

**BACCALAURÉAT GÉNÉRAL**  
**SÉRIE SCIENTIFIQUE**  
**ÉPREUVE DE SCIENCES DE L'INGÉNIEUR**

**Session 2015**

Corrigé

# Petite centrale hydroélectrique à vis d'Archimède

## Éléments de correction

### 2. Réponse au besoin

---

*Objectif(s) de cette partie : évaluer* la puissance électrique que l'on peut espérer produire et la pertinence de l'investissement financier.

---

**Q1. Indiquer** le débit minimal garanti par la Lauch sur la période ciblée. En tenant compte du débit de réserve, en **déduire** le débit minimal disponible pour la production électrique.

Le débit minimal est de  $2,22 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . Le débit de réserve correspondant à un dixième de la moyenne annuelle soit  $0,16 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . Le débit minimal est donc  $2,06 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ .

**Q2.** La hauteur de chute d'eau est de deux mètres. **Calculer** dans ces conditions la puissance hydraulique disponible en kW. En **déduire** la puissance électrique que l'on peut espérer si le rendement global de l'installation est supposé de 75 %.

$$P = \rho \times g \times Q \times H \text{ donc } P = 1000 \times 9,81 \times 2 \times 2 = 39,24 \text{ kW}$$

Avec un rendement de 75 % la puissance électrique serait de 29,43 kW

**Q3. Calculer** pour la période définie précédemment, la production annuelle d'énergie électrique minimale garantie en kW·h.

Sur la période d'utilisation il y a 151 jours.

La production annuelle est de :  $29,43 \times 24 \times 151 = 106\,654 \text{ kWh}$ .

**Q4. Calculer** le nombre d'années nécessaire pour amortir l'investissement financier de la centrale. **Conclure** sur le choix d'implantation de la centrale au regard des capacités hydrauliques de la rivière.

Le gain annuel s'élève à 10 665€.

Ce qui correspond au nombre d'années suivant :  $150\,000 / 10\,665 = 14,06 \text{ ans}$ .

La durée d'amortissement est du même ordre de grandeur que celle préconisée.

Le projet d'implantation d'une centrale est donc viable car on s'est placé dans le cas le plus défavorable de débit d'eau.

### 3. Respect de la faune aquatique

*Objectif(s) de cette partie : vérifier* que la solution utilisée respecte les recommandations ichtyophiles de l'ONEMA (Office National de l'Eau et des Milieux Aquatiques) .

**Q5.** En prenant en compte les éléments de la figure 3 et les données relatives au site de production, **justifier** le choix du constructeur d'implanter une vis d'Archimède.

Avec  $2 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  et une hauteur de chute de 2 m, on se trouve dans le cadre de sélection pour la vis d'Archimède.

**Q6. Déterminer** la vitesse de rotation de la vis ( $N_{vis}$ ) pour un débit  $Q=2 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  .

Le volume d'eau déplacé pour un tour de la vis est de  $4,04 \text{ m}^3$  .

Avec un débit de  $2 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  ,  $N = \frac{2}{4,04} = 0,495 \text{ tr} \cdot \text{s}^{-1} = 29,7 \text{ tr} \cdot \text{min}^{-1}$

**Q7. Déterminer** dans ces conditions la vitesse tangentielle sur le diamètre extérieure de la vis.

Connaissant le diamètre de la vis ainsi que sa vitesse de rotation, on en déduit la vitesse tangentielle :  $V = \frac{De}{2} \times \Omega_{vis} = 1,25 \times 30 \times \frac{\pi}{30} = 3,92 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

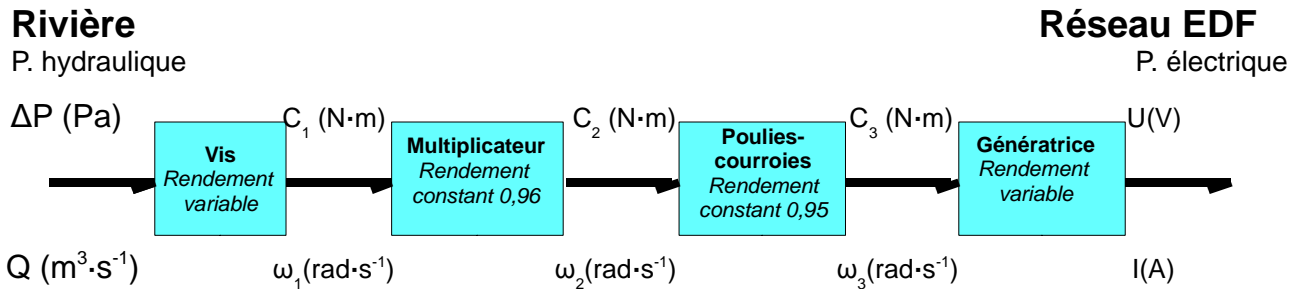
**Q8. Conclure** sur le respect du critère d'ichtyophilie par une vis d'Archimède.

L'O.N.E.M.A. préconise des vitesses périphériques inférieures à  $6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ . Une vitesse de  $3,92 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  est compatible avec le respect de la faune aquatique.

## 4. Architecture de l'installation

Objectif(s) de cette partie : **justifier** l'architecture et le dimensionnement du système de transmission mécanique.

**Q9. Compléter** le document réponse DR1 en précisant les deux grandeurs, effort et flux, correspondant à la puissance transportée par chacun des liens de puissance. Les unités du système international de ces deux variables seront également précisées. Les zones en pointillés sont à compléter.



**Q10.** À partir des rendements des différents éléments de la chaîne de transmission de puissance indiqués figure 6, **déterminer** le rendement global et **évaluer** la puissance électrique que l'on peut attendre de l'installation.

Le produit de tous les rendements donne un rendement global égal à 67,6 %.

La puissance hydraulique est de 39,24 kW.

La puissance à la sortie de la génératrice est donc de  $39,24 \times 0,676 = 26,53$  kW .

**Q11.** Au regard de la fréquence du réseau EDF de 50 Hz, **déterminer** la vitesse de synchronisme  $N_s$  .

La vitesse de synchronisme est liée au nombre de paires de pôles par la relation  $f = \frac{p \cdot N_s}{60}$  d'où une vitesse de synchronisme de :  $50 = \frac{3 \times N_s}{60}$ ;  $N_s = 1000$  tr·min<sup>-1</sup> .

**Q12.** Afin d'optimiser le fonctionnement de la génératrice, il est choisi de travailler au glissement nominal de la machine asynchrone qui est fixé par le constructeur à -1,8 %. **Déterminer** la vitesse de rotation  $N_G$  du rotor.

$$N_G = N_s - g_l \cdot N_s = 1018 \text{ tr} \cdot \text{min}^{-1}$$

**Q13.** **Déduire** le rapport de multiplication du dispositif poulies-courroie.

Sachant que  $r = \frac{N_{\text{multiplicateur}}}{N}$  , alors  $15,354 = \frac{N_{\text{multiplicateur}}}{29,7}$

d'où  $N_{\text{multiplicateur}} = 456 \text{ tr} \cdot \text{min}^{-1}$  ,  $r_{\text{courroie}} = \frac{N_G}{N_{\text{multiplicateur}}}$  soit  $r_{\text{courroie}} = \frac{1018}{456} = 2,23$

Le rapport de multiplication est donc de 2,23.

**Q14.** Le concepteur a choisi d'utiliser deux systèmes de multiplication successifs. **Justifier** ce choix.

Le multiplicateur dispose d'un rapport de réduction constant imposé par son fabricant. L'ajout d'un système poulie courroie permet d'ajuster ce rapport de réduction en fonction des besoins.

Par ailleurs les courroies permettent de supporter des à-coups de couple qui seraient destructeurs à terme pour le multiplicateur. La transmission par courroie apporte de l'élasticité dans la chaîne de transmission.

**Q15. Expliquer** ce que représente physiquement le ressort dans ce modèle.

Cette modélisation permet de prendre en compte l'allongement de la courroie face aux efforts mis en jeu.

**Q16. Indiquer** à quel instant cette situation peut se produire. **Indiquer** la valeur de la précontrainte appliquée à la courroie lors de son montage.

À l'instant de date  $t = 2,5$  s, on constate que sous l'action du couplage, le brin A de la courroie se tend alors que le brin B se détend. L'effort pendant la phase transitoire est très proche de 0 N. C'est à cet instant précis qu'il y a un risque que la courroie saute une dent.

La précontrainte peut être lue sur le graphe lors d'un mouvement uniforme, soit juste avant 2,5 s. On peut lire : environ 1600 N.

**Q17. Calculer**, après l'instant  $t = 2,5$  s au point O, centre de la poulie réceptrice (figure 8), les moments des efforts  $\vec{F}_A$  et  $\vec{F}_B$  notés respectivement  $\vec{M}(O, \vec{F}_A)$  et  $\vec{M}(O, \vec{F}_B)$ .

En posant le produit vectoriel ou en utilisant la méthode des « bras de levier » on trouve :

$$\vec{M}(O, \vec{F}_A) = \vec{OA} \wedge \vec{F}_A = \frac{184 \times 10^{-3}}{2} \cdot \vec{y} \wedge (-2959 \cdot \vec{x}) \text{ soit } \vec{M}(O, \vec{F}_A) = 272 \cdot \vec{z}$$

$$\vec{M}(O, \vec{F}_B) = \vec{OB} \wedge \vec{F}_B = \frac{-184 \times 10^{-3}}{2} \cdot \vec{y} \wedge (-241 \cdot \vec{x}) \text{ soit } \vec{M}(O, \vec{F}_B) = -25 \cdot \vec{z}$$

**Q18. Calculer**, au point O, le moment résultant de ces 2 efforts. **En déduire**, à partir de la figure 9 et des résultats précédents les conditions de couplage retenues pour cette simulation (vitesse et couple sur l'arbre de la génératrice).

Compte tenu des résultats précédents on trouve en faisant la somme des moments que les conditions de couplage correspondent à un couple de 247 N·m et une vitesse de 1020 tr·min<sup>-1</sup>.

**Q19. Calculer** la largeur minimale  $b$  en mm de la courroie si le comportement du matériau qui la constitue est linéaire.

$$\text{La largeur minimale vaut donc : } b = \frac{F_A}{6 \times 15000} = \frac{2959}{6 \times 15000} = 32,9 \text{ mm}$$

## 5. Étude des conditions de couplage et de découplage de la génératrice au réseau EDF

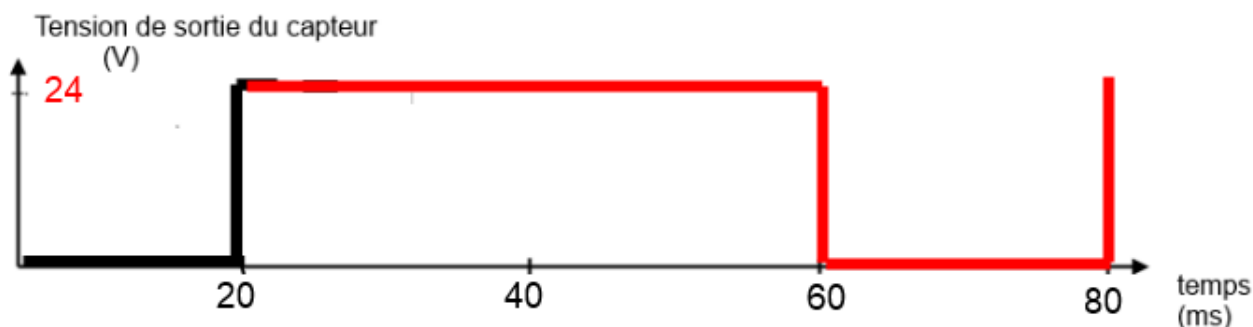
*Objectif(s) de cette partie : définir* les conditions de couplage et de découplage de la génératrice au réseau EDF. *Analyser* les moyens mis en œuvre pour assurer ces fonctions techniques.

**Q20.** Déterminer, en la justifiant, la vitesse de rotation du rotor pour laquelle le couplage au réseau occasionne la contrainte la plus élevée pour la transmission à courroie. Justifier les conditions de couplage trouvées à la question **Q18**.

Pour une vitesse de  $1020 \text{ tr}\cdot\text{min}^{-1}$ , le couplage entraîne un échelon de couple de  $250 \text{ N}\cdot\text{m}$ . C'est pour cette vitesse de couplage qu'il y a un à-coup ( $\frac{dC}{dt}$ ) de couple le plus important. Les deux autres vitesses de couplage offrent une évolution du couple plus lente et donc moins « traumatisante » pour la transmission.

Les conditions de couplage de la question **Q18** sont celles du couplage à  $1020 \text{ tr}\cdot\text{min}^{-1}$  pour se placer dans le cas le plus défavorable pour la courroie.

**Q21.** À partir des dimensions du disque (figure 12), tracer sur le document réponse DR1, l'allure du signal électrique restitué par le capteur lorsque la vitesse de rotation est de  $1000 \text{ tr}\cdot\text{min}^{-1}$ . Préciser la tension et les temps caractéristiques.



**Q22.** Compléter, sur le document réponse DR1, l'algorithme correspondant à ce cycle en précisant et en justifiant les valeurs numériques.

Pour une vitesse de rotation de  $1000 \text{ tr}\cdot\text{min}^{-1}$ , la période entre deux fronts montants est de :  $\left(\frac{1000}{60}\right)^{-1} = 60 \times 10^{-3} \text{ s}$ .

Pour une vitesse de rotation de  $1020 \text{ tr}\cdot\text{min}^{-1}$ , la période entre deux fronts montants est de :  $\left(\frac{1020}{60}\right)^{-1} = 58,8 \times 10^{-3} \text{ s}$ . D'où l'algorithme suivant :

**ALGORITHME DE COUPLAGE****DEBUT***COMPTEUR=0***TANT QUE COMPTEUR<5****FAIRE**Attente d'une nouvelle valeur de *TEMPS\_MESURE***SI** (*TEMPS\_MESURE*  $\geq$  58,8 ms) **ET** (*TEMPS\_MESURE*  $\leq$  60 ms)**ALORS COMPTEUR=COMPTEUR + 1****SINON COMPTEUR=0****FIN SI****FIN TANT QUE**

COUPLER LA GENERATRICE AU RESEAU

**FIN****Q23. Expliquer** ce qui justifie ce découplage.

Lorsque la machine asynchrone absorbe de la puissance active au lieu de lui en fournir elle fonctionne en régime moteur et non plus en génératrice.

**Q24.** À l'aide du document technique DT1 **déterminer** la trame de la requête de l'automate vers la centrale afin que celle-ci renvoie la valeur de la puissance active. L'adresse de la centrale DIRIS est : 5 (valeur par défaut). Le code de contrôle CRC ne sera pas calculé.

Adresse de l'esclave	Code de la fonction	Adresse de la grandeur mesurée	Nombre de mots demandés	CRC
1 octet	1 octet	2 octets	2 octets	2 octets
05	03	C568	0002	

La trame est 05 03 C5 68 00 02 CRC

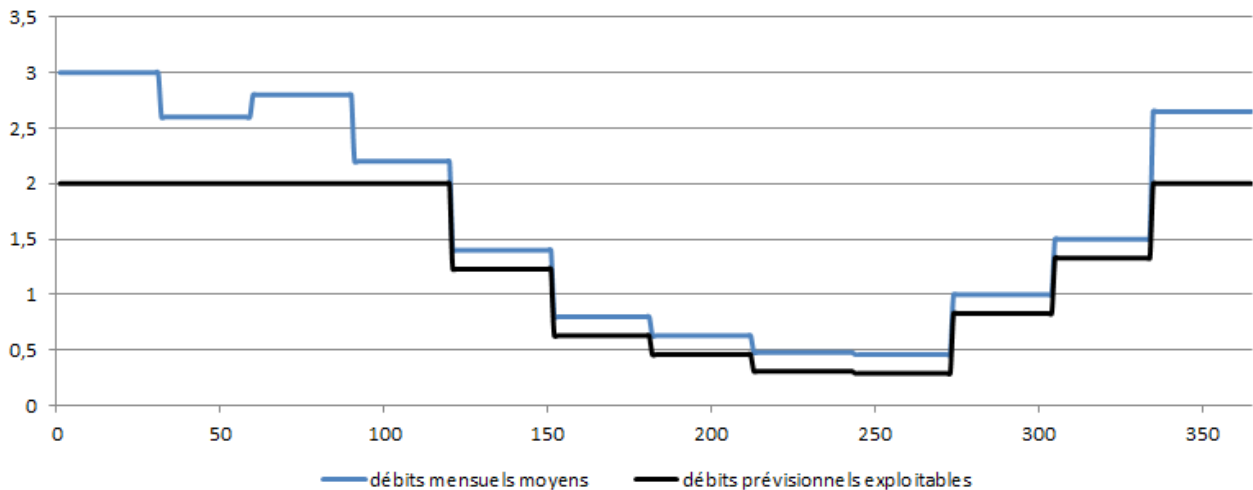
**Q25. Décrire** ce qui se passera si l'automate reçoit à 5 reprises successives la trame suivante : 05 03 04 00 00 00 C8 CRC.

\$000000C8 = 200 ce qui donne une puissance positive égale 2 kW. Cela correspond donc à un fonctionnement en moteur et ce pendant 5 secondes donc l'ordre de découplage sera donné.

## 6. Exploitation et supervision de l'installation

Objectif(s) de cette partie : **justifier** la présence et le rôle des capteurs de niveaux installés sur le site.

**Q26.** Indiquer, sur le document réponse DR1, les débits prévisionnels exploitables.



**Q27.** Les capteurs de niveau sont de type à ultrasons. **Montrer** et **justifier**, à l'aide de la figure 13, que l'information délivrée par les capteurs de niveau ne donne pas directement le niveau d'eau.

L'information délivrée correspond à la distance entre le capteur et la surface de l'eau. Pour obtenir la hauteur d'eau réelle, il faudra soustraire cette information à la hauteur d'implantation des capteurs par rapport au fond considéré.

**Q28.** En se référant à la vue synoptique de la figure 13, **préciser** les capteurs dont l'information servira pour déterminer le débit utilisable, le débit turbiné et la hauteur de chute utile. **Justifier** les réponses.

Débit utilisable : capteur niveau amont. Celui-ci donne une image du niveau d'eau de la rivière et donc du débit de celle-ci par le biais de la courbe de tarage.

Débit turbiné : capteur niveau amont et capteur niveau entrée vis. Ces deux informations permettent de calculer approximativement le débit d'écoulement  $Q = k h \sqrt{H_a}$ .

Hauteur de chute utile : capteur niveau entrée vis et capteur niveau aval. La connaissance de ces informations et des cotes des radiers permet de trouver cette hauteur.

**Q29.** Déterminer la relation à implanter dans l'automate permettant d'obtenir cette information.

La masse économisée vaut :  $m = 1,061 \times W$ ,  $W$  énergie produite en kWh.



## 7. Synthèse

---

*Objectif(s) de cette partie* : **comparer** la production estimée à la production réelle obtenue sur la première année d'exploitation afin de valider le temps de retour sur investissement.

---

**Q30. Analyser**, le plus précisément possible, l'allure des deux courbes d'énergie. L'analyse devra apporter une justification cohérente des portions linéaires des courbes obtenues et mettra en évidence les écarts observés. **Critiquer** la méthode qui a permis d'estimer le retour sur investissement dans le début de l'étude.

Pendant les quatre premiers mois le débit autorise de fonctionner à puissance nominale. La pente de la courbe de l'énergie estimée est l'image de la puissance produite : 30 kW.

Pendant les deux premiers mois l'énergie produite est deux fois plus faible que celle estimée du fait de la puissance réduite pour le démarrage de l'installation (rodage et contrôle).

Les vingt cinq jours suivants l'installation a fonctionné à puissance nominale (même pente que l'énergie estimée).

Au quatre vingtième jour la production stagne, ceci est vraisemblablement dû à un arrêt de l'installation (il est peu probable que ce soit par manque d'eau).

Ensuite la courbe d'énergie produite ne présente plus de portion linéaire car on entre dans une période où le débit n'a pas permis de travailler à puissance nominale.

En considérant un démarrage à puissance nominale, l'énergie se serait rapprochée de l'estimation, et aurait été plus importante que celle estimée au début de l'étude. Le retour sur investissement réel se fera plus rapidement.

Le fait de ne prendre en compte que les cinq mois les plus productifs de l'année permet d'avoir une estimation pessimiste de la durée du retour sur investissement.