

BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR

ÉLECTROTECHNIQUE

Session 2023

ÉPREUVE E4

Microcentrale des deux Nants



DOSSIER RESSOURCES

| | |
|---|---|
| DRES 1 : Mécanique des fluides | 2 |
| DRES 2 : Mécanique sur la turbine | 3 |
| DRES 3 : Texte législatif fixant les conditions d'achat | 4 |
| DRES 4 : Méthode d'analyse pour la compensation d'énergie réactive..... | 5 |
| DRES 5 : Principe et protection d'une compensation automatique..... | 6 |
| DRES 6 : Section des conducteurs et chute de tension (2 pages)..... | 7 |

DRES 1 : Mécanique des fluides

Un fluide parfait est un fluide dont l'écoulement se fait sans frottement. On considère un écoulement permanent à débit constant d'un fluide parfait, entre les sections S_1 et S_2 , entre lesquelles il n'y a aucune machine hydraulique (pas de pompe, ni de turbine).

D'une part, l'équation de continuité dans l'hypothèse précédente se traduit par la conservation du débit volumique Q sur l'ensemble de la canalisation. On a alors :

$$Q = S_1 \cdot v_1 = S_2 \cdot v_2$$

D'autre part, l'expression de **l'énergie volumique totale du fluide** en un point de la canalisation peut se calculer par l'expression suivante :

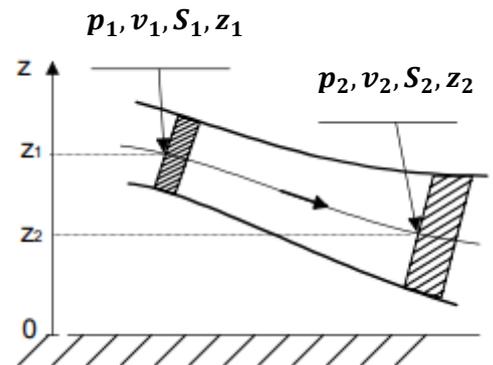
$$E_{S_1} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_1^2 + \rho \cdot g \cdot z_1 + p_1$$

Avec

p : la pression statique exprimé en Pascal ou en J/m^3

$\rho \cdot g \cdot z$: la pression de pesanteur exprimé en Pascal ou en J/m^3

$\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2$: la pression cinétique exprimé en Pascal ou en J/m^3

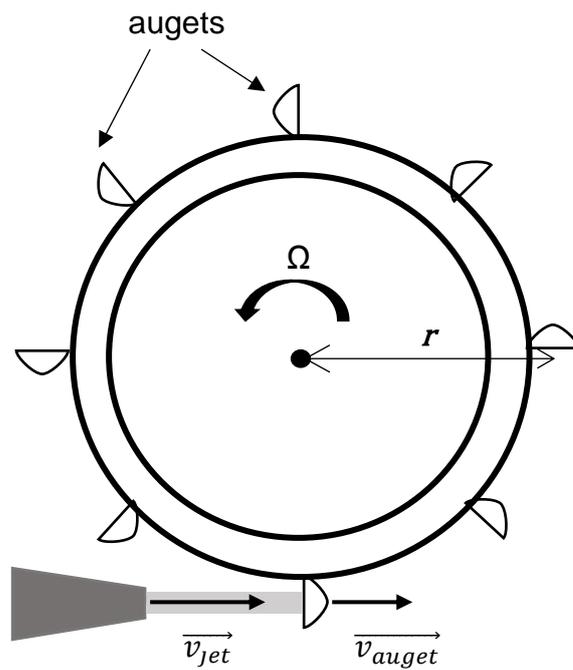


Relation de Bernoulli pour un écoulement permanent d'un fluide parfait incompressible

S'il n'y a aucune machine (ni pompe ni turbine) entre les points (1) et (2) d'une même ligne de courant, l'énergie volumique totale du fluide se conserve entre les points 1 et 2. On établit donc que : $E_{S_1} = E_{S_2}$

Cette conservation d'énergie se traduit par la relation de Bernoulli qui s'écrit alors sous la forme suivante :

$$\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_1^2 + \rho \cdot g \cdot z_1 + p_1 = \frac{1}{2} \rho \cdot v_2^2 + \rho \cdot g \cdot z_2 + p_2$$



On rappelle la relation entre la vitesse linéaire v d'un point et la vitesse angulaire de rotation Ω de ce point situé sur un système en rotation : $v = r \cdot \Omega$

avec

r : rayon de la turbine en mètre

et Ω : vitesse angulaire de rotation en rad/s.

DRES 3 : Texte législatif fixant les conditions d'achat

Arrêté du 13 décembre 2016 fixant les conditions d'achat et du complément de rémunération pour l'électricité produite par les installations utilisant l'énergie hydraulique des lacs, des cours d'eau et des eaux captées gravitairement.

Article 9

Le contrat est conclu pour une durée de vingt ans.

Article 12

Les producteurs qui en font la demande peuvent bénéficier d'un contrat d'achat pour les installations suivantes de puissance installée strictement inférieure à 500 kW :

- 1° Les nouveaux équipements destinés au turbinage des débits minimaux (ouvrage à construire dans le lit d'un cours d'eau).
- 2° Les autres nouvelles installations mentionnées au 1° de l'article D. 314-15 du code de l'énergie (installations utilisant l'énergie hydraulique des eaux captées gravitairement).

Annexe I

TARIFS APPLICABLES AUX INSTALLATIONS MENTIONNÉES À L'ARTICLE 12

Le tarif d'achat applicable à l'énergie fournie par les installations mentionnées à l'article 12, exprimé en €/ (MW·h) hors TVA, est défini conformément au tableau ci-dessous :

Installation de haute chute : une installation dont la hauteur de chute est supérieure à 30 mètres.
Installation de basse chute : une installation dont la hauteur de chute est inférieure ou égale à 30 mètres.

| | TARIF POUR LES INSTALLATIONS mentionnées au 1° de l'article 12 | TARIF POUR LES INSTALLATIONS de haute chute mentionnées au 2° de l'article 12 | TARIF POUR LES INSTALLATIONS de basse chute mentionnées au 2° de l'article 12 |
|-----------------------|--|---|---|
| Tarif à 1 composante | 80 | 120 | 132 |
| Tarif à 2 composantes | | | |
| - été | 58 | 88 | 96 |
| - hiver | 110 | 166 | 182 |

L'énergie susceptible d'être achetée à ce tarif pendant la durée du contrat est plafonnée. Le plafond est défini comme le produit de la puissance de raccordement inscrite dans le contrat d'accès au réseau public de l'installation par une durée de 120 000 heures pour les installations de basse chute et 100 000 heures pour les installations de haute chute. L'énergie produite au-delà de ce plafond est rémunérée à un tarif d'achat de 40 €/ (MW·h) dans tous les cas.

DRES 4 : Méthode d'analyse pour la compensation d'énergie réactive

Dans une installation basse-tension, la détermination de la solution de compensation de l'énergie réactive nécessite plusieurs étapes :

Étape 1 : détermination de la puissance réactive à compenser ;

Étape 2 : détermination du type d'équipement suivant le niveau d'harmoniques ;

Étape 3 : détermination du mode de compensation.

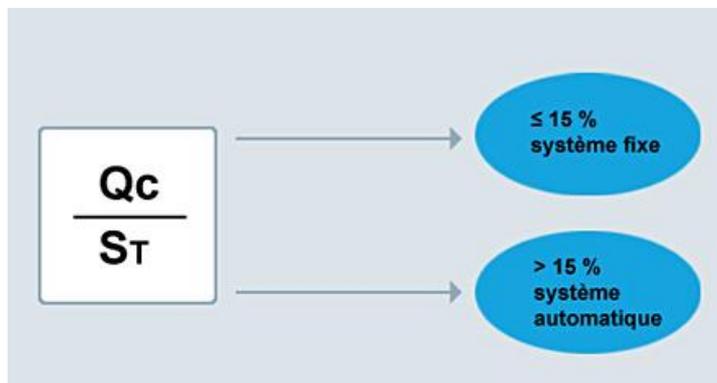
Pour l'étape 2 :

Il faut déterminer le rapport $\frac{Q_c}{S_T}$ avec :

Q_c : puissance réactive à compenser

S_T : puissance apparente du transformateur HTA/BT.

Un seuil de 15% a été fixé pour éviter les phénomènes de surcompensation.



Pour l'étape 3 :

Il faut déterminer le rapport $\frac{S_H}{S_T}$ avec :

S_H : puissance apparente du générateur pollué par les harmoniques

S_T : puissance apparente du transformateur HTA/BT.

Si $\frac{S_H}{S_T} < 15\%$, il faudra choisir un type d'équipement pour **système non pollué**

Si $\frac{S_H}{S_T} < 25\%$, il faudra choisir un type d'équipement pour **système faiblement pollué**

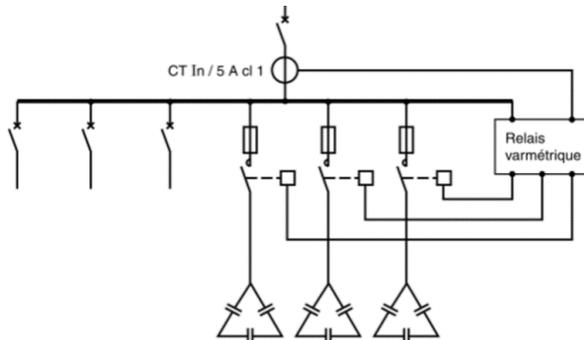
Si $25\% < \frac{S_H}{S_T} < 50\%$, il faudra choisir un type d'équipement pour **système pollué**

DRES 5 : Principe et protection d'une compensation automatique

Les batteries de condensateurs à régulation automatique ou dynamique permettent l'adaptation immédiate de la compensation d'énergie réactive aux variations de la charge.

Une batterie de condensateurs à régulation automatique ou dynamique est divisée en gradins. Chaque gradin est commandé par un contacteur. L'enclenchement du contacteur met le gradin en service en parallèle avec les gradins connectés à l'installation, le déclenchement du contacteur, au contraire, le met hors service. Ainsi la capacité totale de la batterie de condensateurs varie par paliers en fonction du besoin en puissance réactive (kvar).

Un relais varométrique mesure la valeur du facteur de puissance de l'installation et, en commandant l'ouverture ou la fermetures des contacteurs des gradins en fonction de la charge, régule la valeur du facteur de puissance de l'installation à la valeur consignée. La tolérance sur la régulation est déterminée par la taille de chaque gradin. Le transformateur de courant (CT) associé au relais varométrique doit être installé sur une des phases de l'arrivée alimentant les charges à compenser, comme décrit dans le schéma ci-dessous.



En gérant la compensation au plus près des besoins de la charge, les risques de produire des surtensions durant les périodes de faible charge sont évités ainsi que les dégradations probables des appareils et des équipements.

CHOIX DU DISJONCTEUR DE PROTECTION

Selon les Normes IEC 60831-1 et 60931-1, les condensateurs doivent pouvoir fonctionner avec un courant de valeur efficace allant jusqu'à 1,3 fois le courant assigné I_{cn} du condensateur. Cette prescription est due à la présence possible d'harmoniques dans la tension de réseau. On ne doit pas non plus oublier qu'une tolérance de +10 % est admise sur la valeur de capacité correspondant à sa puissance assignée, ce qui fait que les disjoncteurs de manœuvre de batteries de condensateurs doivent être choisis de façon à porter en permanence un courant maximum égal à : $I_{max} = 1,3 \times 1,1 \times I_{cn} = 1,43 \times I_{cn}$

Extrait de courants assignés normalisés de disjoncteurs utilisables pour la protection du système de compensation :

| | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|
| Courants assignés normalisés en A | 16 | 20 | 25 | 32 | 40 | 50 | 63 | 80 | 100 | 125 | 160 |
|-----------------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|

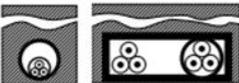
DRES 6 : Section des conducteurs et chute de tension (2 pages)

Détermination des sections de câbles :

Les tableaux ci-dessous permettent de déterminer la section des conducteurs de phase d'un circuit pour des canalisations enterrées (sélection D) et protégées par disjoncteur. Il faut déterminer un coefficient K qui caractérise l'influence des différentes conditions d'installation. Ce coefficient K s'obtient en multipliant les facteurs de correction, K4, K5, K6 et K7 :

- le facteur de correction K4 prend en compte le mode de pose
- le facteur de correction K5 prend en compte l'influence mutuelle des circuits placés côte à côte
- le facteur de correction K6 prend en compte l'influence de la nature du sol
- le facteur de correction K7 prend en compte la température ambiante et la nature de l'isolant

Facteur de correction K4

| type de pose des câbles(1) enterrés | espace entre conduits ou circuits | | nombre de conduits ou circuits | | | | | |
|--|--|---|--------------------------------|------|------|------|------|--|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | | |
| pose dans des conduits, de des fourreaux ou des conduits profilés enterrés | Appliquer d'abord un coefficient général de 0,80 puis tenir compte l'espace entre circuits et du nombre de conducteurs | | | | | | | |
|  | ■ seul | 1 | | | | | | |
| | ■ jointif | | 0,87 | 0,77 | 0,72 | 0,68 | 0,65 | |
| | ■ 0,25 m | | 0,93 | 0,87 | 0,84 | 0,81 | 0,79 | |
| | ■ 0,5 m | | 0,95 | 0,91 | 0,89 | 0,87 | 0,86 | |
| | ■ 1,0 m | | 0,97 | 0,95 | 0,94 | 0,93 | 0,93 | |
| posés directement dans le sol avec ou sans protection | Appliquer directement les coefficients ci-dessous | | | | | | | |
|  | ■ seul | 1 | | | | | | |
| | ■ jointif | | 0,76 | 0,64 | 0,57 | 0,52 | 0,49 | |
| | ■ un diamètre | | 0,79 | 0,67 | 0,61 | 0,56 | 0,53 | |
| | ■ 0,25 m | | 0,84 | 0,74 | 0,69 | 0,65 | 0,60 | |
| | ■ 0,5 m | | 0,88 | 0,79 | 0,75 | 0,71 | 0,69 | |
| | ■ 1,0 m | | 0,92 | 0,85 | 0,82 | 0,80 | 0,78 | |

(1) Câbles mono ou multiconducteurs

Facteur de correction K5

| influence mutuelle des circuits dans un même conduit | disposition des câbles jointifs | nombre de circuits ou de câbles multiconducteurs | | | | | | | | | | | |
|--|---------------------------------|--|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 12 | 16 | |
| | enterrés | 1 | 0,71 | 0,58 | 0,50 | 0,45 | 0,41 | 0,38 | 0,35 | 0,33 | 0,29 | 0,25 | |

Lorsque les câbles sont disposés en plusieurs couches, multiplier K5 par :

- 0,80 pour 2 couches
- 0,73 pour 3 couches
- 0,70 pour 4 ou 5 couches
- 0,68 pour 6 ou 8 couches
- 0,66 pour 9 couches et plus

Facteur de correction K6

| influence de la nature du sol | nature du sol | |
|-------------------------------|-----------------------|------|
| | ■ terrain très humide | 1,21 |
| | ■ humide | 1,13 |
| | ■ normal | 1,05 |
| | ■ sec | 1 |
| | ■ très sec | 0,86 |

Facteur de correction K7

| température du sol (°C) | isolation | |
|-------------------------|------------------------------|--|
| | polychlorure de vinyle (PVC) | polyéthylène réticulé (PR) éthylène, propylène (EPR) |
| 10 | 1,10 | 1,07 |
| 15 | 1,05 | 1,04 |
| 20 | 1,00 | 1,00 |
| 25 | 0,95 | 0,96 |
| 30 | 0,89 | 0,93 |
| 35 | 0,84 | 0,89 |
| 40 | 0,77 | 0,85 |
| 45 | 0,71 | 0,80 |
| 50 | 0,63 | 0,76 |
| 55 | 0,55 | 0,71 |
| 60 | 0,45 | 0,65 |

Détermination de la section minimale

Connaissant l' I_z et K (I_z est le courant équivalent au courant véhiculé par la canalisation : $I_z = I_z/K$), le tableau ci-après indique la section à retenir.

| | | isolant et nombre de conducteurs chargés (3 ou 2) | | | |
|--|-----|---|---------------|-----------------------------|---------------|
| | | caoutchouc ou PVC | | butyle ou PR ou éthylène PR | |
| | | 3 conducteurs | 2 conducteurs | 3 conducteurs | 2 conducteurs |
| section cuivre (mm ²) | 1,5 | 26 | 32 | 31 | 37 |
| | 2,5 | 34 | 42 | 41 | 48 |
| | 4 | 44 | 54 | 53 | 63 |
| | 6 | 56 | 67 | 66 | 80 |
| | 10 | 74 | 90 | 87 | 104 |
| | 16 | 96 | 116 | 113 | 136 |
| | 25 | 123 | 148 | 144 | 173 |
| | 35 | 147 | 178 | 174 | 208 |
| | 50 | 174 | 211 | 206 | 247 |
| | 70 | 216 | 261 | 254 | 304 |
| | 95 | 256 | 308 | 301 | 360 |
| | 120 | 290 | 351 | 343 | 410 |
| | 150 | 328 | 397 | 387 | 463 |
| | 185 | 367 | 445 | 434 | 518 |
| section aluminium (mm ²) | 240 | 424 | 514 | 501 | 598 |
| | 300 | 480 | 581 | 565 | 677 |
| | 10 | 57 | 68 | 67 | 80 |
| | 16 | 74 | 88 | 87 | 104 |
| | 25 | 94 | 114 | 111 | 133 |
| | 35 | 114 | 137 | 134 | 160 |
| | 50 | 134 | 161 | 160 | 188 |
| | 70 | 167 | 200 | 197 | 233 |
| | 95 | 197 | 237 | 234 | 275 |
| | 120 | 224 | 270 | 266 | 314 |
| | 150 | 254 | 304 | 300 | 359 |
| | 185 | 285 | 343 | 337 | 398 |
| | 240 | 328 | 396 | 388 | 458 |
| | 300 | 371 | 447 | 440 | 520 |

Détermination des chutes de tension admissibles :

La chute de tension en ligne en régime permanent est à prendre en compte pour l'utilisation du récepteur dans des conditions normales (limites fixées par les constructeurs des récepteurs). Le tableau ci-dessous donne les formules usuelles pour le calcul de la chute de tension.

Formules de calcul de chute de tension

| alimentation | chute de tension | |
|---|---|--------------------|
| | (V CA) | en % |
| monophasé : deux phases | $\Delta U = 2 I_B L (R \cos \varphi + X \sin \varphi)$ | 100 $\Delta U/U_n$ |
| monophasé : phase et neutre | $\Delta U = 2 I_B L (R \cos \varphi + X \sin \varphi)$ | 100 $\Delta U/V_n$ |
| triphase : trois phases (avec ou sans neutre) | $\Delta U = \sqrt{3} I_B L (R \cos \varphi + X \sin \varphi)$ | 100 $\Delta U/U_n$ |

- I_B : courant d'emploi en ampères
- U_n : tension nominale entre phases
- V_n : tension nominale entre phase et neutre
- L : longueur d'un conducteur (km)
- R : résistance linéique d'un conducteur (Ω/km). Pour le cuivre $R = \frac{22,5}{S}$ avec S : section (mm²) et pour l'aluminium $R = \frac{36}{S}$. R est négligeable au-delà d'une section de 500 mm².
- X : réactance linéique d'un conducteur (Ω/km). X est négligeable pour les câbles de section < 50 mm². En l'absence d'autre indication, on prendra $X = 0,08 \Omega/\text{km}$.