

BACCALAURÉAT GÉNÉRAL
SÉRIE SCIENTIFIQUE
ÉPREUVE DE SCIENCES DE L'INGÉNIEUR

Session 2018

Corrigé

Ce corrigé comporte 9 pages numérotées de 1 sur 9 à 9 sur 9.

Stade d'eau vive de Vaires-Torcy

1. Analyse du besoin relatif à l'ouvrage du stade d'eau vive

Q1. En s'appuyant sur la présentation de l'ouvrage, **justifier** l'investissement d'un tel ouvrage aux portes de Paris.

Il n'existe pas de rivière naturelle d'eau vive pouvant accueillir des compétitions régionales ou les JO dans la région proche de Paris.

Dans l'avenir, la proximité de l'autoroute va permettre l'accès facile et rapide aux athlètes pour les JO. Le stade d'eau vive va répondre aux exigences du cahier des charges d'une rivière de compétition. (Rivière de 300 m de longueur et de pente moyenne 1,5 %, débit entre 10 et 14 .Parcours en ligne droite de 2 km de long pour l'aviron).

Q2. **Indiquer** les principales préoccupations environnementales liées à l'ouvrage du stade d'eau vive.

Les principales préoccupations environnementales sont :

- la préservation du site naturel par une surveillance accrue des critères écologiques du milieu et la limitation de la consommation d'énergie des équipements prise en compte à la conception de l'ouvrage ;
- une meilleure gestion de la consommation énergétique de l'ensemble.

2. Le bassin d'arrivée

Q3. Pour chacune de ces 4 actions mécaniques, **définir** une notation, le point d'application, la direction, le sens et l'intensité. La réponse pourra être rédigée sous la forme d'un tableau.

Bilan des forces sans tenir compte des actions du sol sur l'ouvrage :

| Action mécanique | Nom | Point | Direction | Sens | Intensité |
|-------------------------------------|--|-------|-----------|------------|-----------------------------------|
| Action de pesanteur sur le bassin | \vec{P} (<i>pesanteur</i> \rightarrow <i>bassin</i>) | G1 | // y | $-\vec{y}$ | $m_{bassin} \times \ \vec{g}\ $ |
| Action de la nappe sur le bassin | \vec{A} (<i>nappe</i> \rightarrow <i>bassin</i>) | A | // y | $+\vec{y}$ | $\rho_1 \times s_{bassin}$ |
| Action de pesanteur sur le bâtiment | \vec{P} (<i>pesanteur</i> \rightarrow <i>bâtiment</i>) | G2 | // y | $-\vec{y}$ | $m_{bâtiment} \times \ \vec{g}\ $ |
| Action de la nappe sur le bâtiment | \vec{B} (<i>nappe</i> \rightarrow <i>bâtiment</i>) | B | // y | $+\vec{y}$ | $\rho_2 \times s_{bâtiment}$ |

Q4. Déterminer la résultante \vec{R} (nappe+pesanteur→bassin) des actions extérieures agissant sur le bassin d'arrivée et la résultante \vec{R} (nappe+pesanteur→bâtiment) des actions extérieures agissant sur le bâtiment.

Pour le bassin :

$$\text{Volume du bassin : } V_{\text{bassin}} = V_{\text{cône}} + V_{\text{radier}} = 401 \text{ m}^3$$

$$\text{Masse du bassin : } m_{\text{bassin}} = \rho_{\text{béton}} \cdot V_{\text{bassin}} = 2500 \times 401 = 1002 \text{ tonnes}$$

$$\vec{P}(\text{bassin}) = -(m_{\text{bassin}} \cdot \|\vec{g}\|) \cdot \vec{y} = -9834 \cdot \vec{y} \cdot \text{kN}$$

$$\vec{A}(\text{nappe} \rightarrow \text{bassin}) = +(p_1 \cdot S_{\text{radier}}) \cdot \vec{y} = +(p_1 \cdot \pi \cdot R_{2\text{ext}}^2) \cdot \vec{y}$$

$$\vec{A}(\text{nappe} \rightarrow \text{bassin}) = +(2000 \cdot \pi \cdot 19^2) \cdot \vec{y} = +2268 \cdot \vec{y} \cdot \text{kN}$$

Résultante sur le bassin :

$$\vec{R}(\text{nappe+pesanteur} \rightarrow \text{bassin}) = \vec{P}(\text{bassin}) + \vec{A}(\text{nappe} \rightarrow \text{bassin})$$

$$\vec{R}(\text{nappe+pesanteur} \rightarrow \text{bassin}) = -9834 \cdot \vec{y} + 2268 \cdot \vec{y} = -7566 \cdot \vec{y} \cdot \text{kN}$$

Pour le bâtiment :

$$\vec{P}(\text{bâtiment}) = -(m_{\text{bâtiment}} \cdot \|\vec{g}\|) \cdot \vec{y} = +(324000 \times 9,81) \cdot \vec{y} = -31784 \cdot \vec{y} \cdot \text{kN}$$

$$\vec{B}(\text{nappe} \rightarrow \text{bâtiment}) = +(p_2 \cdot S_{\text{bâtiment}}) \cdot \vec{y} = +(26000 \times 165) \cdot \vec{y} = +4290 \cdot \vec{y} \cdot \text{kN}$$

Résultante sur le bâtiment :

$$\vec{R}(\text{nappe+pesanteur} \rightarrow \text{bâtiment}) = \vec{P}(\text{bâtiment}) + \vec{B}(\text{nappe} \rightarrow \text{bâtiment})$$

$$\vec{R}(\text{nappe+pesanteur} \rightarrow \text{bâtiment}) = -31784 \cdot \vec{y} \cdot \text{kN} + 4290 \cdot \vec{y} \cdot \text{kN} = -27494 \cdot \vec{y} \cdot \text{kN}$$

Q5. Conclure sur le risque de soulèvement, d'une part, du bassin d'arrivée et, d'autre part, du bâtiment en raison de la présence de la nappe phréatique et de l'absence d'eau dans l'ouvrage.

Les résultantes en A, $\vec{R}(\text{nappe+pesanteur} \rightarrow \text{bassin})$, et en B, $\vec{R}(\text{nappe+pesanteur} \rightarrow \text{bâtiment})$, montrent qu'elles sont dirigées toutes les deux vers le bas.

La nappe phréatique n'est donc pas en capacité de soulever les ouvrages en béton (bassin et bâtiment).

3. Le système de pompage

Q6. Après avoir calculé Δp et à l'aide du document technique DT1, **déterminer** la valeur de la vitesse de rotation N en $\text{tr} \cdot \text{min}^{-1}$ de la motopompe permettant de remonter l'eau avec un débit de $3,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

La remontée d'eau est d'une hauteur de 6 m (voir figure 4 du sujet). Pour cette hauteur nous avons donc :

$$\Delta p_H = \rho \times g \times H \times 10^{-5} = 1000 \times 9,81 \times 6 \times 10^{-5} = 0,59 \text{ bar.}$$

$$\Delta p_{PC} = 2,32 \times 10^{-3} \times 25 = 0,058 \text{ bar}$$

soit $\Delta p = 0,648 \text{ bar}$ pour ce point de fonctionnement.

Par lecture sur le document technique DT1, pour une variation de pression dans la pompe vaut 0,65 bar, le point de fonctionnement est entre $480 \text{ tr}\cdot\text{min}^{-1}$ et $495 \text{ tr}\cdot\text{min}^{-1}$: $N = \frac{480+495}{2} = 488 \text{ tr}\cdot\text{min}^{-1}$

Q7. Vérifier que les résultats des simulations sont cohérents avec les caractéristiques de fonctionnement du document technique DT1.

D'après les résultats de simulations, à $450 \text{ tr}\cdot\text{min}^{-1}$, $480 \text{ tr}\cdot\text{min}^{-1}$ et $495 \text{ tr}\cdot\text{min}^{-1}$, la différence de pression Δp nécessaire au bon fonctionnement est de $1,65 - 1 = 0,65 \text{ bar}$.

Pour ces 3 vitesses, nous pouvons constater à partir du DT1 qu'aux débits correspondants (respectivement 3 , $3,34$ et $3,5 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$), le groupe pompe fournit un Δp de $0,65 \text{ bar}$. Le modèle paraît donc conforme par rapport aux caractéristiques de pompe.

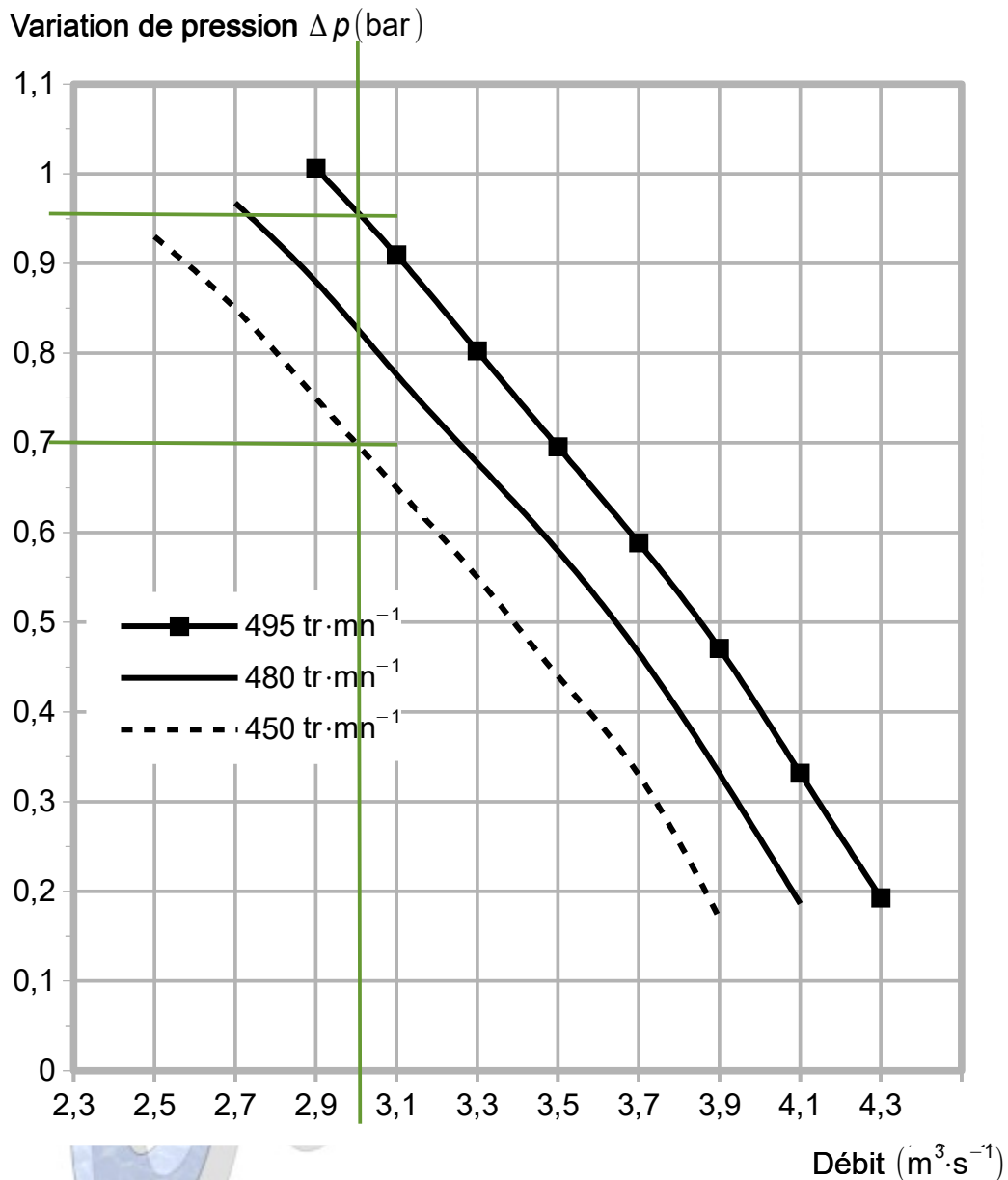
Q8. Relever l'écart entre la différence de pression expérimentale et la différence de pression simulée. **Indiquer** l'origine possible de cet écart et le paramètre du modèle multi-physique qui devrait être changé pour réduire l'écart.

En régime établi, l'écart de pression est de $0,05 \text{ bar}$ entre les mesures expérimentales ($0,7 \text{ bar}$ lu sur la figure 6) et les résultats simulés ($1,65 - 1 = 0,65 \text{ bar}$ trouvés dans le tableau 2).

Les pertes de charges sont donc plus élevées qu'en théorie et qui ont donc été sous-évaluées (pertes dans les coudes, ...). Les pertes de charges, et donc le paramètre k_{PC} , doit donc être recalé pour diminuer cet écart.

Q9. Pour les deux solutions envisagées, **relever** sur le document technique DT1 les points de fonctionnement (vitesse de rotation de la pompe et différence de pression) permettant d'obtenir un débit réduit de $3 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$.

Pour $3 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$, le premier point de fonctionnement possible se situe à $495 \text{ tr}\cdot\text{min}^{-1}$ avec $0,95 \text{ bar}$. Le deuxième point se situe à $480 \text{ tr}\cdot\text{min}^{-1}$ avec $0,7 \text{ bar}$.



Q10. Calculer la valeur de la puissance P_{HU} pour un débit de $3 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ainsi que le rendement global de la solution avec variateur et la puissance fournie par le réseau électrique P_R .

$$P_{HU} = 3 \times 0,6 \times 10^5 = 180 \text{ kW}$$

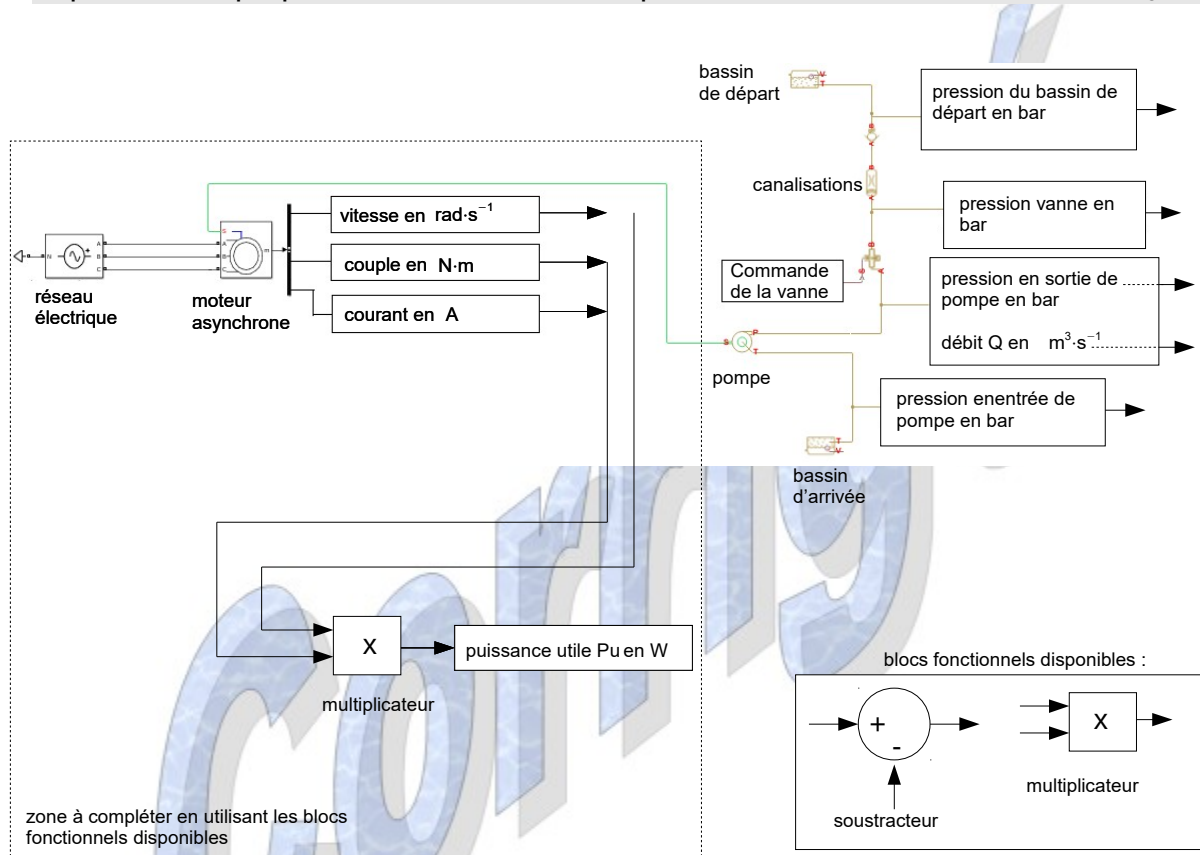
Le rendement global est $\eta_g = \eta_1 \times \eta_2 \times \eta_3 \times \eta_4 = 0,643 = 64,3\%$.

La puissance fournie par le réseau est alors $P_R = \frac{P_{HU}}{\eta_g} = 280 \text{ kW}$.

Q11. Déterminer la puissance P_{MU} lorsque le débit est réduit à $3 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

$$P_{MU} = C \cdot \Omega = 7250 \cdot \frac{2\pi \cdot 495}{60} = 376 \text{ kW}$$

Q12. Compléter le document réponse DR1 en ajoutant les blocs fonctionnels, parmi ceux proposés sur le document réponse, nécessaires au calcul de P_{MU} .



Q13. Calculer la puissance fournie par le réseau électrique P_R pour la solution avec vannage ainsi que son rendement global.

$$P_R = \frac{P_{MU}}{\eta_2} = \frac{376}{0,94} = 400 \text{ kW}$$

Le rendement global est $\eta_g = \frac{P_{HU}}{P_R} = \frac{180}{400} = 0,45 = 45\%$.

Q14. Déterminer la puissance dissipée par chacun des constituants de la figure 8, solution avec vannage.

| | Puissance dissipée |
|---------------------|---|
| moteur | $P_{pm} = (1 - \eta_2) P_R = 24 \text{ kW}$ |
| pompe | $P_{pp} = (1 - \eta_3) P_{MU} = 90,2 \text{ kW}$ |
| Circuit de relevage | $P_{pc} = \left(\frac{1}{\eta_4} - 1\right) P_{HU} = 29,3 \text{ kW}$ |
| vanne | $P_{pv} = P_R - P_{HU} - P_{pm} - P_{pp} - P_{pc} = 76,5 \text{ kW}$ |

Q15. Conclure sur le choix d'alimenter les motopompes avec un variateur d'un point de vue énergétique. Pour cela **comparer** pour les deux solutions le rendement global et la puissance fournie par le réseau.

Les deux solutions peuvent être comparées sur plusieurs critères : le rendement global, la puissance fournie par le réseau électrique, et les pertes dans les différents constituants.

| | Solution avec variateur | Solution avec vannage | Écart variateur / vannage |
|---------------------------------|-------------------------|------------------------|---------------------------|
| Rendement global | $\eta_g = 64,3 \%$ | $\eta_g = 45 \%$ | + 19,3 % |
| Puissance fournie par le réseau | $P_R = 280 \text{ kW}$ | $P_R = 400 \text{ kW}$ | - 120 kW (-30%) |

Sur ces deux critères, tant sur le rendement global (+19,3%) que sur la puissance fournie par le réseau (-30%), la solution avec variateur est plus favorable.

| | Variateur | Moteur | Pompe | Vanne | Circuit |
|-------------------------|------------------|---------|---------|--------------|---------|
| Solution avec variateur | 5,6 kW | 19,3 kW | 46 kW | Pas de vanne | 29,3 kW |
| Solution avec vannage | Pas de variateur | 24 kW | 90,2 kW | 76,5 kW | 29,3 kW |

Si les différents constituants sont analysés, il est clair que la solution avec vannage induit de nombreuses pertes, qui sont principalement dues à la vanne.

4. Impact sur le bassin naturel existant

Q16. Déterminer le nombre de bits nécessaire pour coder en binaire naturel avec les résolutions données, les informations « concentration en oxygène » et « température ». **Justifier** le choix d'un CAN 10 bits.

$2^n = \text{plage} \div \text{résolution} = 20 \div 0,1 = 200$ donc $n=8$ bits, soit 1 octet pour la concentration en oxygène.

$2^n = \text{plage} \div \text{résolution} = 50 \div 0,1 = 500$ donc $n=9$ bits, soit 2 octets pour la température.

Le CAN 10 bits permet de numériser ces deux informations avec une résolution inférieure à celle de la mesure, ce qui permet de respecter le critère de résolution du cahier des charges.

Q17. Recopier et compléter la ligne 10 avec l'ensemble des paramètres de la fonction `Init_Serie` pour configurer correctement la liaison série entre l'ordinateur et l'appareil de mesure connecté sur le port 2.

`Init_Serie(2, 9600, 8, 0, 1)`

Q18. Recopier et compléter les lignes 17 à 23 de cet algorithme afin de récupérer les 14 octets de données envoyées sur le port série et de les sauvegarder dans le tableau `Donnee`.

```

i ← 1
TANT QUE i < 15
    SI Octet_Reçu() ALORS
        Donnee[i] ← Lire_Serie()
        i ← i+1
    FIN SI
FIN TANT QUE
  
```

Q19. Indiquer les octets qui contiennent l'information « concentration en oxygène » et qui doivent être récupérés.

Les 4 octets qui doivent être récupérés pour avoir l'information « Concentration en O₂ » sont les octets 8, 9, 10 et 11. Dans le tableau `Donnee` cela correspond aux indices 7, 8, 9 et 10.

Q20. Déterminer à partir de la trame reçue le 15 janvier 2017 et du tableau 7, la concentration en oxygène et la température relevée lors de ce prélèvement. **Indiquer** si elle respecte les seuils définis tableau 4.

Oxygène = 9,5 mg/l et température = 10,3 °C. Nous sommes donc dans le cas d'absence d'effets à long terme. Tout va bien.

Q21. Définir les lignes de l'algorithme à ajouter afin d'extraire et de convertir en nombre flottant la donnée de concentration en oxygène.

A placer à la suite de l'algorithme :

ConcentrationO2 ← Car_Entier(Donnee[7])*10

ConcentrationO2 ← ConcentrationO2 + Entier(Donnee[8])*1

ConcentrationO2 ← ConcentrationO2 + Entier(Donnee[10])/10

Q22. Conclure sur la validité de la procédure de récupération de l'information ainsi que la résolution des mesures de l'appareil pour répondre aux exigences de surveillance environnementale.

La procédure de récupération de l'information de la concentration en oxygène permet bien de récupérer un nombre réel avec une résolution d'un dixième, ce qui valide les critères retenus pour les mesures.

5. Synthèse

Q23. Exploiter les résultats des précédentes parties pour conclure sous la forme d'un paragraphe de quelques lignes, sur le respect des exigences de longévité de l'ouvrage tant au niveau environnemental qu'énergétique.

- Protection de l'ouvrage du bassin d'arrivée (aucun soulèvement possible due à la nappe phréatique).
- Augmentation de la longévité mécanique des moteurs par un démarrage progressif.
- Meilleur rendement énergétique.
- Surveillance de la concentration d'oxygène de façon périodique pour mesurer l'impact écologique sur le bassin naturel, suivi possible grâce à un stockage des données relevées sur ordinateur avec un accès à distance.

Conclusion : respect des critères environnementaux locaux (faune et flore) et énergétiques.

Meilleure longévité des ouvrages par une prise en compte à la conception.