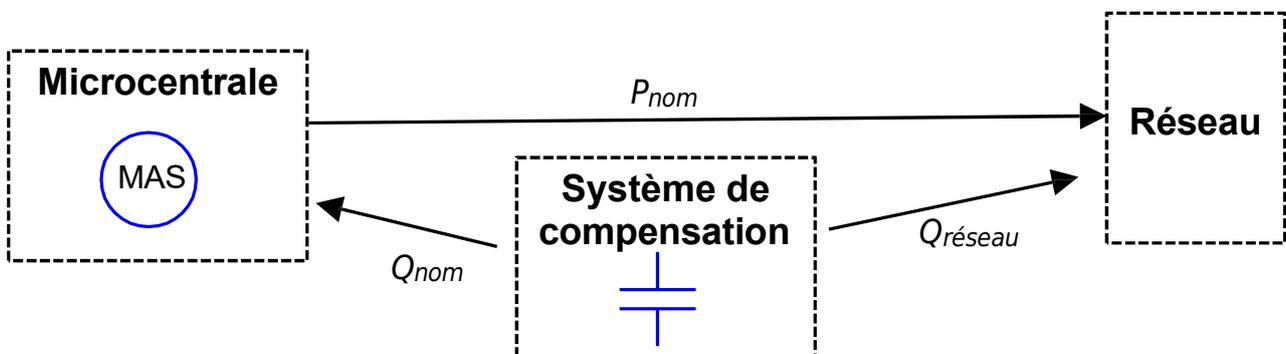
Documents :

- DTEC 3 : analyse harmonique de la tension et du courant du réseau sur lequel sera reliée la microcentrale ;
- DRES 4 : méthode d'analyse pour la compensation d'énergie réactive ;
- DRES 5 : principe et protection d'une compensation automatique.

C1. Dimensionnement du système de compensation

Étape 1 : puissance réactive fournie par le système de compensation

- Q19.** Calculer la puissance réactive Q_{nom} absorbée par la génératrice asynchrone (MAS) pour son fonctionnement nominal.
- Q20.** Calculer la valeur de la puissance réactive $Q_{réseau}$ absorbée par le réseau.
- Q21.** En utilisant la figure ci-dessous, **déduire** la valeur de la puissance réactive totale $Q_{compensation}$ que devra fournir le système de compensation.



Étape 2 : type de compensation

Q22. Déterminer le type de compensation (fixe ou automatique) à retenir.

Étape 3 : Prise en compte de la pollution harmonique

Pour cette étape, il a été nécessaire de faire une analyse harmonique de la tension et du courant du réseau sur lequel sera relié le générateur asynchrone. Les spectres sont donnés dans le DTEC 3.

On suppose que le spectre restera identique quand le générateur sera relié au réseau. De plus, au fonctionnement nominal de la machine asynchrone, la valeur efficace du courant fondamental sera $I_f = 77,5$ A et la valeur efficace de la tension entre phases $U = 429$ V.

- Q23. Relever** le rang des trois harmoniques de courant les plus importants en amplitude, autre que le fondamental. **Calculer** leurs valeurs efficaces respectives.
- Q24.** En utilisant la formule de Parseval, $I = \sqrt{I_f^2 + I_3^2 + I_5^2 + \dots + I_{2n+1}^2}$ **montrer** que la valeur efficace du courant de ligne I que débitera le générateur asynchrone est d'environ 99 A, pour les trois harmoniques de courant les plus importants.
- Q25.** En utilisant DRES4, **déterminer** le niveau de pollution harmonique qu'il faudra introduire dans les critères de choix du système de compensation.

C2. Dimensionnement du disjoncteur de protection du système de compensation

On considère que la machine asynchrone constitue un système pollué et que le système de compensation est constitué de condensateurs standard.

Le système de compensation choisi devra délivrer une puissance réactive de 56,6 kvar.

- Q26. Montrer** que la valeur efficace nominale I_{CN} du courant du système de compensation est d'environ 76 A.
- Q27.** À l'aide du DRES 5, **déterminer** la valeur normalisée du courant assigné du disjoncteur qu'il faudra prendre en compte pour la protection du système de compensation.

PARTIE D : CÂBLE RELIANT LA MICROCENTRALE AU TRANSFORMATEUR

La liaison entre le local de la microcentrale et le transformateur sera réalisée en deux tronçons (voir DTEC 4). Il s'agit de dimensionner les câbles correspondants.

D1. Étude du tronçon 1

Cette portion, d'une longueur de 120 m, permet de relier le local de la microcentrale au coffret coupe-circuit principal individuel (CCPI) en limite de propriété ; l'appareil de protection a un courant assigné $I_n = 160 \text{ A}$;

Documents :

- DRES6 : section des conducteurs et chute de tension ;
- DTEC4 : plan de raccordement au réseau de la microcentrale.

Q28. Déterminer en la justifiant, la section des conducteurs du tronçon 1.

Pour la suite de cette partie, pour le tronçon 1, on prendra un câble multiconducteur de section 95 mm^2 .

Détermination de la chute de tension en ligne (DRES6).

Q29. Calculer la résistance linéique R_l en (Ω/km) et déterminer la réactance linéique X_l en (Ω/km) des conducteurs.

À puissance nominale, la valeur efficace du courant fournie par la machine asynchrone vaut : $I_B = 100 \text{ A}$ pour une tension efficace entre phases $U = 400 \text{ V}$.

Q30. Calculer la chute de tension relative ΔU_{1r} en (%) pour le tronçon 1 avec un $\cos \varphi = 0,8$.

D2. Étude du tronçon 2

Données :

- cette portion, d'une longueur de 420 m, permet la liaison entre le coffret CCPI et le transformateur ;
- le fournisseur d'énergie impose un câble ($3 \times 240 \text{ mm}^2 + 1 \times 95 \text{ mm}^2$).

Document :

- DTEC5 : caractéristiques du câble souterrain.

Q31. À l'aide du DTEC 5, calculer la chute de tension relative ΔU_{2r} en (%) pour le tronçon 2.

La chute de tension maximale cumulée, ne doit pas dépasser 5% dans le réseau souterrain en amont d'un branchement.

Q32. Déterminer la chute de tension relative totale ΔU_{Tr} et conclure.

Q33. Proposer des solutions pour pallier ce problème.