

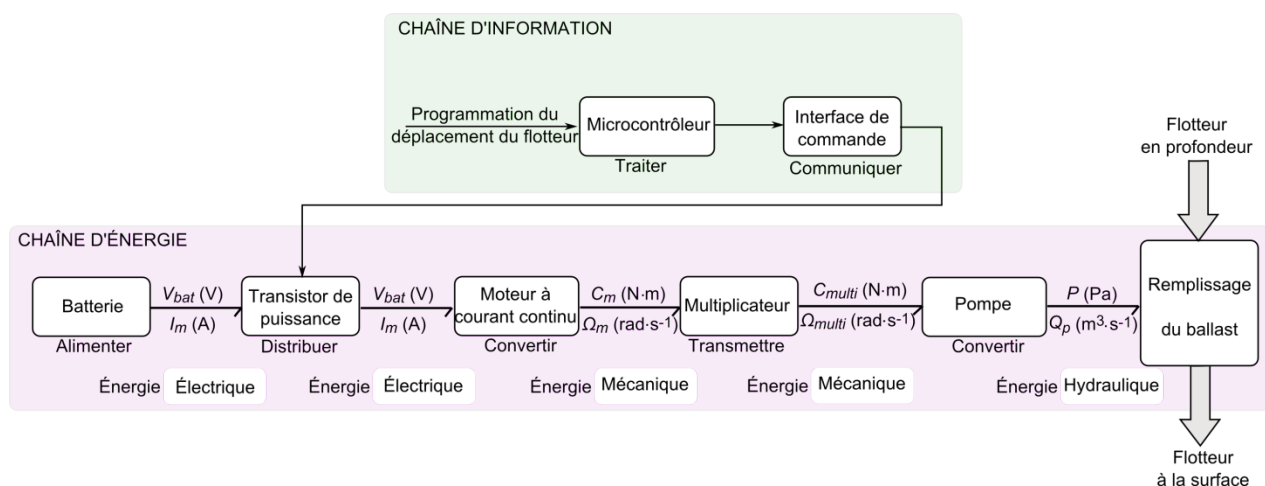
Concours Général des lycées – Session 2016

Sciences de l'ingénieur - Élément de Correction

PARTIE 1 – ANALYSES FONCTIONNELLE ET STRUCTURELLE DU FLOTTEUR

Question 1 : Compléter le document réponse DR1 décrivant la chaîne d'information et la chaîne d'énergie du flotteur lors de sa remontée à la surface.

Question 2 : Dans la chaîne d'énergie, préciser, sur le document réponse DR1, les formes d'énergie mises en jeu (mécanique, hydraulique ou électrique).



PARTIE 2 – ÉTUDE DES CAPTEURS EMBARQUÉS DANS LE FLOTTEUR

2-1 Validation de la précision des mesures

Question 3 : Calculer la précision des mesures faites en laboratoire. Conclure sur le respect de l'exigence de précision du cahier des charges, pour la température et la salinité.

Température (°C)			Salinité (psu)		
Référence	Capteur	Ecart	Référence	Capteur	Ecart
3,3512	3,3519	-0,0007	37,853	37,846	0,007
15,3705	15,3704	0,0001	37,855	37,848	0,007
15,3006	15,3001	0,0005	27,623	27,615	0,008
3,3216	3,3220	-0,0004	27,623	27,620	0,003
3,3825	3,3827	-0,0002	13,261	13,270	-0,009

Pour les mesures de température, la précision des mesures est toujours inférieure à 0,002 °C et pour les mesures de salinité, la précision des mesures est toujours inférieure à 0,01 psu. L'exigence de précision du cahier des charges est donc respectée.

2-2 Mise en forme de la mesure de température

Question 4 : Calculer la constante B de la loi d'évolution de la thermistance du flotteur.

$$\text{On a } R_T = R_0 \cdot e^{B\left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0}\right)} \text{ donc } B = \frac{\ln\left(\frac{R_T}{R_0}\right)}{\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0}}.$$

D'après la courbe de variation de R_T en fonction de T , on a $R_0 = 5 \text{ k}\Omega$. De plus, pour $T = 25 \text{ }^\circ\text{C} = 298,16 \text{ K}$, la résistance vaut $R_{25} = 2 \text{ k}\Omega$. On a donc :

$$B = \frac{\ln\left(\frac{2}{5}\right)}{\frac{1}{298,16} - \frac{1}{273,16}} = 2985 \text{ K}.$$

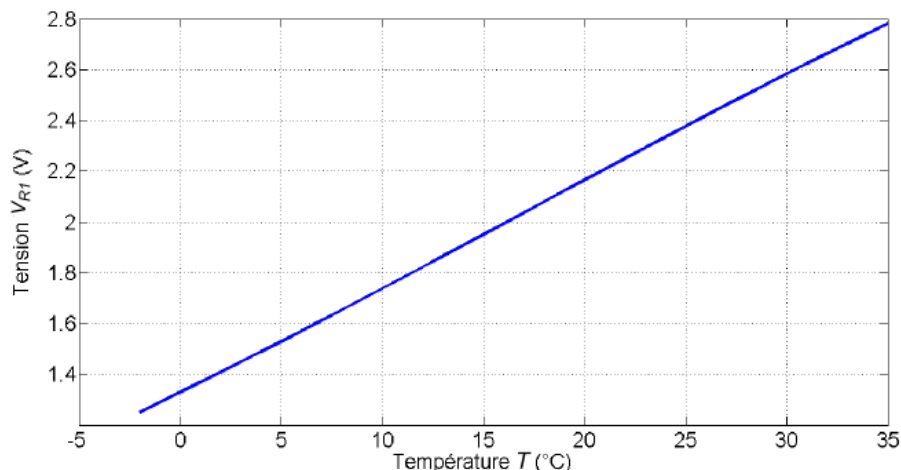
Question 5 : Calculer la valeur de la température T_m . En déduire la valeur de la résistance R_m puis celle de R_1 .

La plage de variation de mesure s'étend de $-2 \text{ }^\circ\text{C}$ à $35 \text{ }^\circ\text{C}$. La température T_m au milieu de cette plage vaut donc $T_m = 16,5 \text{ }^\circ\text{C} = 289,66 \text{ K}$.

$$\text{On a donc } R_m = R_0 \cdot e^{B\left(\frac{1}{T_m} - \frac{1}{T_0}\right)} = 2683 \text{ } \Omega \text{ et } R_1 = R_m \frac{B - 2T_m}{B + 2T_m} = 1811 \text{ } \Omega.$$

Question 6 : Exprimer la tension V_{R1} en fonction de R_1 , R_T et V_{cc} . Tracer sur le document réponse DR2 la variation de la tension V_{R1} en fonction de la température T lorsque T varie entre $-2 \text{ }^\circ\text{C}$ et $35 \text{ }^\circ\text{C}$. Vérifier la linéarité de la tension pour cette plage de température et conclure sur l'intérêt du montage.

$$\text{L'expression de la tension } V_{R1} \text{ est la suivante : } V_{R1} = \frac{R_1}{R_1 + R_T} V_{cc}$$



Pour T variant de -2 °C à 35 °C , la variation de V_{R1} est linéaire et varie entre $1,25\text{ V}$ et $2,8\text{ V}$. Ainsi, on obtient une tension variant linéairement avec la température, ce qui facilite l'exploitation des mesures.

2-3 Consommation de la carte d'acquisition

Question 7 : Déterminer le nombre de mesures réalisées par le flotteur lors d'un cycle complet.

Le nombre de mesures réalisées pendant un cycle du flotteur est :

$$N_m = N_{remontée} + N_{dérive} = \left(\frac{2\,000 \cdot 100}{10 \cdot 10} + 1 \right) + \left(\frac{9 \cdot 24}{12} + 1 \right) = 2\,020$$

Question 8 : Calculer la consommation C_{acq} , exprimée en $\text{A} \cdot \text{h}$, de la carte d'acquisition de mesures.

La consommation de la carte d'acquisition est de :

$$C_{acq} = N_m \cdot \frac{P_c}{V_{bat}} \cdot 10 \cdot \frac{1}{3\,600} = 2\,020 \cdot \frac{300}{10,5} \cdot 10 \cdot \frac{1}{3\,600} = 160,3 \text{ mA} \cdot \text{h}$$

PARTIE 3 – ÉMISSION DU FLOTTEUR

3-1 Durée de survol d'un satellite

Question 9 : Calculer la vitesse V_{sat} du satellite par rapport à la Terre. Exprimez le résultat en $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$.

Le satellite fait le tour de la terre en 100 minutes.

$$V_{sat} = \frac{2\pi R}{100 \cdot 60} = \frac{2\pi \cdot (6\,371,5 \cdot 10^3 + 850 \cdot 10^3)}{100 \cdot 60}$$

$$V_{sat} = 7\,562 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

Question 10 : Calculer, à partir de la figure ci-dessus, la valeur de l'angle β en radian, et en déduire la longueur de l'arc $\widehat{S_1S_2}$ que parcourt le satellite avant de perdre le contact avec le flotteur. Exprimer ce résultat en mètre.

Dans le triangle rectangle AOF, on a les relations suivantes :

$$\tan \frac{\beta}{2} = \frac{AF}{OA} = \frac{BF}{OA} \text{ et } OA = \sqrt{OB^2 - \left(\frac{BF}{2}\right)^2}$$

$$\text{On en déduit } \beta = 2 \arctan \left(\frac{\frac{BF}{2}}{\sqrt{OB^2 - \left(\frac{BF}{2}\right)^2}} \right) = 2 \arctan \left(\frac{2\,500}{5\,860,5} \right) \approx 0,8 \text{ rad}$$

La distance parcourue est alors de :

$$\beta(OC + CS_1) = 0,8 \cdot (6\,371,5 \cdot 10^3 + 850 \cdot 10^3) = 5\,823\,552 \text{ m}$$

Question 11 : Calculer le temps T_{com} durant laquelle le flotteur peut communiquer avec le satellite lors d'un passage.

$$T_{com} = \frac{\text{distance parcourue}}{V_{sat}} = 770 \text{ s} \approx 13 \text{ min}$$

Question 12 : Sachant qu'à chaque tour, en prenant en compte la rotation de la Terre, le satellite se décale de 25° , **montrer** qu'il faut 7 tours à ce satellite pour repasser au-dessus du flotteur en tenant compte du cercle de visibilité. **En déduire** la durée écoulée entre 2 passages du même satellite au-dessus de ce flotteur.

$$\frac{180^\circ}{25^\circ} = 7,2 \text{ tours} \approx 7 \text{ tours en arrondissant à l'entier inférieur du fait du cercle de visibilité.}$$

$$\frac{7 \cdot 100}{60} \approx 11 \text{ heures } 40 \text{ minutes}$$

Le satellite passe au-dessus du flotteur toutes les 11 heures 40 minutes.

Question 13 : En prenant en compte le nombre de satellites Argos, **calculer** la durée totale de visibilité du flotteur par un satellite sur une journée. En considérant ces satellites comme étant uniformément répartis autour de la terre, **en déduire** la durée d'attente T_{att} entre deux passages de satellites.

Les satellites sont au nombre de six, et chaque satellite passe au-dessus du flotteur toutes les 11 heures 40 minutes. Ainsi, en une journée, le flotteur est visible par un satellite douze fois. Il est donc visible par un satellite $12 \cdot T_{com} = 154 \text{ min} = 2\text{h}34$

Un journée durant $24\text{h}=1440 \text{ min}$, la durée d'attente s'exprime par :

$$T_{att} = \frac{1440 - 154}{12} = 107 \text{ min} = 1\text{h } 47 \text{ min}$$

3-2 Consommation de l'émission des données

Question 14 : Calculer le taux de répétition l'intégralité des données pendant la phase de transmission des données.

Le temps d'émission d'un message est de : $T_m = T_{m1} + T_{m2} + T_{m3} = 3 + 1 + 36 = 40 \text{ s}$. Il y a 18 messages à transmettre et la phase de transmission dure $T_{em} = 6 \text{ h}$. Le taux de répétition des messages émis vaut donc : $K = \frac{6 \cdot 3600}{40 \cdot 18} = 30$.

Question 15 : Calculer la consommation de l'émission d'un message C_{mess} en $\text{A} \cdot \text{h}$. En déduire la consommation totale C_{em} en $\text{A} \cdot \text{h}$ lors de la phase de transmission.

La consommation de l'émission d'un message est de :

$$C_{mess} = T_{m1} \cdot I_{m1} + T_{m2} \cdot I_{m2} = \frac{3 \cdot 60 + 1 \cdot 760}{3600} = 0,26 \text{ mA} \cdot \text{h}$$

La consommation totale lors de la phase de transmission vaut donc :

$$C_{em} = 18 \cdot K \cdot C_{mess} = 18 \cdot 30 \cdot 0,26 = 141 \text{ mA} \cdot \text{h}$$

PARTIE 4 – DÉPLACEMENT DU FLOTTEUR

4-1 Dimensionnement du ballast

Question 16 : En étudiant la courbe donnée, **déterminer** la masse volumique de l'eau de mer à 2 000 m de profondeur. En appliquant le théorème de la résultante statique au flotteur à cette même profondeur, **déterminer** le volume que doit avoir le flotteur pour se maintenir à cette profondeur. **Conclure** sur la capacité du flotteur à se maintenir à 2 000 m avec son ballast vide.

D'après la courbe, la masse volumique de l'eau à 2 000 m est de $1036,5 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$.

Inventaire des actions mécaniques :

$$\mathcal{T}_{pes \rightarrow \text{flotteur}} = \underset{G}{\left\{ \begin{array}{l} \vec{P} = -mg\vec{z}_1 \\ \vec{0} \end{array} \right\}}$$

$$\mathcal{T}_{pouss_arch \rightarrow \text{flotteur}} = \underset{G}{\left\{ \begin{array}{l} \vec{P}_a = \rho_{eau} V_{\text{flotteur}} g \vec{z}_1 \\ \vec{0} \end{array} \right\}}$$

À l'équilibre :

$$\text{On a } P - P_a = 0$$

$$\text{Donc } mg \cdot z_1 = \rho_{eau} V_{\text{flotteur}} g \cdot z_1$$

$$\text{D'où } V_{\text{flotteur}} = \frac{m}{\rho_{eau}}$$

L'application numérique donne $V_{\text{flotteur}} = \frac{26}{1036,5} = 0,025 \text{ m}^3$

On retrouve bien le volume réel du flotteur. Avec ces caractéristiques de volume et de masse, le flotteur peut se maintenir à une profondeur de 2 000 m.

Question 17 : En écrivant le théorème de la résultante dynamique appliqué au flotteur en phase de montée en projection sur l'axe z_1 , **déterminer** l'équation liant V de remontée au volume du flotteur V_{flotteur} .

Inventaire des actions mécaniques :

$$\mathcal{T}_{pes \rightarrow \text{flotteur}} = \underset{G}{\left\{ \begin{array}{l} \vec{P} = -mg\vec{z}_1 \\ \vec{0} \end{array} \right\}}$$

$$\mathcal{T}_{pouss_arch \rightarrow \text{flotteur}} = \underset{G}{\left\{ \begin{array}{l} \vec{P}_a = \rho_{eau} V_{\text{flotteur}} g \vec{z}_1 \\ \vec{0} \end{array} \right\}}$$

$$T_{\text{eau} \rightarrow \text{flotteur}} = \left\{ \begin{array}{c} \vec{R}_{\text{eau}} = -\frac{1}{2} \rho_{\text{eau}} S V^2 \vec{Cz}_1 \\ \vec{0} \end{array} \right\}_G$$

À vitesse de montée constante, on a :

$$-mg - \frac{1}{2} \rho_{\text{eau}} S V^2 C + \rho_{\text{eau}} V_{\text{flotteur}} g = 0$$

D'où :

$$V = \sqrt{\frac{\rho_{\text{eau}} V_{\text{flotteur}} g - mg}{\frac{1}{2} \rho_{\text{eau}} S C}}$$

Question 18 : Calculer la vitesse V à la profondeur de 1000 m et à la surface et justifier que le volume donné au flotteur par le ballast permet bien de respecter la contrainte de vitesse fixée par le cahier des charges.

Application numérique pour une profondeur de 1000 m :

$$V = \sqrt{\frac{1031,8 \cdot 0,0256 \cdot 9,81 - 26 \cdot 9,81}{\frac{1}{2} \cdot 1031,8 \cdot 0,7 \cdot 1}} = 0,11 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

Application numérique pour une profondeur de 0 m :

$$V = \sqrt{\frac{1025,9 \cdot 0,0264 \cdot 9,81 - 26 \cdot 9,81}{\frac{1}{2} \cdot 1025,9 \cdot 0,7 \cdot 1}} = 0,17 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

Le flotteur peut atteindre la vitesse attendue de $0,1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ sans dépasser la vitesse maximale de $0,2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, que ce soit à la surface ou à 1000 m de profondeur.

4-2 Dimensionnement du moteur

Question 19 : À partir de la courbe fournie ci-dessus, déterminer la pression absolue (totale) qui s'applique sur le ballast à 2000 m de profondeur.

La pression qui s'exerce sur le ballast à 2000 m de profondeur est de $201 \cdot 10^5 \text{ Pa}$

Question 20 : En appliquant le théorème de la résultante statique au piston 3_1 en projection sur l'axe \vec{z}_1 , exprimer l'action mécanique $Z_{1 \rightarrow 3_1}$ de la pièce 1 sur le piston 3_1 en fonction de la pression P_1 (pression au niveau du piston 1) et des données du problème.

On a donc $\sum R_{3_1 \rightarrow 3_1} = 0$ d'où $R_{1 \rightarrow 3_1} \cdot z_1 + R_{4 \rightarrow 3_1} \cdot z_1 + R_{ressort \rightarrow 3_1} \cdot z_1 + R_{fluide \rightarrow 3_1} \cdot z_1 = 0$

$$\Leftrightarrow Z_{1 \rightarrow 3_1} \cos \alpha + (F_0 - k\lambda_1) - P_1 S = 0$$

$$\Leftrightarrow Z_{1 \rightarrow 3_1} = \frac{P_1 S - (F_0 - k\lambda_1)}{\cos \alpha}$$

Question 21 : Exposer la méthode permettant de déterminer l'expression du couple C_{multi1} (couple minimal nécessaire à l'entraînement du piston 1) en fonction de $Z_{2 \rightarrow 3_1}$, puis en fonction de P_1 et θ . Pour cela, indiquer avec rigueur :

- les hypothèses nécessaires à ce calcul ;
- le ou les solides isolés, les inventaires des actions mécaniques extérieures ainsi que le ou les théorèmes utilisés pour la résolution.

Appliquer cette méthode et **montrer** que C_{multi1} peut s'écrire sous la forme :

$$C_{multi1} = \frac{D}{2} \left[P_1 S - (F_0 + k \frac{D}{2} \tan \alpha \cos \theta) \right] \sin \theta \tan \alpha$$

Inventaire des actions mécaniques extérieures qui s'exercent sur l'ensemble Σ en O :

- l'action mécanique de 1 sur 3_1 (sphère-plan de centre M_1 et de normale Z_2) ;
- l'action mécanique du multiplicateur sur 4 ;
- l'action mécanique de 1 sur 4 (pivot d'axe (O, Z_1)).

Ces actions mécaniques sont modélisables par :

$T_{1 \rightarrow 3_1} = \forall P \in (M_1, Z_2) \left\{ \begin{array}{l} Z_{1 \rightarrow 3_1}, Z_2 \\ 0 \end{array} \right\}$	$T_{multiplicateur \rightarrow 4} = \forall P \left\{ \begin{array}{l} 0 \\ C_{multi1} \cdot Z_1 \end{array} \right\}$
$T_{1 \rightarrow 4} = \forall P \in (O, Z_1) \left\{ \begin{array}{l} R_{1 \rightarrow 4} \\ M_{P,1 \rightarrow 4} \end{array} \right\} \text{ avec } M_{P,1 \rightarrow 4} \cdot z_1 = 0$	

En appliquant le théorème du moment statique sur l'ensemble Σ en O et en projection sur z_1 (les pistons 2 et 3 n'étant pas pris en compte) on obtient :

$$\sum M_{\Sigma \rightarrow \Sigma} = 0$$

$$M_{O,1 \rightarrow 3_1} \cdot z_1 + M_{O,moteur \rightarrow 3_1} \cdot z_1 + M_{O,1 \rightarrow 4} \cdot z_1 = 0$$

$$M_{O,1 \rightarrow 3_1} = M_{M,1 \rightarrow 3_1} + OM_1 \wedge Z_{1 \rightarrow 3_1} \cdot z_2$$

$$M_{O,1 \rightarrow 3_1} = 0 + \left(\frac{D}{2} \cdot x_4 + \lambda_1 \cdot z_1 \right) \wedge Z_{1 \rightarrow 3_1} \cdot z_2$$

$$M_{O,1 \rightarrow 3_1} = -\frac{D}{2} Z_{1 \rightarrow 3_1} \cos \theta \cos \alpha \cdot y_1 + \frac{D}{2} Z_{1 \rightarrow 3_1} \sin \theta \cdot x_2 + \lambda_1 Z_{1 \rightarrow 3_1} \sin \alpha \cdot y_1$$

$$M_{O,1 \rightarrow 3_1} \cdot z_1 = -\frac{D}{2} Z_{1 \rightarrow 3_1} \sin \theta \sin \alpha$$

$$-\frac{D}{2} Z_{1 \rightarrow 3_1} \sin \theta \sin \alpha + C_{multi1} = 0$$

$$C_{multi1} = \frac{D}{2} Z_{1 \rightarrow 3_1} \sin \theta \sin \alpha$$

$$C_{multi1} = \frac{D}{2} \frac{P_1 S - (F_0 - k \lambda_1)}{\cos \alpha} \sin \theta \sin \alpha$$

$$C_{multi1} = \frac{D}{2} \left[P_1 S - \left(F_0 + k \frac{D}{2} \tan \alpha \cos \theta \right) \right] \sin \theta \tan \alpha$$

Question 22 : À partir de la formule proposée, **calculer** le couple moteur moyen $C_{multi\ moy}$ nécessaire à l'entraînement de 3 pistons.

$$C_{multi\ moy} = 3 \cdot C_{multi.1moy}$$

$$C_{multi\ moy} = 3 \cdot \frac{P_{max} S_1 D \tan \alpha}{2\pi}$$

$$C_{multi\ moy} = 3 \cdot \frac{200 \cdot 10^5 \cdot 7,85 \cdot 10^{-7} \cdot 14 \cdot 10^{-3} \cdot \tan\left(\frac{3 \cdot 2\pi}{360}\right)}{2\pi} = 5,5 \text{ mN} \cdot \text{m}$$

Question 23 : Vérifier que les caractéristiques du moteur choisi répondent au besoin en terme de couple maximal.

Le couple sur l'axe du moteur est de $C_m = K_m C_{multi\ moy} = 5,5 \cdot 20 = 110 \text{ mN} \cdot \text{m}$.

Le couple maximal du moteur Maxon est de $C_{max} = 81 \text{ mN} \cdot \text{m}$. On a $C_m \leq 1,5 \cdot C_{max}$ donc le moteur est correctement dimensionné.

4-3 Alimentation du moteur

Question 24 : Calculer le courant absorbé I_m par le moteur. En **déduire** sa fréquence de rotation Ω_m , exprimée en $\text{rad}\cdot\text{s}^{-1}$.

D'après la documentation technique du moteur, on a $k_c = 25,5 \text{ mN}\cdot\text{m}\cdot\text{A}^{-1}$,
 $k_e = \frac{60}{2\cdot\pi\cdot 375} = 25,5 \text{ mV}\cdot\text{rad}^{-1}\cdot\text{s}$ et $R_m = 0,628 \Omega$.

On a $C_m = k_c \cdot I_m$ donc $I_m = \frac{C_m}{k_c} = \frac{100}{25,5} = 3,9 \text{ A}$.

De plus, $V_{bat} = (R_{dson1} + R_{dson2} + R_m) \cdot I_m + E = (R_{dson1} + R_{dson2} + R_m) \cdot I_m + k_e \Omega_m$ donc

$$\Omega_m = \frac{V_{bat} - (R_{dson1} + R_{dson2} + R_m) \cdot I_m}{k_e} = \frac{10,5 - (0,02 + 0,06 + 0,629) \cdot 3,9}{0,0255} = 303 \text{ rad}\cdot\text{s}^{-1}$$

Question 25 : Quantifier les pertes par effet Joule dans les transistors MOSFET par rapport à la puissance fournie par la batterie. **Conclure** sur l'intérêt du choix de la technologie MOSFET du point de vue de la consommation.

Les pertes par effet Joule dans les transistors MOSFET s'exprime par :

$$P_{joule} = (R_{dson1} + R_{dson2}) I_m^2 = (0,02 + 0,06) \cdot 3,9^2 = 1,2 \text{ W}.$$

Le puissance fournie par la batterie s'exprime par : $P_{bat} = V_{bat} I_m = 10,5 \cdot 3,9 = 40,95 \text{ W}$.

Les pertes par effet Joule dans les transistors représentent environ 3% de la puissance fournie par la batterie, ce qui est très faible. L'intérêt de ces transistors MOSFET est qu'ils consomment très peu d'énergie.

Question 26 : Relever les valeurs du courant I_m et de la fréquence de rotation Ω_m en régime permanent et **vérifier** qu'elles sont conformes aux résultats théoriques obtenus par calcul à la question 24.

D'après les courbes de simulation, on a $I_m \approx 4 \text{ A}$ et $\Omega_m \approx 300 \text{ rad}\cdot\text{s}^{-1}$, ce qui est conforme aux résultats de la question 24.

4-4 Consommation du moteur

Question 27 : Établir les modèles linéaires (équations) du courant I_m et du débit volumique Q_p en fonction de la pression P . En **déduire** le débit à la pression de 200 bar (correspondant à une profondeur de 2 000 m).

D'après les courbes du courant I_m et le débit Q_p en fonction de la pression P , on a :

$$I_m = 0,9 + 0,016 \cdot P \text{ et } Q_p = 80 - 0,14 \cdot P$$

Le modèle linéaire permet de calculer un débit de $52 \text{ cm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ à une pression de 200 bar.

Question 28 : **Déduire** de cette courbe le débit à cette profondeur et le **comparer** aux mesures présentées précédemment ainsi qu'au résultat de la question 27. **Conclure** sur la pertinence du modèle linéaire, utile aux calculs de consommation qui vont suivre.

D'après la courbe du DT4, on relève une augmentation du volume de $5,2 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3 = 52 \text{ cm}^3$ en une minute, ce qui correspond à un débit de $52 \text{ cm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$. Ce débit est quasiment le même que celui mesuré (environ $53 \text{ cm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$) et est égal au débit provenant du modèle linéaire. Dès lors, il semble pertinent d'utiliser le modèle linéaire pour les calculs des consommations.

Question 29 : **Calculer** la durée de remplissage T_p du ballast pour chaque palier compte tenu du débit Q_p et **compléter** la quatrième colonne du tableau fourni dans le document réponse DR2.

Le temps de remplissage T_p est égal à $T_p = \frac{V_b}{Q_p}$.

Question 30 : **Calculer** la consommation du moteur C_p en mA · h pour chaque palier et **compléter** la cinquième colonne du tableau fourni dans le document réponse DR2. **En déduire** la consommation totale C_{pr} lors de la phase de remontée.

La consommation du moteur C_p pour chaque palier est égale à $C_p = \frac{1000 \cdot I_m \cdot T_p}{60}$.

Le tableau du document réponse complété est le suivant :

Pression P (bar)	Courant I_m (A)	Débit Q_p ($\text{cm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$)	Temps T_p (min)	Consommation C_p (mA·h)
201	4,12	52	0,156	10,71
181	3,80	55	0,148	9,37
161	3,48	58	0,141	8,18
141	3,16	60	0,134	7,06
121	2,84	63	0,128	6,06
101	2,52	66	0,123	5,17
81	2,20	69	0,118	4,33
61	1,88	72	0,113	3,54
41	1,56	74	0,109	2,83
21	1,24	77	0,105	2,17

La consommation totale lors de la phase de remontée vaut donc :

$C_{pr} = \sum C_p = 10,71 + 9,37 + 8,18 + 7,06 + 6,06 + 5,17 + 4,33 + 3,54 + 2,83 + 2,17$ soit une consommation de $C_{pr} = 59,4$ mA·h.

Question 31 : Calculer la durée nécessaire au remplissage du ballast lors de l'émersion du flotteur. En déduire la consommation C_{pe} lors de l'émersion du flotteur puis la consommation totale C_{dep} lors du déplacement du flotteur.

Le débit à la pression atmosphérique est de $Q_{p0} = 80 - 0,14 \cdot 1 = 79,86 \text{ cm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ et le courant de $I_{p0} = 0,9 + 0,16 \cdot 1 = 0,916$ A.

Le temps nécessaire au remplir du ballast est de $T_{p0} = \frac{V_{bem}}{Q_{p0}} = \frac{360}{79,86} = 4,5$ min.

La consommation C_{pe} lors de l'émersion du flotteur est donc de $C_{pe} = \frac{1000 \cdot I_{p0} \cdot T_{p0}}{60} = \frac{1000 \cdot 0,916 \cdot 4,5}{60} = 68,8$ mA·h. La consommation totale C_{dep} du déplacement du flotteur est alors de $C_{dep} = C_{pr} + C_{pe} = 59,4 + 68,8 = 128,2$ mA·h.

PARTIE 5 – BILAN ÉNERGETIQUE DU FLOTTEUR

Question 32 : Calculer la tension nominale V_{bat} et la capacité nominale C_{bat} de la batterie.

La mise en série des éléments lithium permet d'augmenter la tension de la batterie. Trois éléments sont en série, on a donc $V_{bat} = 3 \cdot 3,7 = 11,1 \text{ V}$.

La mise en parallèle des éléments lithium permet d'augmenter le courant débité par la batterie donc la capacité. Huit branches d'éléments sont en parallèle, on a donc $C_{bat} = 8 \cdot 13 = 104 \text{ A} \cdot \text{h}$.

Question 33 : Calculer le nombre de cycle N_{cycle} que peut réaliser le flotteur compte tenu des consommations, de la capacité de sa batterie et du phénomène d'autodécharge. **Conclure** sur le respect du cahier des charges.

La consommation totale du flotteur lors d'un cycle est de :

$$C_{flotteur} = C_{em} + C_{dep} + C_{acq} + C_{micro} = 460 \text{ mA} \cdot \text{h}$$

En prenant en compte le phénomène d'autodécharge, le nombre de cycles est de :

$$N_{cycle} = \frac{0,8 \cdot C_{bat}}{C_{flotteur}} = 181$$

La batterie du flotteur permet donc de réaliser les 150 cycles exigés par le cahier des charges.

PARTIE 6 – OPTIMISATION DU FLOTTEUR

Question 34 : Calculer le volume et la masse de chaque tube et en **déduire** la flottabilité φ_{tube} à la surface.

Le volume de chaque tube vaut :

$$V_{tube\ alu} = 2\pi \cdot \left(\left(\frac{0,113}{2} \right)^2 - \left(\frac{0,099}{2} \right)^2 \right) = 0,0047 \text{ m}^3$$

$$V_{tube\ carb} = 2\pi \cdot \left(\left(\frac{0,140}{2} \right)^2 - \left(\frac{0,114}{2} \right)^2 \right) = 0,0104 \text{ m}^3$$

On en déduit alors la masse de chaque tube :

$$m_{tube\ alu} = 0,0047 \cdot 2\ 900 = 13,52 \text{ kg}$$

$$m_{\text{tube carb}} = 0,0104 \cdot 1600 = 16,6 \text{ kg}$$

Puis, enfin, la flottabilité :

$$\varphi_{\text{tube alu}} = 1025,9 \cdot 2\pi \cdot \left(\frac{0,113}{2}\right)^2 - 13,52 = 7,05 \text{ kg}$$

$$\varphi_{\text{tube carb}} = 1025,9 \cdot 2\pi \cdot \left(\frac{0,140}{2}\right)^2 - 16,6 = 15 \text{ kg}$$

Question 35 : Justifier le choix de matériau réalisé par Ifremer d'un point de vue économique et mécanique.

$$P_{\text{rix tube alu}} = 13,52 \cdot 40 = 540,8 \text{ €}$$

$$P_{\text{rix tube carb}} = 16,6 \cdot 32 = 531,2 \text{ €}$$

D'un point de vue mécanique, le tube en carbone époxy résistera mieux à la pression de l'eau. Son prix est inférieur à celui du tube en aluminium anodisé

Question 36 : Conclure en commentant l'impact que va avoir ce changement de matériau sur le comportement du flotteur et sur sa consommation énergétique.

Le poids du tube en carbone époxy est supérieur à celui du tube en aluminium anodisé, mais sa flottabilité est plus importante. Il nécessitera donc moins de puissance pour remonter le flotteur. La vitesse de descente du flotteur sera plus faible, mais la consommation énergétique du flotteur sera moindre.