Ce document a été mis en ligne par l'organisme FormaV®.

Toute reproduction, représentation ou diffusion, même partielle, sans autorisation préalable, est strictement interdite.

Pour consulter tous nos sujets d'annales et corrigés du Bac Général Maths + SI, veuillez visiter :
bac-maths-si.fr/annales-sujets-et-corriges

BACCALAURÉAT GÉNÉRAL

ÉPREUVE D'ENSEIGNEMENT DE SPÉCIALITÉ

SESSION 2025

SCIENCES DE L'INGÉNIEUR

JOUR 1

Durée de l'épreuve : **3 heures 30**
Partie sciences de l'ingénieur : durée indicative de **2 h 30**
Partie sciences physiques : durée indicative de **1 h**

L'usage de la calculatrice avec mode examen actif est autorisé.
L'usage de la calculatrice sans mémoire « type collège » est autorisé.

Dès que ce sujet vous est remis, assurez-vous qu'il est complet.
Ce sujet comporte 20 pages numérotées de 1/20 à 20/20.

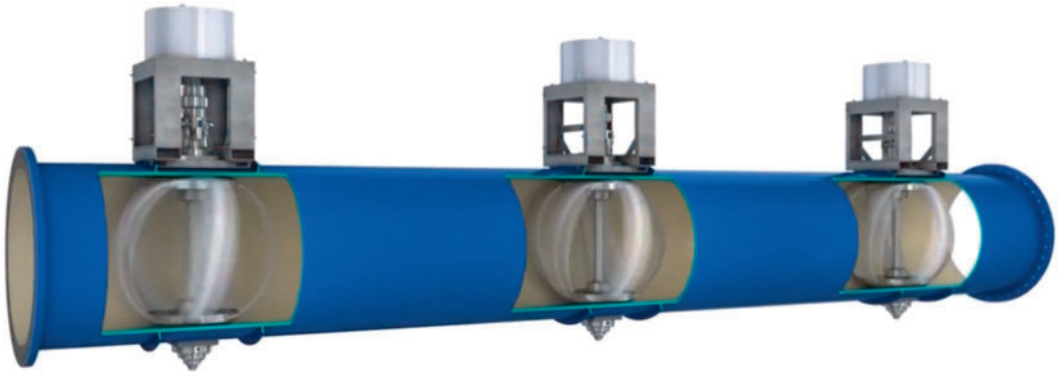
Le candidat traite les 2 parties en suivant les consignes contenues dans le sujet.
Chacune des parties est traitée sur des copies séparées.

Partie 1 - Sciences de l'ingénieur	20 points
Partie 2 - Sciences physiques	20 points

Partie 1 : les documents réponses DR1 à DR3 (pages 14 à 16) sont à rendre avec la copie.

Partie 1 - Sciences de l'ingénieur

Hydrolienne de canalisations d'eau



Constitution du sujet

- Sujet ..... pages 3 à 13
- Documents réponses ..... pages 14 à 16

Les documents réponses DR1 à DR3 (pages 14 à 16) sont à rendre avec la copie.

Hydrolienne de canalisations d'eau

Dans la quête de sources alternatives d'énergie pour remplacer les énergies fossiles, l'exploitation d'énergie à partir de l'eau en mouvement conduit à des avancées technologiques majeures.

Le plan d'action climatique de la ville de Portland exige que les bâtiments de la ville tirent leur énergie de sources renouvelables : l'énergie hydroélectrique produite représente 50% des sources d'énergie depuis 2007. Les énergies solaires, éoliennes, biomasse/biogaz et géothermiques sont également utilisées.

Pour respecter ces nouvelles contraintes écologiques, la ville de Portland a mis en place un système permettant de récupérer l'énergie de l'eau en mouvement dans le réseau de distribution de l'eau.

Cette solution technique innovante utilise la puissance développée par le mouvement de l'eau dans les tuyaux de canalisation du réseau d'eau potable pour actionner une hélice en rotation autour d'un axe vertical. Celle-ci est reliée à une génératrice qui convertit l'énergie mécanique de rotation en énergie électrique afin d'alimenter le réseau général. Cette solution permet une production d'énergie continue et propre afin d'alimenter les foyers avoisinants en électricité. Une vue écorchée du système ainsi qu'une vue 3D d'une turbine sont présentées sur la figure 1 et permettent de visualiser l'implantation des différents constituants.

Le système est constitué de 4 turbines placées successivement et reliées à des génératrices en souterrain afin d'éviter toute nuisance visuelle et sonore et d'optimiser l'encombrement en ville. Le diagramme des exigences du système est présenté sur la figure 2.

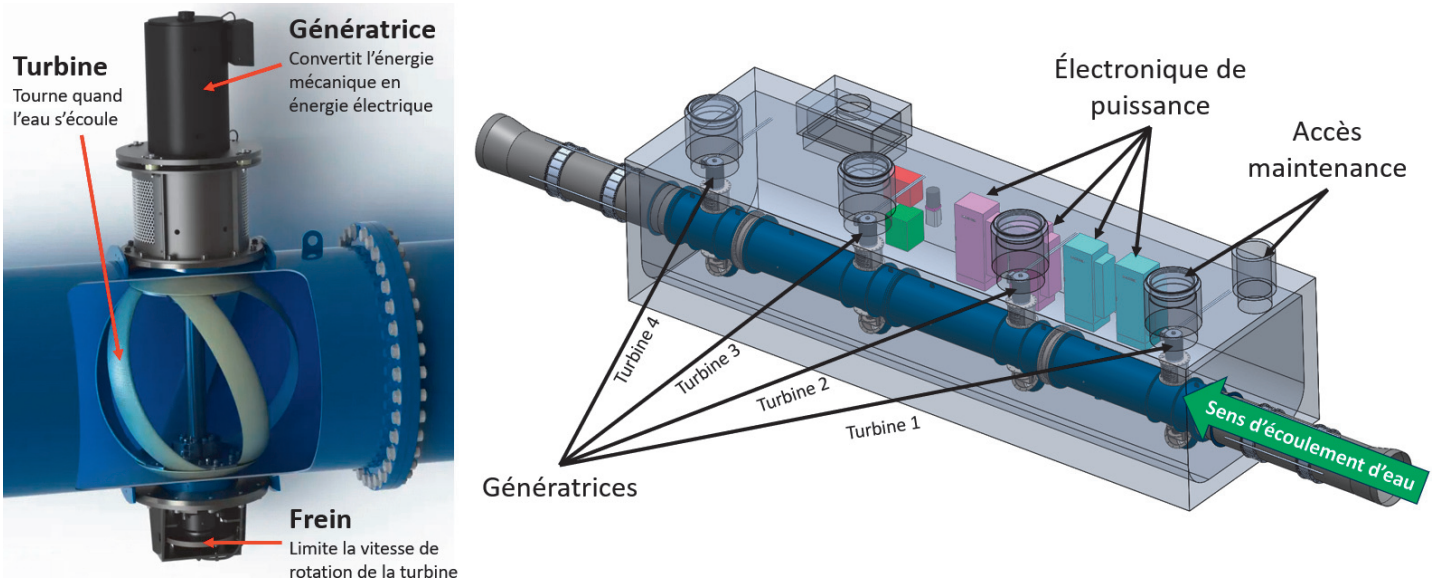


Figure 1 : schéma global du système d'hydrolienne et vue d'ensemble

Figure 2 : diagramme des exigences du système d'hydrolienne

Sous-partie 1

Validation de l'exigence Id 1 sur la production d'éléctricité

L'objectif de cette sous-partie est de calculer la puissance récupérée au niveau de la génératrice afin d'en déduire le nombre de foyers qui peuvent être alimentés par l'hydrolienne.

Afin d'analyser les conditions de fonctionnement d'une turbine et de déterminer l'expression du couple disponible, le fonctionnement de la turbine de la figure 3, constituée de 5 pales disposées à 72°, est étudié.



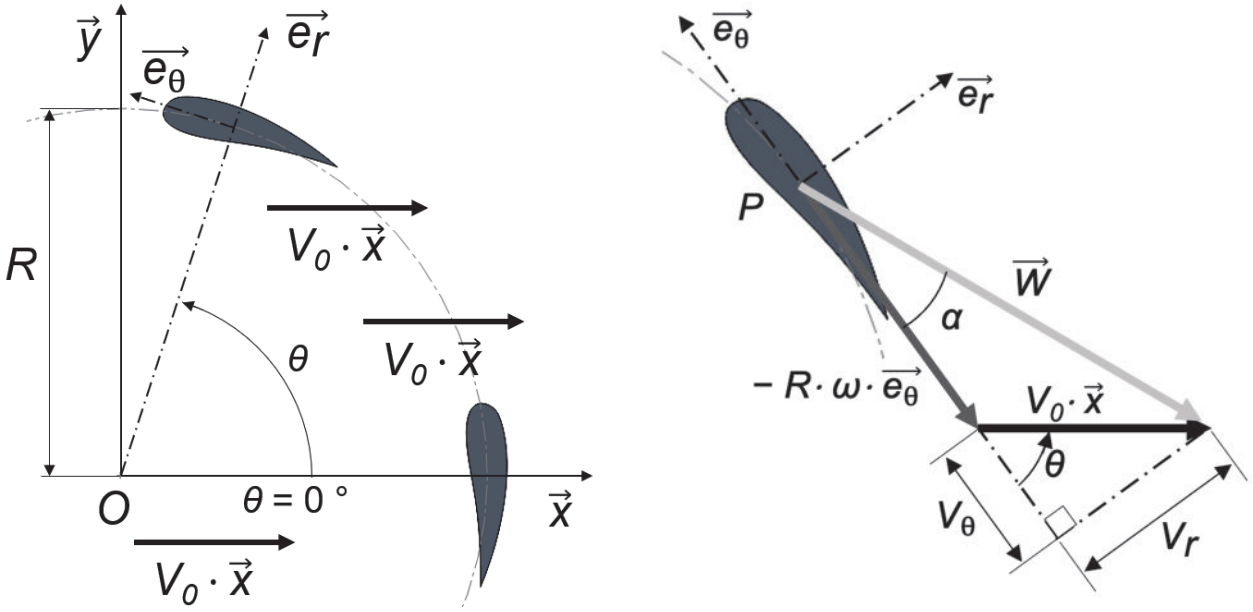
Figure 3 : turbine étudiée

Un repère fixe $R_T = (O, \vec{x}, \vec{y}, \vec{z})$ est associé à la turbine, où $\vec{x}$ est la direction d'écoulement de l'eau dans la canalisation et $\vec{z}$ est le vecteur vertical ascendant (figure 4). En fonctionnement, cette turbine est traversée par un fluide de vitesse $\overrightarrow{V_{fluide/R_t}} = V_0 \cdot \vec{x}$.

L'orientation du fluide par rapport à chaque pale varie au cours du temps. Un repère tournant représenté sur la figure 4 est associé à la turbine : $R_\theta = (O, \vec{e_r}, \vec{e_\theta}, \vec{z})$, avec $\theta = (\vec{x}, \vec{e_r})$.

La vitesse relative $\vec{W}$ du fluide, représentée sur la figure 4(b) par rapport à la pale, exprimée au centre de poussée P d'une pale, varie et peut s'exprimer, en fonction de la vitesse de rotation ω de l'hydrolienne et de son rayon R, sous la forme :

$$\vec{W} = \overrightarrow{V_{P,\ fluide/pale}} = \overrightarrow{V_{P,\ fluide/R_t}} - \overrightarrow{V_{P,\ pale/R_t}} = V_0 \cdot \vec{x} - R \cdot \omega \cdot \vec{e_\theta}.$$



(a) (b)

Figure 4 : représentation des vitesses associées à une pale

L'étude est menée dans le cas où l'écoulement induit la puissance maximale récupérée sur l'arbre de la génératrice.

La vitesse spécifique correspond au rapport entre la vitesse linéaire des pales $R \cdot \omega$ prise au centre de poussée et la vitesse d'écoulement du fluide traversant l'hydrolienne V_0. Elle est alors notée : $\lambda = \frac{R \cdot \omega}{V_0}$ où R est le rayon du cercle sur lequel évolue le centre de poussée de la pale, et ω la vitesse de rotation de l'hydrolienne.

Question 1.1 **Déterminer** l'expression des projections V_r et V_θ en fonction de θ et V_0 à partir de la figure 4(b). **Exprimer** le vecteur $\overrightarrow{W}$ en fonction de R, ω, V_r, V_θ et des vecteurs $\overrightarrow{e_r}$ et $\overrightarrow{e_\theta}$ du repère tournant.

Les actions hydrodynamiques exercées par un fluide sur un solide dépendent :

- de coefficients C_x et C_z ;
- de la masse volumique du fluide ρ, ici de l'eau donc $\rho = 1000$ kg·m^{-3};
- de la surface S de solide en contact avec le fluide ;
- de la vitesse du fluide par rapport au solide : $W = \| \overrightarrow{W} \|$.

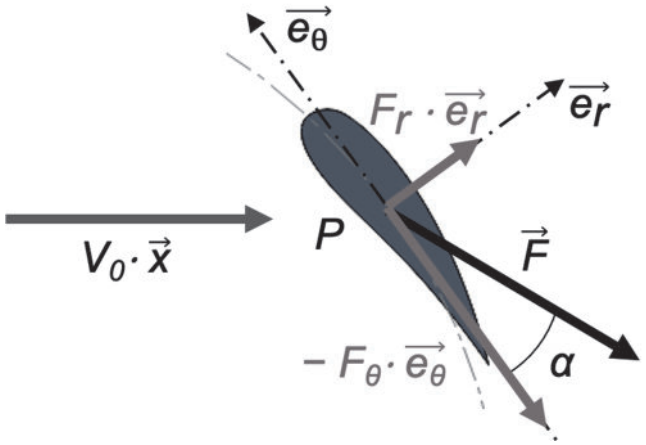


Figure 5 : résultante des actions appliquées par le fluide sur une pale

La résultante des actions mécaniques sur une pale s'applique au centre de poussée P de la pale (figure 5) et s'écrit alors $\overrightarrow{F_{fluide \rightarrow pale}} = F_r \cdot \overrightarrow{e_r} - F_\theta \cdot \overrightarrow{e_\theta}$ avec :

$$F_\theta = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot S \cdot W^2 \cdot (C_x \cdot \cos(\alpha) - C_z \cdot \sin(\alpha)).$$

Question 1.2 **Identifier** la composante de $\overrightarrow{F_{fluide \rightarrow pale}}$ (F_r, F_θ) à l'origine du couple C appliqué à la turbine.

En **déduire** l'expression du couple C induit par une pale, sachant que la distance entre le centre de poussée d'une pale et l'axe de la turbine vaut R.

La turbine est composée de 5 pales réparties tous les 72° sur un rayon R. La première pale est alors positionnée à $\theta = 0°$, la suivante à $\theta = 72°$, et ainsi de suite. Les coefficients C_x et C_z varient en fonction de l'orientation du fluide par rapport à la pale.

Le diamètre des hydroliennes est $D = 1270$ mm. Le débit moyen d'eau dans les tuyaux est de $Q = 216\,000$ m^3·jour^{-1}.

Question 1.3 DR1	**Montrer** que la vitesse d'écoulement vaut alors $V_0 \approx 1{,}97$ m·s^{-1}, et **compléter** le document réponse DR1 en indiquant la valeur de C pour $\theta = 72°$.

La puissance maximale est obtenue pour une vitesse spécifique $\lambda = \frac{4 \cdot \pi}{5}$.

Question 1.4	**Calculer** le couple total C_{total} appliqué sur l'arbre de la turbine résultant des actions mécaniques appliquées par le fluide sur les 5 pales. **Montrer** que la puissance mécanique P_m disponible en entrée du multiplicateur vaut 32,8 kW en utilisant l'expression de la vitesse spécifique λ.

Afin d'adapter la vitesse de rotation aux capacités de la génératrice de rendement $\eta_2 = 0{,}97$, un multiplicateur de rendement $\eta_1 = 0{,}9$ est utilisé dans la chaîne de transmission.

Question 1.5 DR1	**Compléter** la chaine de puissance du document réponse DR1 puis **calculer** la puissance P_T en sortie de multiplicateur et la puissance P_e en sortie de géneratrice.

La consommation énergétique d'un foyer à Portland, sur un an, est estimée en moyenne à $E_f = 8000$ kW·h.

Question 1.6	**Calculer** l'énergie produite E en une année par un système complet constitué de quatre turbines de diamètre $D = 1270$ mm. **Conclure** sur la validation de l'exigence Id1 du diagramme des exigences.

Sous-partie 2

Étude de l'optimisation de la production d'énergie électrique

L'objectif de cette sous-partie est d'étudier la régulation de la vitesse de la génératrice afin d'optimiser la production d'énergie électrique.

Des essais sur l'hydrolienne ont été menés afin de trouver comment optimiser la production d'énergie électrique. Pour cela, différentes valeurs d'écoulement de fluide ont été testées sur l'hydrolienne avec différentes vitesses de rotation de la turbine, ce qui fait varier la vitesse spécifique λ, rapport entre la vitesse linéaire des pales et la vitesse d'écoulement du fluide. La vitesse spécifique s'exprime alors par la relation $\lambda = \frac{R \cdot \omega}{V_0}$, où R est le rayon du cercle sur lequel évolue la pale, et ω la vitesse de rotation de l'hydrolienne. La courbe d'efficacité du système d'hydrolienne est tracée en fonction de la vitesse spécifique λ sur la figure 6.

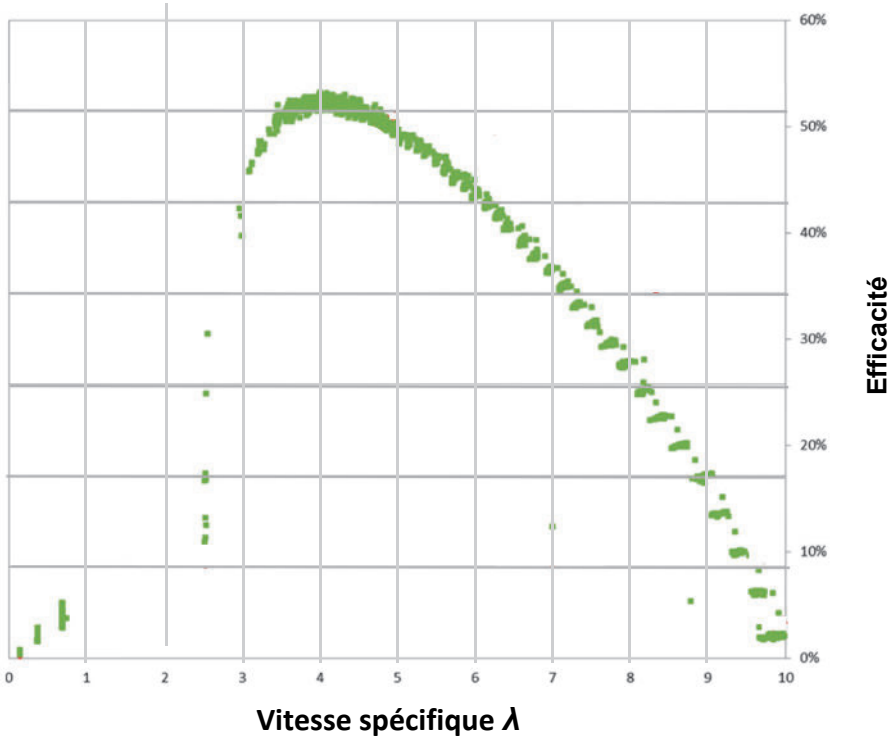


Figure 6 : évolution de l'efficacité de l'hydrolienne en fonction des valeurs de λ

Question 1.7	**Relever** la valeur de λ pour laquelle l'efficacité est maximale et **expliquer** en quoi un asservissement de la vitesse de rotation de l'hydrolienne peut être pertinent pour optimiser la production d'énergie électrique.

Afin de réguler la vitesse de rotation de la turbine et s'assurer ainsi que le système évolue dans une plage de fonctionnement qui maximise l'efficacité de l'hydrolienne, un frein est placé au niveau de l'arbre de la turbine (figure 1). Ce frein est alors piloté de façon à respecter la consigne de vitesse de rotation de l'arbre de l'hydrolienne ω.

L'efficacité souhaitée est atteinte pour des valeurs de λ comprises entre 3,5 et 4,5. Les efforts appliqués sur les pales sont liés à la vitesse de rotation ; un dépassement de vitesse risque d'endommager la turbine. Ces contraintes amènent donc à l'extrait du cahier des charges concernant les performances attendues de l'asservissement (figure 7).

Critère	Valeur
Erreur	12 %
Vitesse maximale acceptée	10,1 rad · s^{-1}
Rapidité	Temps d'établissement : t_e = 30 s

Figure 7 : extrait du cahier des charges de l'asservissement de la turbine

Le modèle multiphysique présenté sur la figure 8 permet d'obtenir la réponse temporelle simulée par le modèle de la turbine (figure 9) pour une consigne de vitesse de rotation en échelon de 10 rad·s^{-1}.

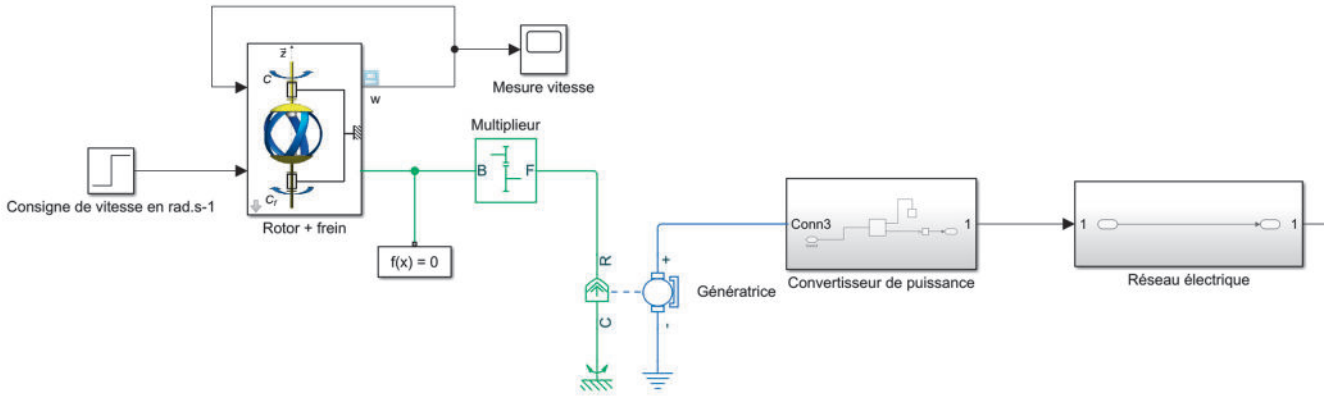


Figure 8 : modèle multiphysique de l'hydrolienne

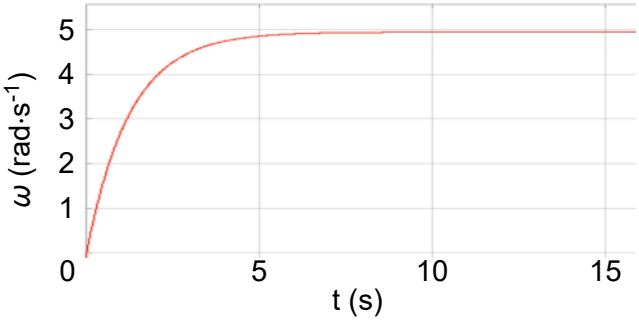


Figure 9 : réponse temporelle à un échelon de 10 rad·s^{-1}

Question 1.8 **Calculer** l'erreur statique obtenue sur la figure 9 et **conclure** sur la validité de la solution d'asservissement proposée.

Afin de mieux respecter le cahier des charges, un correcteur est intégré au modèle de la figure 8. Le document réponse DR2 montre trois réponses obtenues pour une consigne de vitesse de rotation en échelon de 10 rad·s^{-1}, pour trois réglages différents du correcteur.

Question 1.9 DR2	**Compléter** le document réponse DR2 en indiquant les performances associées à chacune des solutions de correction et **choisir** la solution de correction la plus adaptée au cahier des charges.

D'après la figure 6, le cas le plus défavorable est atteint pour $\lambda_{max} = \frac{R \cdot \omega_{max}}{V_0} = 10$, où R est le rayon de l'hydrolienne de diamètre D = 1,27 m et V_0 la vitesse d'écoulement du fluide considérée à 1,97 m·s^{-1}.

L'asservissement doit permettre de se ramener à $\lambda_{optimal} = \frac{R \cdot \omega_{optimal}}{V_0} = 4$.

Question 1.10	**Montrer** que la décélération angulaire $\frac{d\omega}{dt}$, supposée constante, que doit subir l'hydrolienne afin d'être ramenée à sa vitesse de rotation optimale (lorsque celle-ci se trouve dans le cas le plus défavorable) tout en respectant le temps d'établissement défini dans le cahier des charges de la figure 7 est $\frac{d\omega}{dt} \approx -0{,}62$ rad·s^{-2}.

Les caractéristiques de l'étude dynamique sont les suivantes (figure 10) :

- l'inertie équivalente de la turbine ramenée sur l'arbre de la génératrice est notée $J = 25$ kg·m^2 ;
- le système de freinage fournit un couple C_f dont la valeur maximale vaut $C_{f\,max} = 4250$ N·m ;
- le couple moteur induit par l'écoulement du fluide est considéré à $C = 4200$ N·m ;
- les frottements dans les liaisons sont négligés vis-à-vis des autres actions mécaniques mises en jeu ;
- le couple résistant appliqué par la génératrice sur l'arbre de la génératrice est négligé par rapport aux couples de freinage et de rotation de la turbine.

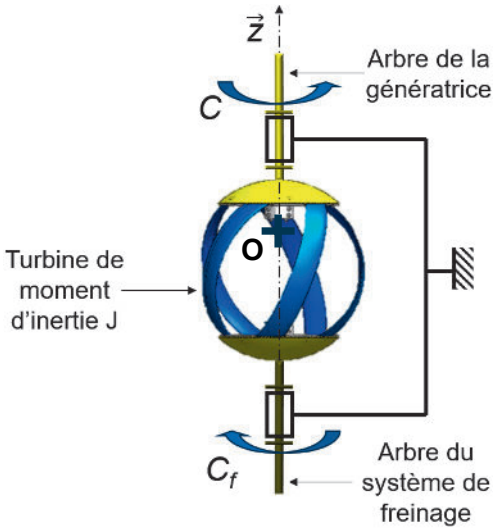


Figure 10 : schéma de l'étude dynamique

Question 1.11	En isolant la génératrice, et en appliquant le théorème du moment dynamique sur l'axe de rotation $(O,\vec{z})$, **exprimer** C_f en fonction de C, J et $\frac{d\omega}{dt}$ et **faire** l'application numérique. **Conclure** sur le choix du système de freinage.

Sous-partie 3

Validation des exigences Id 1.1 et Id 1.3 en termes d'instrumentation du tunnel hydraulique

L'objectif de cette sous-partie est de vérifier que la mise en place de l'instrumentation du tunnel hydraulique assure le pilotage en temps réel du système d'hydrolienne pour sa maintenance et son optimisation.

Afin d'assurer que le système soit accessible à la maintenance sans perturber la distribution d'eau, l'hydrolienne est conçue avec une partie de canalisation en dérivation contrôlable avec vannes. Aussi, il est primordial de mettre en œuvre un asservissement de la vitesse de rotation de la turbine pour garantir l'efficacité maximale du système. De plus, les phénomènes vibratoires dus au fonctionnement de l'hydrolienne doivent être contrôlés afin d'éviter d'atteindre des cas critiques de résonance. L'objectif de cette sous-partie est alors de valider l'instrumentation du système afin d'assurer la communication en temps réel entre les systèmes d'acquisition et les actionneurs.

L'échange d'informations est réalisé par des BUS terrain. Les câbles BUS sont des câbles de transmission de données. Le protocole de communication utilisé est le modbus-TCP/IP.

Le modbus-TCP/IP est un protocole de communication qui permet à deux ou plusieurs équipements de communiquer entre eux via un réseau Ethernet. Les comparaisons de protocoles Ethernet, WiFi et Bluetooth sont proposées en figure 11. Sur un réseau modbus-TCP/IP, un équipement peut être un automate programmable, une interface homme-machine, un variateur de vitesse, un compteur, un régulateur, etc.

	Ethernet	**WiFi**	**Bluetooth**
Débit	400 $Gb \cdot s^{-1}$	10,5 $Gb \cdot s^{-1}$	2 $Mb \cdot s^{-1}$
Portée	Limitée par la longueur disponible des câbles de BUS.	De 20 à 50 m. La présence d'obstacles en béton armé bloque la transmission.	Jusqu'à 10 m. La présence d'obstacles en béton armé bloque transmission.
Consommation énergétique	Négligeable	1,5 W	0,15 W

Figure 11 : comparaison de technologies de communication

Question 1.12 **Justifier** l'utilisation d'un BUS terrain avec un protocole Ethernet plutôt qu'une connexion à distance de type WiFi ou Bluetooth.

Le poste de supervision, par l'intermédiaire d'une trame requête, demande des informations au serveur et ce dernier envoie à son tour une trame de réponse pour transmettre les données de capteurs demandées. Sur un réseau modbus-TCP/IP, les différents équipements sont identifiés de manière unique par une adresse IP**.** Le document réponse DR3 représente le schéma de connexion de l'instrumentation du tunnel hydraulique.

L'instrumentation du tunnel hydraulique nécessite 35 capteurs et actionneurs connectés :

- pour contrôler la dérivation du circuit d'eau : une vanne, un capteur de débit et un capteur de pression ;
- pour contrôler l'apparition de vibrations sur un arbre de turbine : un tachymètre, deux accéléromètres et un capteur de pression ;
- pour asservir l'arbre d'une hydrolienne en vitesse de rotation : un capteur de couple, un ampèremètre, un voltmètre et un frein.

Dans le sous-réseau associé aux capteurs et aux actionneurs, les trois premiers octets de l'adresse IP constituent l'adresse du réseau (Net ID). Le dernier octet permet d'adresser les hôtes. Il est rappellé que, pour ce type de réseau, une adresse est réservée pour l'adresse réseau et une autre pour l'adresse de diffusion.

Question 1.13	**Calculer** le nombre d'appareils qui peuvent être connectés sur le sous-réseau décrit sur le document réponse DR3 et **conclure** sur la compatibilité du réseau avec le nombre d'équipements nécessaires.

Question 1.14 DR3	**Choisir** des adresses IP pour le capteur de débit, le capteur de pression et pour la vanne qui assurent leur communication avec le serveur et le poste de supervision et les **compléter** sur le document réponse DR3.

L'étude se concentre désormais sur la transmission des données d'accélération. Pour chacune des hydroliennes, l'un des accéléromètres est utilisé comme capteur de vibrations. C'est un capteur piézoélectrique de sensibilité $s = 100\ \text{mV} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^2$, d'étendue de mesure [0 mV – 200 mV] et de résolution 1 mV.

Lors d'un essai, ce capteur transmet au système d'acquisition une valeur $U = 22$ mV. L'information est transmise du capteur vers le système d'acquisition par le protocole de communication Modbus. Les données transmises correspondent alors à la valeur de la tension relevée en mV.

Adresse de l'esclave	Code fonction	Données	Contrôle d'erreur
1 octet	**1 octet**	**N octets**	**2 octets**
Entier compris entre 0 et 247 permettant d'identifier l'appareil esclave du réseau avec lequel la communication est établie.	Code numérique qui spécifie le type d'action ou de demande effectuée (lecture ou écriture de donnée par exemple).	Message réel transmis (valeurs écrites ou lues au niveau de l'appareil esclave par exemple). La taille varie en fonction de l'opération à effectuer.	Contrôle qui permet de vérifier l'intégrité des données transmises et de détecter les erreurs de communication potentielles.

Figure 12 : trame utile du protocole Modbus

Question 1.15 **Calculer** la valeur de l'accélération mesurée par le capteur en $m \cdot s^{-2}$. **Donner** la valeur en binaire codée dans la trame ModBus pour transmettre la valeur mesurée U = 22 mV.

La trame du Modbus est constituée d'une suite de caractères et contient les informations décrites sur la figure 12.

Question 1.16 **Déterminer** le nombre d'octets de données qui doivent être transmis par le capteur piézoélectrique, compte tenu de son étendue de mesure. **Montrer** alors qu'une mesure nécessite la transmission de 5 octets par une trame Modbus complète.

Le système d'acquisition peut enregistrer 250 000 valeurs d'accélération par seconde venant de ce capteur de vibrations. Pour mettre en œuvre le contrôle « en temps réel » du protocole de communication Modbus du système d'hydrolienne, le débit de données minimal doit être de 1 $Mo \cdot s^{-1}$.

Question 1.17 **Calculer** le débit de données en $octet \cdot s^{-1}$, puis en $Mo \cdot s^{-1}$, correspondant aux échanges de données entre le capteur et le système d'acquisition. **Conclure** sur le choix du protocole de communication vis-à-vis de l'exigence de contrôle en temps réel du système d'hydrolienne.

Page blanche laissée intentionnellement.

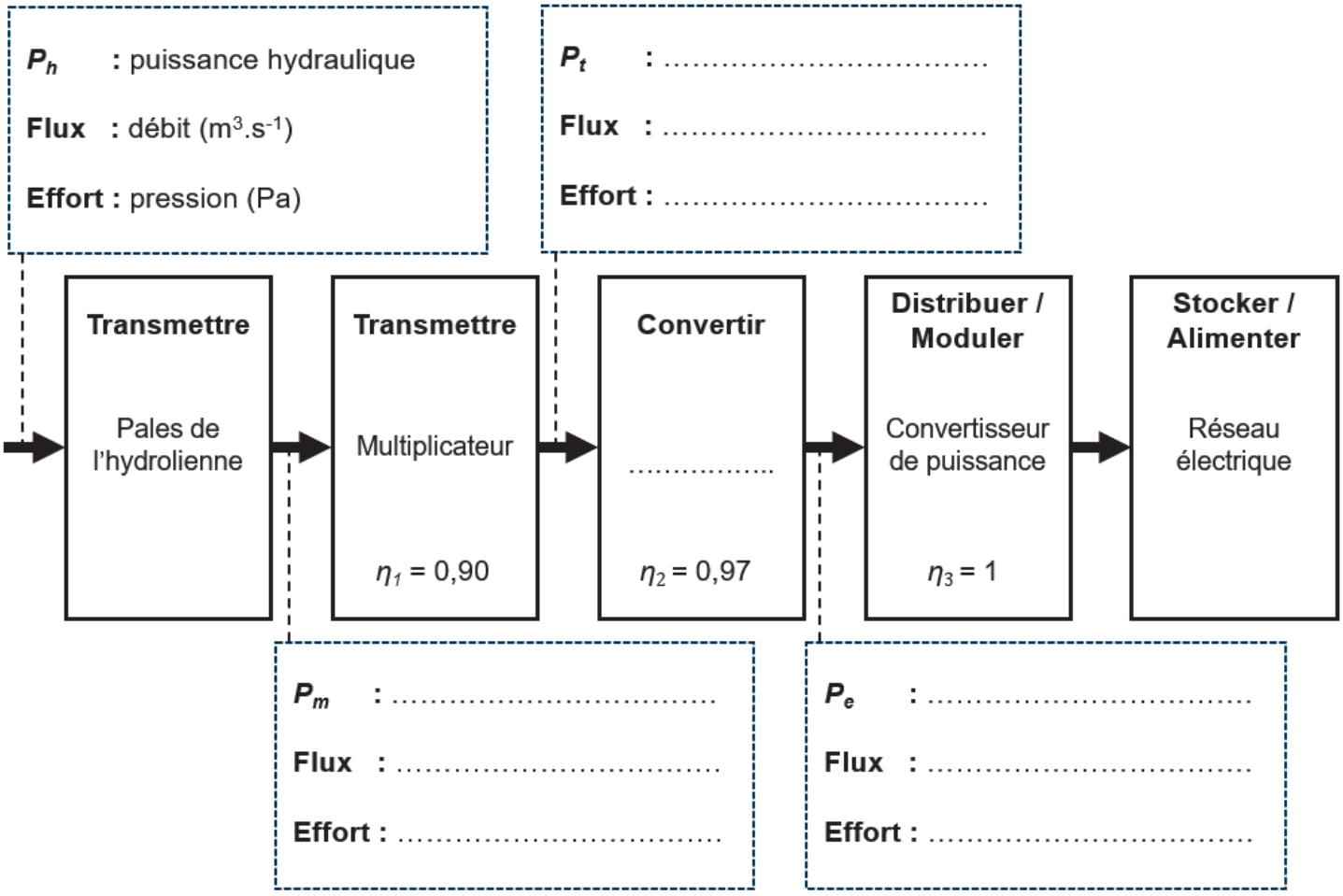
Ne rien inscrire dessus.

Document réponse DR1

Question 1.3

θ (°)	F_θ (N)	C (N · m)
0	383,4	244,1
72	- 7302,7	…….
144	- 2620,2	- 1663,8
216	4151,0	2635,9
288	12014,3	7629,1

Question 1.5



Modèle CCYC : ©DNE

NOM DE FAMILLE (naissance) **:**
(en majuscules)

PRENOM :
(en majuscules)

N° candidat :

N° d'inscription :

(Les numéros figurent sur la convocation, si besoin demander à un surveillant.)

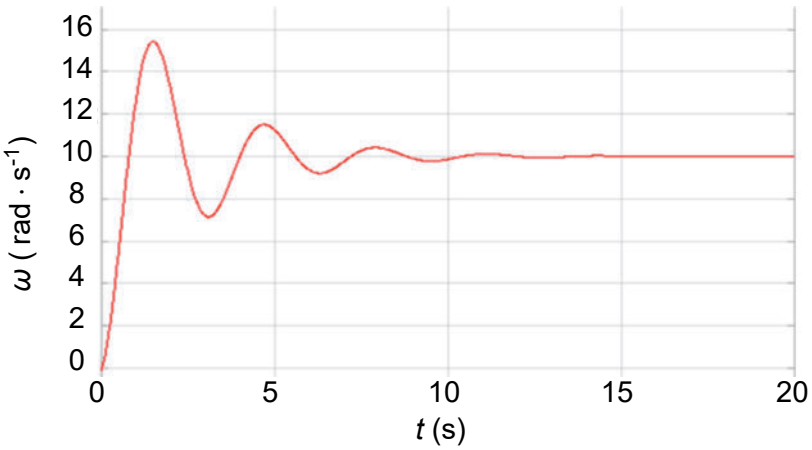
Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Né(e) le : / /

1.2

Document réponse DR2

Question 1.9



Solution 1

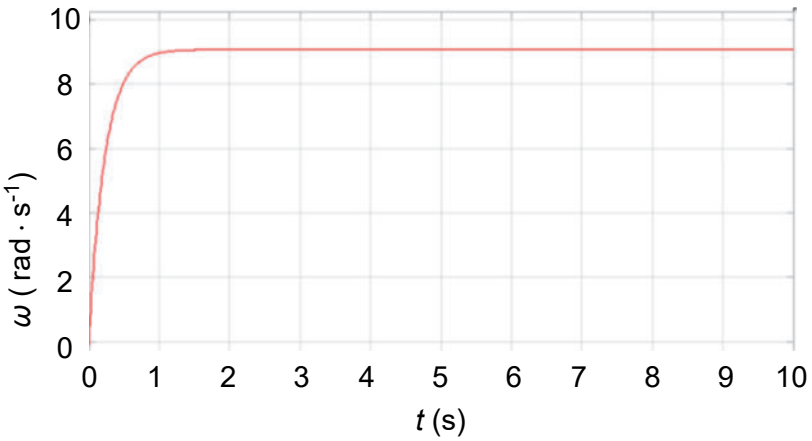
Erreur :

Vitesse maximale :

Réglage retenu :

☐ oui

☐ non



Solution 2

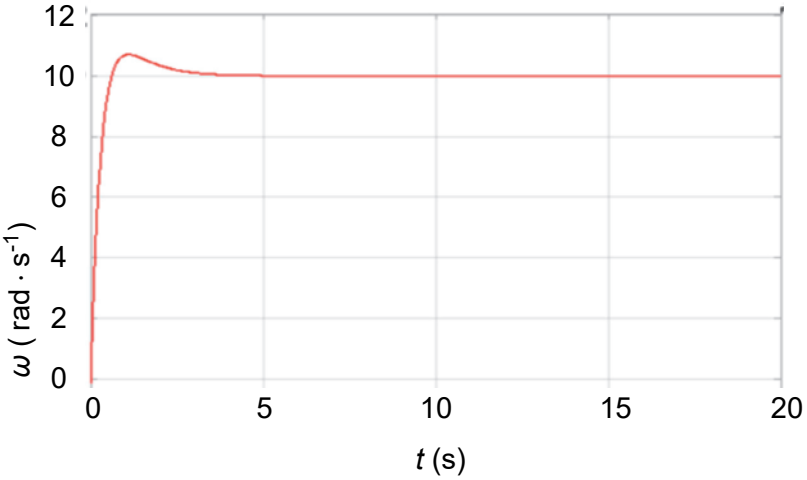
Erreur :

Vitesse maximale :

Réglage retenu :

☐ oui

☐ non



Solution 3

Erreur :

Vitesse maximale :

Réglage retenu :

☐ oui

☐ non

Modèle CCYC : ©DNE

NOM DE FAMILLE (naissance) **:**
(en majuscules)

PRENOM :
(en majuscules)

N° candidat :

N° d'inscription :

(Les numéros figurent sur la convocation, si besoin demander à un surveillant.)

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

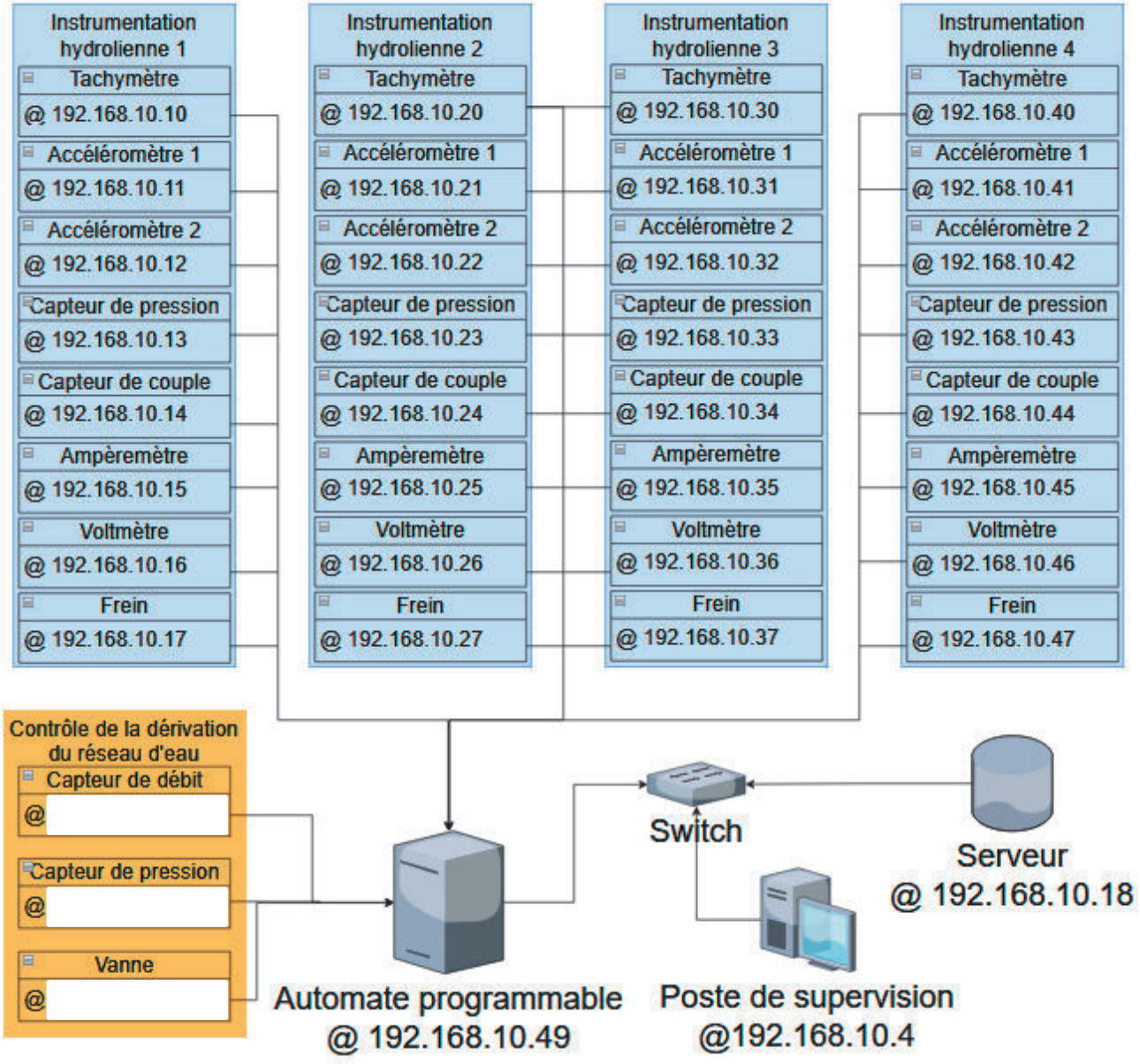
Né(e) le : / /

1.2

Document réponse DR3

Question 1.14

Masque de sous-réseau : 255.255.255.192



Plan d'adressage du système d'instrumentation du tunnel hydraulique

Modèle CCYC : ©DNE

NOM DE FAMILLE (naissance) **:**
(en majuscules)

PRENOM :
(en majuscules)

N° candidat :

N° d'inscription :

(Les numéros figurent sur la convocation, si besoin demander à un surveillant.)

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Né(e) le : / /

1.2

Partie 2 : Sciences physiques

EXERCICE A – Saut de puce

La puce est un insecte d'environ de 2 mm, présent principalement chez les animaux de compagnie. Elle se déplace le plus souvent en sautant et son saut possède des caractéristiques exceptionnelles puisque qu'il peut atteindre une hauteur de près de 30 cm.

Données :

- Accélération de la pesanteur : $g = 9{,}8\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2}$.

Lors d'une étude menée avec une caméra ultrarapide, la vitesse du centre de masse G d'une puce qui saute verticalement a pu être mesurée dans les instants proches du décollage.

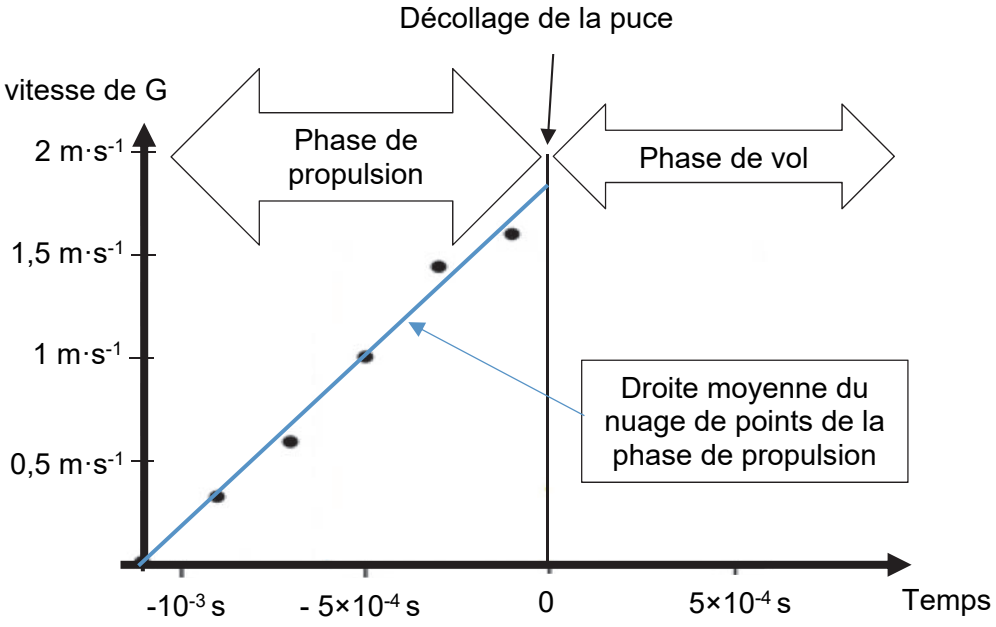


Figure 1. Valeur de la norme de la vitesse du centre de masse d'une puce au cours du temps

Durant la phase de propulsion, les pattes de la puce sont en contact avec le support. Le décollage correspond au moment où il n'y a plus contact.
L'étude est menée dans le référentiel terrestre supposé galiléen. On se place dans le repère (O, *x*, *y*) indiqué sur le schéma. Dans le cadre du modèle choisi, les actions mécaniques liées à l'air sont négligées.

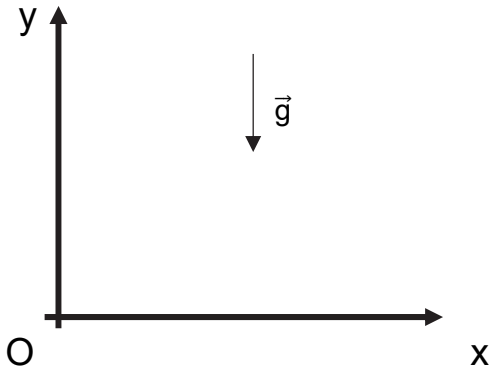


Figure 2. Cadre d'étude

Étude de l'accélération en phase de propulsion

Q1. En utilisant la figure 1, relever la valeur de la vitesse atteinte par la puce à la fin de la phase de propulsion (t = 0). On admet que l'accélération est constante durant cette phase.

Q2. Montrer que la valeur de l'accélération est d'environ $1{,}5 \times 10^3$ m·s^{-2}.

Étude du mouvement de la puce en phase de vol

La puce, à l'instant t = 0 s, est située à l'origine O du repère (figure 2) et réalise un saut vertical vers le haut à une vitesse v_0 = 1,7 m·s^{-1}.

Q3. À l'aide de la deuxième loi de Newton, déterminer les coordonnées du vecteur accélération de G, centre de masse de la puce, notées a_x et a_y, durant la phase de vol.

Q4. Montrer que les coordonnées du vecteur vitesse de G ont pour expression :

$$\begin{cases} v_x(t) = 0 \\ v_y(t) = -g\,t + v_0 \end{cases}$$

Q5. Déduire de **Q4** que les équations horaires du mouvement de G sont :

$$\begin{cases} x(t) = 0 \\ y(t) = -\frac{1}{2} g\,t^2 + v_0\,t \end{cases}$$

On admet que la puce atteint le sommet de son saut à t_{max} = 0,17 s.

Q6. En déduire la hauteur y_{max} atteinte par la puce au sommet de son saut. Commenter ce résultat au regard de la situation.

EXERCICE B – Température au sein d'un igloo



Figure 1. Un igloo

Les habitants des régions polaires comme les Inuits savent qu'un abri constitué de neige (igloo, quinzee, hutte, abri sous arbre, trou à neige, etc.) offre un rempart efficace contre le froid. Nous allons nous intéresser ici au cas de l'igloo.

L'objectif de cet exercice est de comparer l'évolution de la température au sein de l'igloo dans différentes situations.

Données :

- l'igloo est modélisé par une demi-sphère creuse dont l'aire de la surface extérieure S = 9,0 m^2 et d'épaisseur e = 25 cm ;
- l'aire de la surface intérieure de la demi-sphère peut être assimilée à S ;
- on néglige dans cet exercice la fonte de la paroi de l'igloo ainsi que les transferts thermiques avec le sol ;

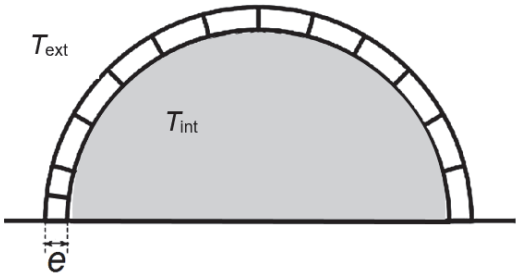


Figure 2. Vue en coupe de l'igloo

- on suppose que la résistance thermique R_{th} en K·W^{-1} de la paroi de l'igloo est liée à son épaisseur e, à l'aire S de la paroi et à la conductivité thermique λ en W·m^{-1}·K^{-1} du matériau par la relation :

$$R_{th} = \frac{e}{\lambda \times S}$$

- la résistance thermique d'une paroi composée de plusieurs couches est la somme des résistances thermiques de chaque couche.

La température extérieure T_{ext} = −30 °C est supposée constante. Le système étudié est l'air intérieur. Le système a une température homogène notée T_{int} à un instant donné. La personne se trouvant dans l'igloo est assimilée à une source thermique qui dégage un flux thermique Φ_1 de 13 MJ par jour.

On suppose que les résistances thermiques associées aux échanges thermiques conducto-convectifs de part et d'autre de la paroi de l'igloo sont négligeables devant R_{th}.

Q1. Citer les trois modes de transferts thermiques.

Q2. Montrer que la valeur du flux thermique Φ_1 produit par la personne est de $1{,}5 \times 10^2$ W environ.

Q3. Déterminer le sens de variation de la résistance thermique d'une paroi d'épaisseur *e* lorsque la conductivité thermique du matériau constituant celle-ci augmente.

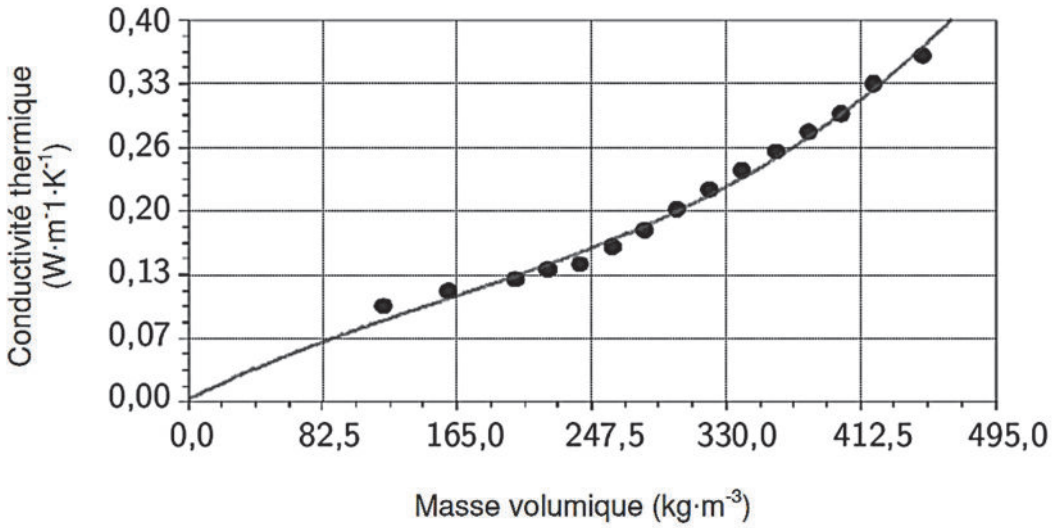


Figure 3. Mesure de la conductivité thermique de la neige en fonction de sa masse volumique (•) et modélisation associée (courbe continue). D'après concours commun INP-2022

Q4. Discuter, à l'aide de la figure 3, de l'efficacité de l'isolation thermique de la paroi de l'igloo si la neige a été très tassée lors de la réalisation de l'igloo. Proposer une explication.

Dans les questions suivantes, on s'intéresse à l'évolution de la température T_{int} à l'intérieur de l'igloo. On considère une neige de conductivité thermique $\lambda = 0{,}15$ W·m^{-1}·K^{-1}.

Q5. Rappeler la relation entre le flux thermique traversant une paroi, la différence de température de part et d'autre de la paroi et la résistance thermique de la paroi. Déterminer la valeur de Φ_2, le flux thermique sortant à travers la paroi de l'igloo, pour une température intérieure initialement égale à $T_{int} = 0$ °C.

Q6. Déterminer par un raisonnement qualitatif si la température intérieure T_{int} va diminuer, augmenter ou stagner en comparant les flux Φ_1 et Φ_2.

À la suite d'une chute de neige, l'igloo est désormais recouvert de $e' = 3{,}0$ cm de neige fraîche, appelée poudreuse, de conductivité thermique $\lambda' = 0{,}040$ W·m^{-1}·K^{-1}.

Q7. On suppose que l'aire *S* n'a pas varié. Montrer que la valeur de la nouvelle résistance thermique de l'igloo est environ $R_{th}' = 0{,}27$ K·W^{-1}.

Q8. Vérifier qu'alors la valeur de la température à l'intérieur de l'igloo lorsque l'équilibre thermique est atteint est d'environ 10 °C. Discuter des hypothèses simplificatrices indiquées dans les données de l'exercice.

Le candidat est invité à prendre des initiatives et à présenter la démarche suivie, même si elle n'a pas abouti. La démarche est évaluée et nécessite d'être correctement présentée.

Copyright © 2027 FormaV®. Tous droits réservés.

FormaV® est une marque déposée auprès de l'INPI sous le numéro 5227897.

Ce document a été élaboré par FormaV® avec le plus grand soin afin d'accompagner chaque apprenant vers la réussite de ses examens. Son contenu (textes, graphiques, méthodologies, tableaux, exercices, concepts, mises en forme) constitue une œuvre protégée par le droit d'auteur.

Toute copie, partage, reproduction, diffusion ou mise à disposition, même partielle, gratuite ou payante, est strictement interdite sans accord préalable et écrit de FormaV®, conformément aux articles L.111-1 et suivants du Code de la propriété intellectuelle. Dans une logique anti-plagiat, FormaV® se réserve le droit de vérifier toute utilisation illicite, y compris sur les plateformes en ligne ou sites tiers.

En utilisant ce document, vous vous engagez à respecter ces règles et à préserver l'intégrité du travail fourni. La consultation de ce document est strictement personnelle.

Merci de respecter le travail accompli afin de permettre la création continue de ressources pédagogiques fiables et accessibles.