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 2026

SCIENCES DE L'INGÉNIEUR

JOUR 1

Durée de l'épreuve : **3 heures 30**
Partie sciences de l'ingénieur : durée indicative de **2 h30** - Coefficient : **8**

Partie sciences physiques : durée indicative de **1 h** - Coefficient : **4**

L'usage de la calculatrice avec mode examen actif est autorisé.

L'usage de la calculatrice sans mémoire, « type collège », est autorisé.

Chacune des parties est traitée sur des copies séparées.

Dès que ce sujet vous est remis, assurez-vous qu'il est complet.

Ce sujet comporte 19 pages numérotées de 1/19 à 19/19

Le candidat traite les 2 parties en suivant les consignes contenues dans le sujet.

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 15) sont à rendre avec la copie

ARBRE ALGAL

Constitution du sujet

- Sujet ..... pages 2 à 13
- Documents réponses..... pages 14 à 15

Le sujet comporte trois sous-parties indépendantes qui peuvent être traitées dans un ordre indifférent.

Partie 1- sciences de l'ingénieur

Mise en situation

L'arbre ALGAL, premier prototype imaginé par la start-up toulousaine Kyanos, est implanté au cœur de la ville de Toulouse pour capter le dioxyde de carbone (CO_2), gaz à effet de serre important qui contribue fortement au réchauffement climatique.



Figure 1 : arbre Algal.

Ce dispositif fonctionne avec des micro-algues qui permettent notamment de séquestrer les polluants et ainsi purifier l'air.

Les micro-algues captent les molécules de CO_2 présentes dans l'air et libèrent de l'oxygène. C'est le principe de la photosynthèse. Les micro-algues fabriquent aussi de la matière organique valorisable (sous forme d'engrais pour végétaliser l'arbre).

Grâce à sa forme cylindrique transparente (en verre) et à l'agitation permanente de l'eau par les bulleurs placés au fond, ce « photobioréacteur » (son nom scientifique) expose l'ensemble des micro-algues à la lumière pour que le processus de photosynthèse se réalise.

L'arbre ALGAL est composé de 6 pompes péristaltiques dont 2 pompes de régulation du pH non représentées sur le schéma de principe figure 2 et d'une électrovanne.

L'électrovanne assure l'alimentation de l'arbre en eau de ville. Cela permet de compenser l'évaporation de l'eau contenue dans la cuve, de réguler la concentration en micro-algues et de maintenir une température de l'eau optimale pour la croissance des micro-algues.

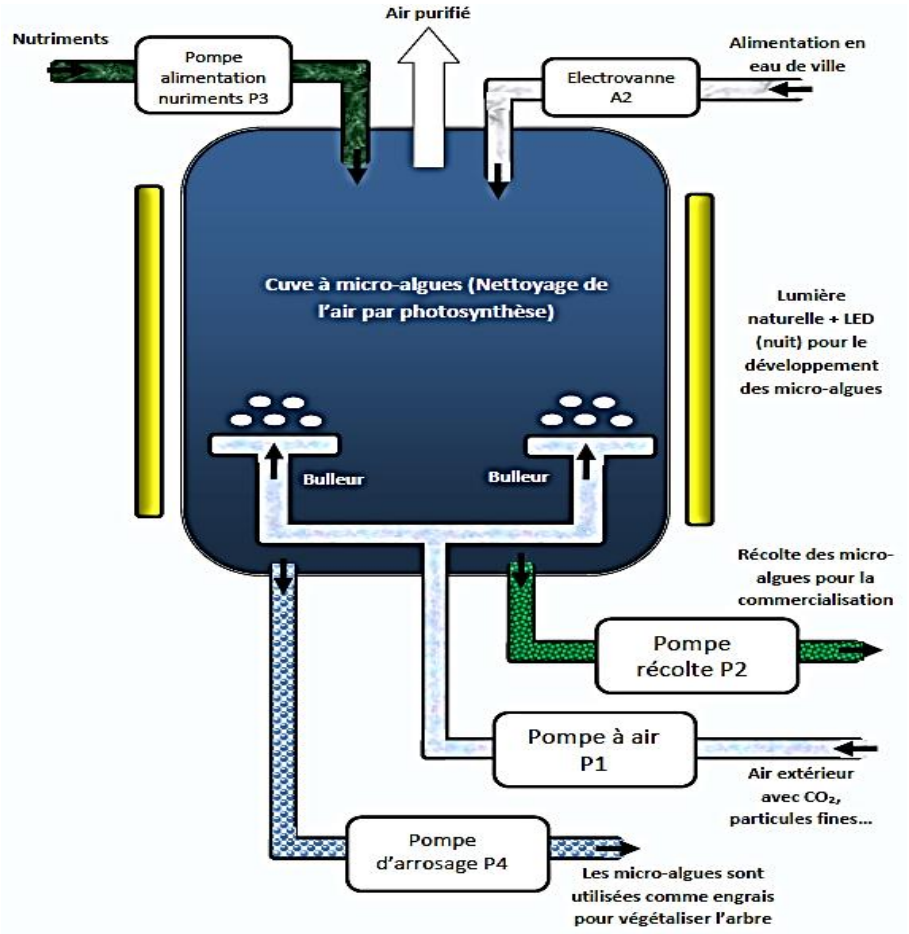


Figure 2 - Schéma de principe de l'arbre ALGAL.

La problématique abordée dans ce sujet est la suivante :

comment optimiser le fonctionnement de ce « photo-bioréacteur » et lui assurer une autonomie en énergie ?

Sous-partie 1 : maintenir dans la cuve d'eau une température optimale de croissance des micro-algues

L'objectif est d'analyser le comportement énergétique de la cuve d'eau et de valider les solutions technologiques permettant de réguler la température de l'eau de la cuve contenant les micro-algues.

La figure 3 caractérise les exigences associées à la régulation de température.

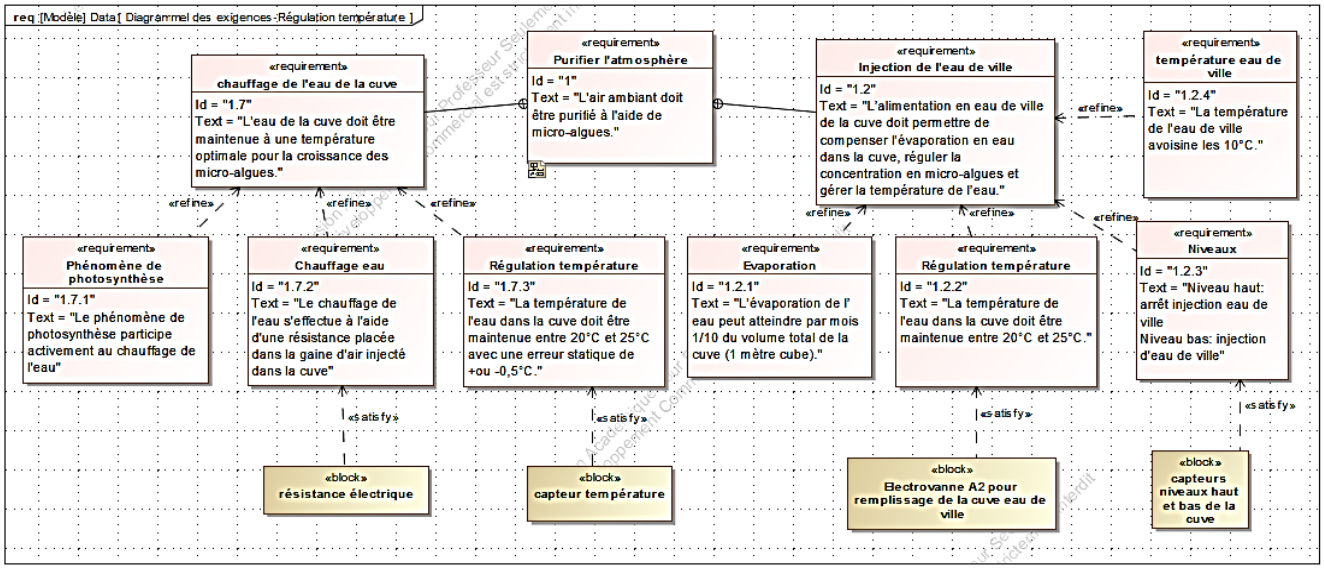


Figure 3 - Diagramme des exigences relatif à la régulation température.

Sur la figure 4 sont représentées la puissance du rayonnement solaire Q en $W \cdot m^{-2}$ agissant sur la cuve d'eau au cours d'une journée du mois de juin ainsi que la température de l'eau en °C sans régulation thermique.

Pour optimiser la croissance des micro-algues, la température de l'eau de la cuve doit être maintenue entre 20°C et 25°C (figure 3 id 1.7.3).

Le phénomène de photosynthèse participe également au réchauffement de l'eau de la cuve (réaction chimique).

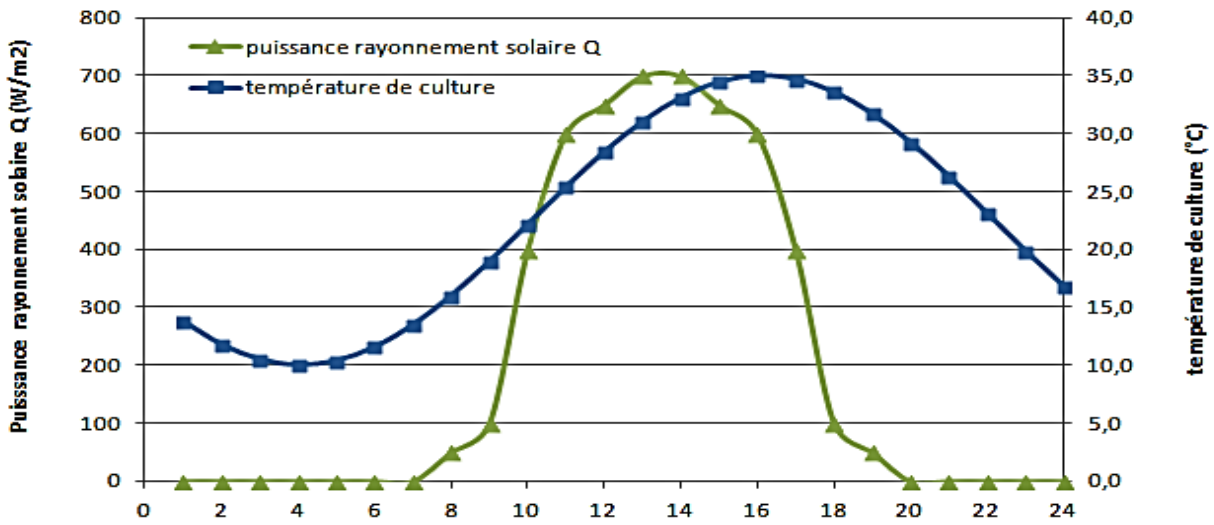


Figure 4 - Évolution de la puissance de rayonnement solaire et de la température de culture.

Question 1. Figure 4	**Relever** la plage horaire où il est nécessaire de refroidir la cuve d'eau et celle où il est nécessaire de la réchauffer permettant ainsi d'optimiser la croissance des micro-algues.

Question 2. Figure 3	**Indiquer,** à l'aide du diagramme des exigences, les solutions technologiques utilisées pour refroidir et réchauffer l'eau de la cuve.

Sur la période hivernale (mois d'octobre à avril) qui est propice à la culture des micro-algues, il est nécessaire de réguler la température de l'eau en la chauffant avec une résistance électrique. Le modèle bloc présenté en figure 5 permet de simuler le comportement de cette régulation et en particulier de déterminer les réglages appropriés du correcteur. Dans cette étude, l'influence des perturbations extérieures est négligée.

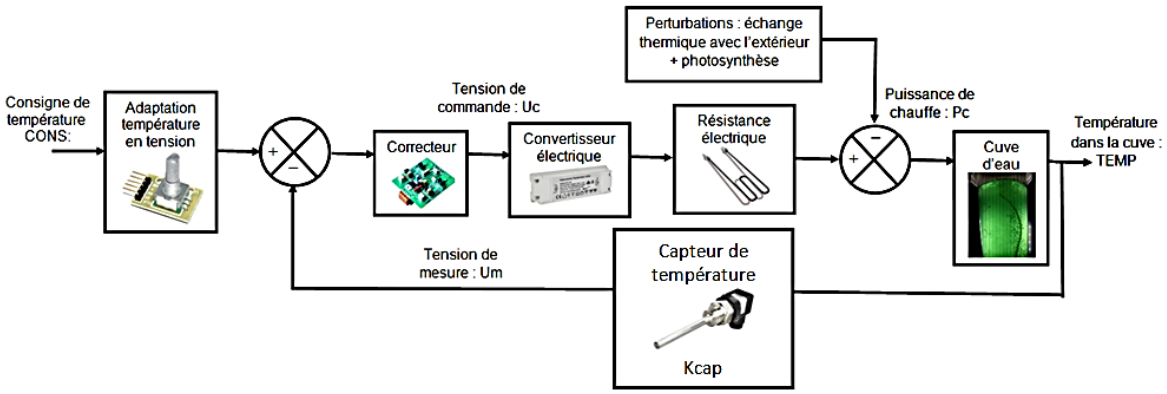


Figure 5 - Schéma bloc de la régulation de température en chauffe.

Il est nécessaire au préalable de renseigner le modèle bloc en déterminant le gain statique du capteur de température Kcap et le gain statique de la cuve d'eau Keau.

Le capteur de température délivre une tension Um variant linéairement de 0 à 10 V lorsque la température TEMP varie de 0 à 60°C.

Question 3. Figure 5	**Déterminer** le gain statique Kcap du capteur de température en précisant son unité.

Données : gain statique du convertisseur électrique : Kc = 0,1 V^{-1}

gain statique de la résistance électrique : Kr = 50 W

Un essai en boucle ouverte est réalisé suivant le schéma bloc de la figure 6 en appliquant un échelon de tension de commande Uc = 1 V à l'instant t = 0,2 s. La température initiale dans la cuve étant de 20°C, la température TEMP est mesurée. Le résultat de l'essai est donné figure 7.

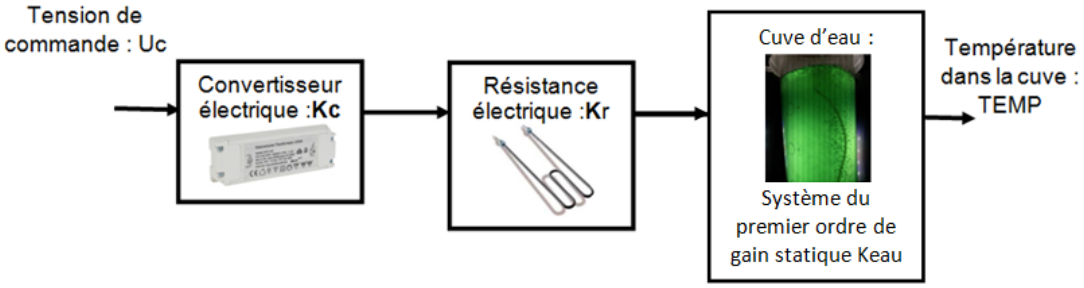


Figure 6 - Schéma bloc boucle ouverte.

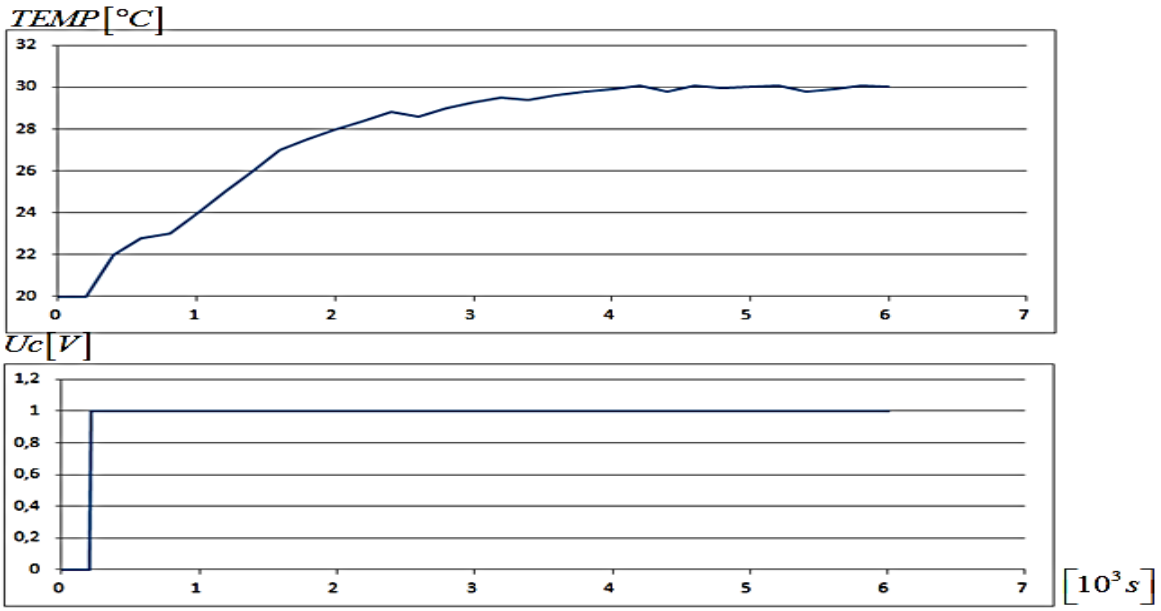


Figure 7 - Résultats de l'essai en boucle ouverte.

Question 4. Figures 6 et 7	**Relever** la variation de température dans la cuve notée ΔTEMP. **Déterminer** le gain global de cet essai en boucle ouverte. **En déduire** le gain statique Keau de la cuve d'eau en précisant son unité.

Les valeurs de Kcap et Keau ainsi déterminées sont introduites dans le modèle donné figure 6. Le réglage des paramètres du correcteur de la régulation en température s'effectue par simulation, sur le modèle donné figure 6, avant d'être implanté sur le système réel.

La température de l'eau de la cuve est initialement de 10°C (t = 0 s). La consigne de température est fixée à 20°C à l'instant t = 200 s. Deux cas de configuration de correcteur (cas a et b) sont envisagés. Les courbes données sur la figure 8 représentent l'évolution de la température de l'eau de la cuve pour chaque réglage du correcteur.

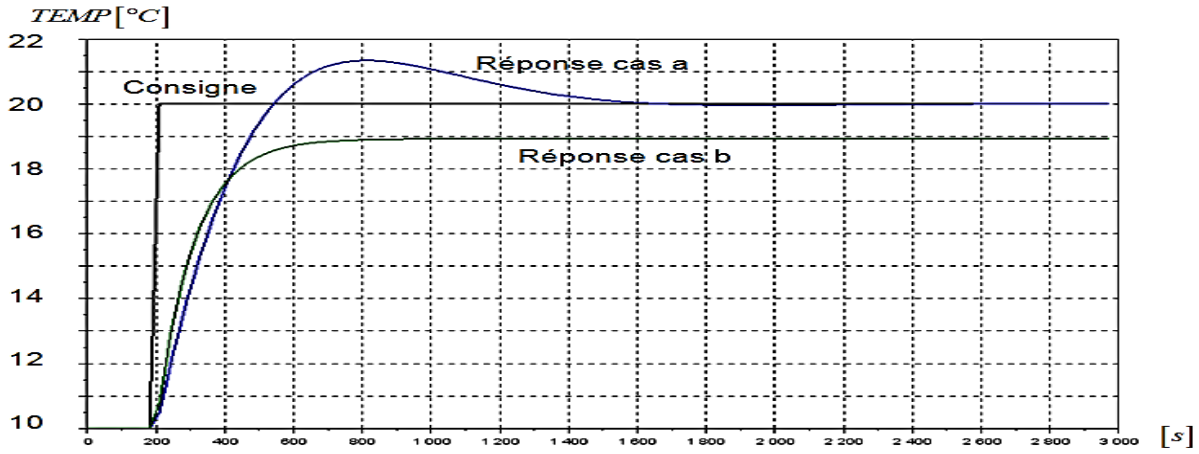


Figure 8 - Réponse à un échelon de consigne avec un correcteur proportionnel intégral (cas a) et avec un correcteur proportionnel (cas b).

Question 5. Figures 3 et 8	J**ustifier** le choix du correcteur approprié au regard des exigences du cahier des charges. **Conclure** sur la capacité du système à valider le cahier des charges.

Sous-partie 2 : quantifier la concentration de l'eau en micro-algues afin d'optimiser le processus de photosynthèse.

L'objectif est de contrôler la concentration de l'eau en micro-algues afin d'optimiser le processus de photosynthèse.

La figure 9 caractérise le diagramme des exigences relatif à la concentration en micro-algues.

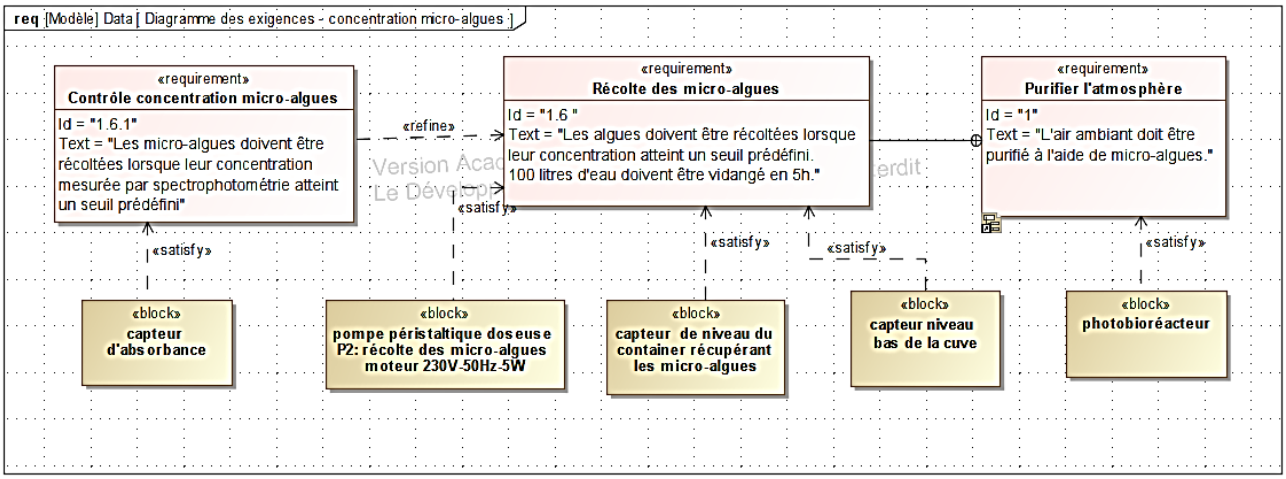


Figure 9 - Diagramme des exigences relatif à la concentration en micro-algues.

L'entreprise a choisi le spectrophotomètre, solution peu onéreuse conduisant à des résultats rapides et précis. Son principe est décrit sur la figure 10.

La cuve est éclairée par une LED qui émet un faisceau lumineux d'intensité égale à 200 lux. Ce faisceau traverse la cuve et est reçu par une photorésistance LDR. La valeur de la résistance de la LDR change en fonction de la quantité de lumière reçue. La précision de la lecture LDR est de +/-1 lux.

La concentration finale en micro-algues est atteinte lorsque l'intensité lumineuse E_t du faisceau transmis n'est plus que de 35 lux. Il est alors nécessaire de récolter les micro-algues.

Le capteur de lumière LDR (figure 10) fournit une tension électrique V_R, image de l'intensité lumineuse E_t du faisceau transmis. La grandeur électrique V_R est connectée sur une entrée analogique de la carte électronique avec microcontôleur pour être numérisée. La valeur numérique N est ensuite traitée par un algorithme de calcul afin d'informer l'exploitant sur la récolte des micro-algues à l'issue de la vidange de la cuve.

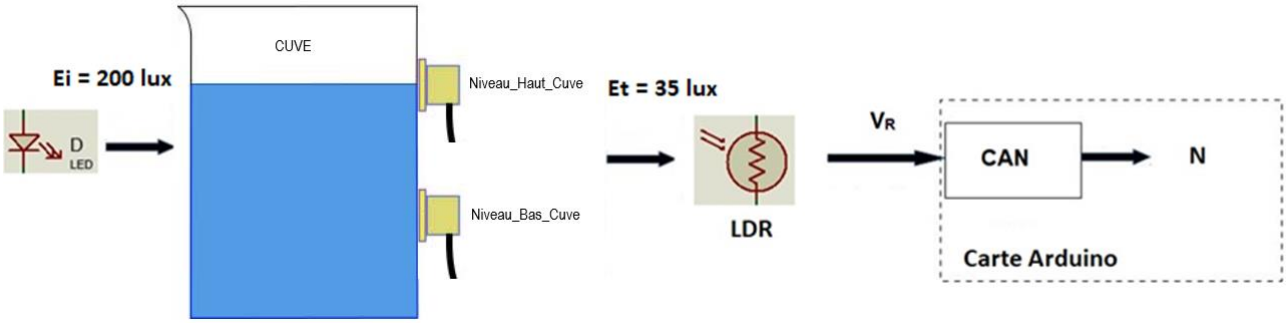


Figure 10 - Chaîne d'acquisition de l'éclairement transmis.

Question 6.	**Préciser** la nature des grandeurs d'entrée et de sortie du capteur de lumière LDR. **Justifier** la nécessité d'un convertisseur analogique numérique (CAN).
Figure 10	

La figure 11 représente une modélisation de la commande pour récolter les micro-algues.

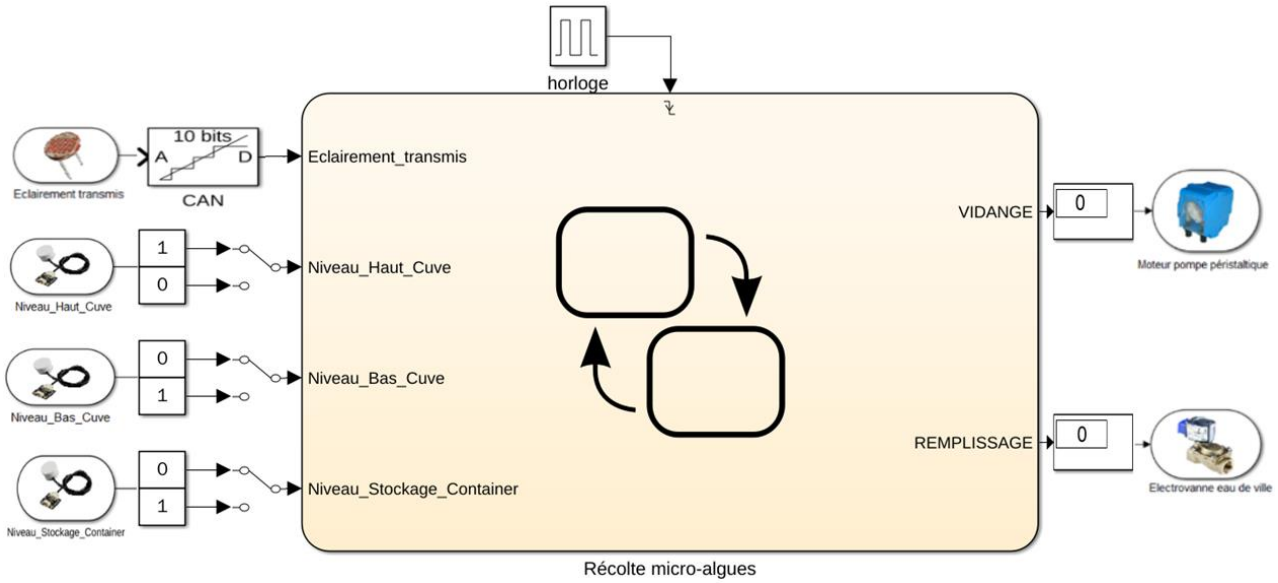


Figure 11 – État composite Récolte.

La commande est réalisée avec les conditions et les actions définies selon la figure 12.

Variables d'entrées	Conditions initiales	Type	Description des entrées
Eclairement_transmis	Eclairement_transmis = 200	entier	Mesure de la concentration des micro-algues
Niveau_Haut_Cuve	Niveau_Haut_Cuve = 1	logique	Niveau de l'eau dans la cuve en position haute
Niveau_Bas_Cuve	Niveau_Bas_Cuve = 0	logique	Niveau de l'eau dans la cuve en position basse
Niveau_Stockage_Container	Niveau_Stockage_Container = 0	logique	Le container est vide

Variables des sorties	Etats initiales des sorties	Type	Description des actions
VIDANGE	VIDANGE = 0	logique	Moteur pompe péristaltique de vidange à l'arrêt
REMPLISSAGE	REMPLISSAGE = 0	logique	Electrovanne de circulation d'eau de ville fermée

Figure 12 – Descriptions des entrées et des sorties de la commande.

Question 7.	**Compléter** les parties du diagramme d'état en pointillé sur le document réponse DR1 pour une commande de la récolte des micro-algues.
DR1 Figures 11 et 12	

Le diagramme de la figure 11 permet de piloter l'état composite de la figure 13 et contrôle ainsi l'arrêt ou la marche du sous-système de récolte des micro-algues. Il est constitué de l'état initial STOP_RECOLTE, de l'état MARCHE, de l'état ARRET et de 4 évènements logiques START, ON, OFF et STOP.

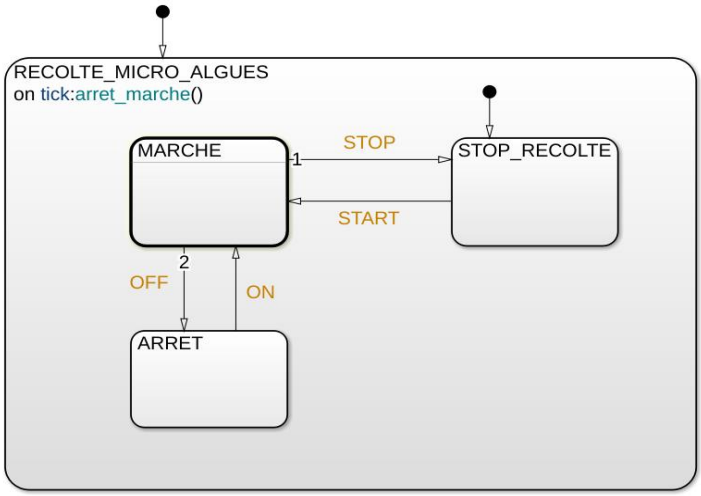


Figure 13 – Diagramme commande Récolte micro algues.

Question 8. Figures 11, 12 et 13 DR2	**Compléter** sur le document réponse DR2 l'algorithme de commande à l'arrêt de la récolte suivant la séquence STOP_RECOLTE→MARCHE →ARRET→MARCHE→STOP_RECOLTE.

Une fois que la concentration seuil est détectée, il est nécessaire de vidanger la cuve d'eau.
Ainsi, dès que la concentration en micro-algues est jugée satisfaisante, une pompe péristaltique de récolte P2 se met en marche afin de vidanger une partie de la cuve. Cette eau chargée en micro-algues est ainsi pompée puis filtrée afin de ne récupérer que les micro-algues.



Figure 14 – Pompe péristaltique

Cette pompe péristaltique permet de déplacer l'eau contenue à l'intérieur d'un tube souple déformable. Le principe de pompage est basé sur la compression et la décompression alternées du tube au moyen de galets entraînés en rotation par un motoréducteur. Ceci a pour effet d'aspirer l'eau de la cuve et de propulser l'eau contenue dans la pompe vers le filtre. Les différents éléments de la pompe péristaltique sont représentés en figure 15.

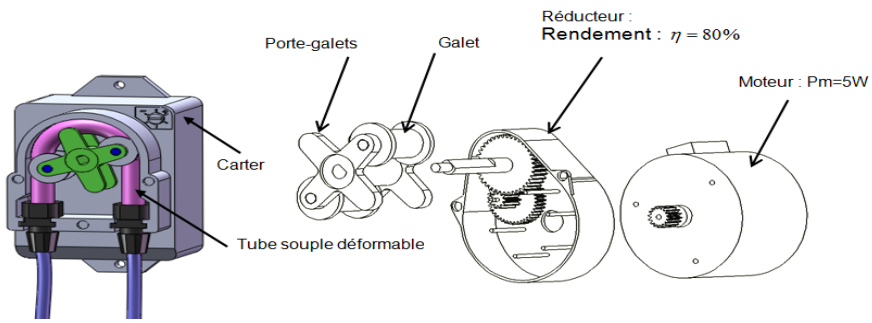


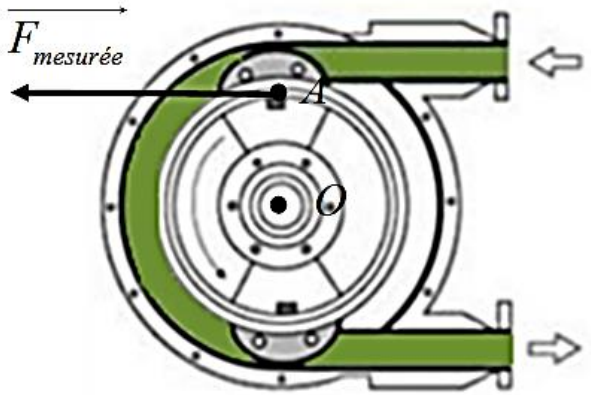
Figure 15 – Vue des différents éléments de la pompe

Une vue synoptique de la chaîne d'énergie-puissance du système satisfaisant l'exigence id=1.6 « Récolte des micro-algues » est représentée sur le document réponse DR3. Les constituants sont reliés entre eux par un lien de puissance symbolisant les deux grandeurs d'effort et de flux. Leur produit caractérise le transfert de puissance instantanée entre ces constituants.

Question 9. DR3	**Compléter** le schéma fourni sur le document réponse DR3, en indiquant la nature des puissances transmises par les différents constituants. **Préciser**, avec leurs unités, les grandeurs d'effort et de flux qui caractérisent ces puissances.

Afin de valider le choix du moteur électrique de la pompe, il faut déterminer le couple C_{PG} que doit fournir le porte-galets.

Une expérience a permis de mesurer l'effort nécessaire pour entrainer en rotation le porte-galets dans sa position la plus défavorable (figure 16). L'effort mesuré au point A est $\left\|\overrightarrow{F_{mesurée}}\right\| = 55\ N$.



Rayon du porte galets : $R = \left\|\overrightarrow{OA}\right\| = 17\ mm$

Figure 16– Modélisation de l'expérience.

Les différents éléments de la pompe péristaltique sont :

- un réducteur de rendement 80 % ;
- un porte-galets muni de deux galets ayant une fréquence de rotation N_{PG} de 37 tr·min $^{-1}$.

Question 10. Figure 16	**Déterminer** dans ces conditions le couple C_{PG} que doit fournir le porte-galets pour déplacer l'eau au sein de la pompe.

Question 11. Figures 9 et 15	**Montrer** que la valeur de la puissance utile du moteur électrique de la pompe dans les conditions détaillées précédemment est de 4,5 W. **Valider** alors le choix du moteur d'entrainement de la pompe permettant de satisfaire l'exigence id=1.6

Sous-partie 3 : Optimiser le bilan carbone du photo-bioréacteur (PBR)

L'objectif est d'optimiser le bilan carbone du photo-bioréacteur.

La figure 17 caractérise le diagramme des exigences relatif à l'aspiration de l'air ambiant.

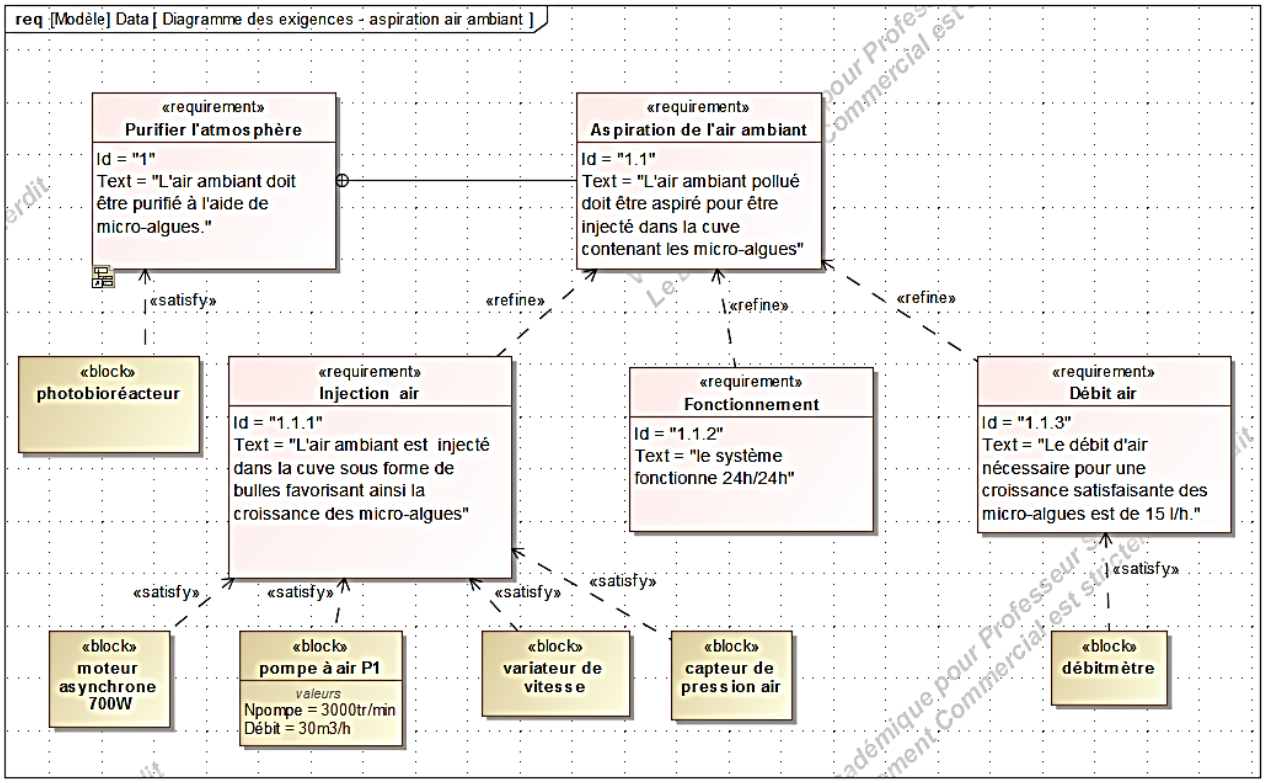


Figure 17 – Diagramme partiel des exigences relatif à l'aspiration de l'air ambiant.

La société développant l'arbre Algal souhaitant s'assurer de l'optimisation de la performance de son produit, un bilan énergétique a été réalisé. Les résultats de cette campagne de mesure sont donnés dans le tableau du DR3.

La quantité de CO_2 rejetée par kW·h d'électricité produite en France est estimée à 74 g de $CO_2.(kW{\cdot}h)^{-1}$.

Question 12	**Compléter** le tableau du document réponse DR3 pour effectuer un bilan énergétique et un bilan carbone du PBR. En **déduire** le constituant le plus énergivore.
DR3 Figure 17	

Afin d'améliorer le prototype, un modèle théorique simplifié permettant d'évaluer la puissance utile du système d'aspiration de l'air est réalisé.
La puissance utile P_h de la pompe s'exprime en fonction de la différence de pression Δp et du débit Q :

$$P_h = \Delta p \cdot Q$$

- Q : débit en $m^3{\cdot}s^{-1}$;
- $\Delta p = \rho_{eau} \cdot g \cdot \Delta h$
  Δp : différence de pression exprimée en Pa (pascal),

avec

- Δh : hauteur manométrique totale en m ;

- g = 9,81 m·s^{-2} : accélération de la pesanteur ;
- ρ_{eau} = 1.10^3 kg·m^{-3} : masse volumique de l'eau.

Question 13	**Calculer** la puissance utile P_h de la pompe à air nécessaire pour purifier 200 000 m^3 d'air par an avec Δh = 2 m.

Pour la suite de l'étude, le résultat de cette modélisation est de Ph=125 W.

Les caractéristiques de la pompe à air utilisée pour ce prototype sont données dans le tableau 1.

Pompe à air	soufflante bi-étagée
Tension	230 V
cos φ	0,95
Puissance utile	0,7 kW
Rendement	70%
Vitesse de sortie	3000 tr•min^{-1}
Fréquence	50 Hz
Débit	30 m^3•h^{-1}
Masse	15 kg
Référence	SKV-ND-88

Tableau 1 : données constructeur de la pompe à air.

Les données constructeur correspondent au point de fonctionnement nominal de la pompe, c'est-à-dire pour un fonctionnement optimal (rendement maximum).

Question 14	Au regard de la puissance nécessaire P_h, ***commenter*** le choix de cette pompe.
DR3 Tableau 1	

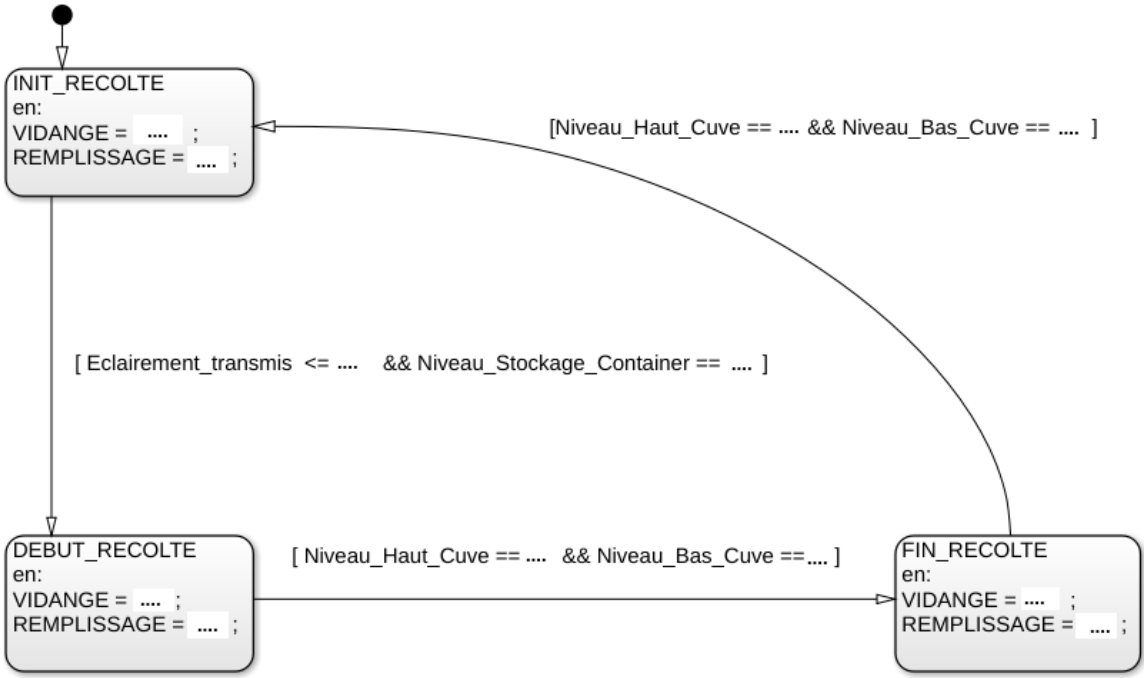
La finalité du système est de purifier 200 000 m^3 d'air par an soit l'équivalent d'une tonne de CO_2 d'émissions par an.

Question 15	**Conclure** cette partie sur la viabilité du système et **proposer** des solutions pour réduire la consommation d'énergie et le rejet de CO_2.

Document réponse DR1

Question 7 :

Syntaxe : && équivalent à AND (ET LOGIQUE)



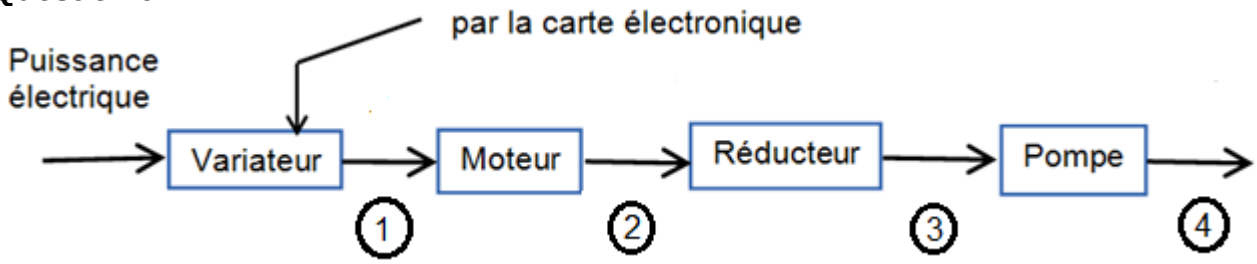
Document réponse DR2

Question 8 :

```
DEBUT_ALGORITHME
    STOP_RECOLTE PREND_LA_VALEUR 1
    LIRE START
    SI (START == 1) ALORS
        DEBUT_SI
        STOP_RECOLTE PREND_LA_VALEUR 0
        MARCHE PREND_LA_VALEUR 1
        LIRE OFF
        SI (OFF == 1) ALORS
            DEBUT_SI
            MARCHE PREND_LA_VALEUR 0
            ARRET PREND_LA_VALEUR 1
            LIRE ON
            SI _____ ALORS
                DEBUT_SI
                _____
                _____
                _____
                SI _____ ALORS
                    DEBUT_SI
                    _____
                    _____
                    _____
                    _____
                _____
            _____
        FIN_SI
FIN_ALGORITHME
```

Document réponse DR3

Question 9 :



	1	2	3	4
Puissance		mécanique		hydraulique
Effort (unité)		couple (N·m)		pression (Pa)
Flux (unité)		vitesse (rad·s^{-1})		débit (m^3·s^{-1})

Question 12 :

Constituants du PBR	Puissance électrique en W	Fréquence ou durée d'utilisation quotidienne en h	Bilan énergétique en kWh
Pompe à air pour un fonctionnement de jour	897	**12h**	
Pompe à air pour un fonctionnement de nuit	448		
Accessoires électriques	156		
Bandeaux à LED pour l'éclairage de la cuve	105	**12h**	
Chauffage cuve d'eau			**0,51**
Refroidir cuve d'eau			**1,70**
	TOTAL		
	Équivalent Carbone CO_2	Sur un jour	
		Sur une année (365j)	

Partie 2 : Sciences physiques

Exercice A – Vol zéro-G

La situation d'impesanteur permet d'étudier des phénomènes masqués ou modifiés par la pesanteur terrestre. Pour cela, les pilotes d'un airbus A310 imposent à l'avion plusieurs trajectoires paraboliques au cours desquelles l'état d'impesanteur est créé. Lors de ces phases paraboliques, la force de poussée exercée sur l'avion grâce aux moteurs compense exactement les forces dues à l'air.

Ainsi, lors des 24 secondes d'une trajectoire parabolique, l'avion se trouve en situation de chute libre produisant ainsi cette situation d'impesanteur.

Données

- Angle par rapport à l'horizontale au début de la parabole : $\alpha = 47°$.
- Vitesse au début de la parabole : $v_0 = 570\ \text{km·h}^{-1}$.
- Intensité du champ de pesanteur terrestre : $g = 9{,}81\ \text{m·s}^{-2}$.

Le système considéré est l'avion dont on étudiera le mouvement du centre de masse M dans le référentiel terrestre supposé galiléen.

À $t = 0$ s, l'avion se trouve au point O, début de la trajectoire parabolique et origine du repère (Oxy) (voir **figure 1**).

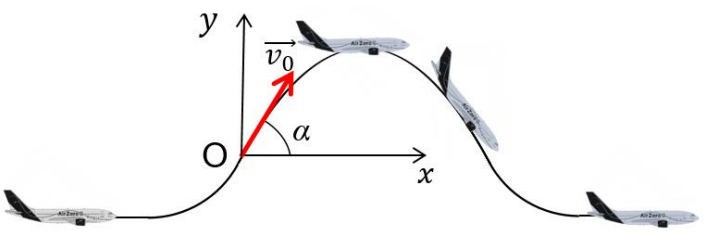


Figure 1 – Trajectoire du centre de masse de l'avion.

1. Montrer, en appliquant la deuxième loi de Newton sur le système {avion}, que le vecteur accélération $\vec{a}$ de son centre de masse M est égal au champ de pesanteur terrestre $\vec{g}$ au cours de la trajectoire parabolique.

2. En déduire les coordonnées $v_x(t)$ et $v_y(t)$ du vecteur vitesse associé au point M lorsqu'il décrit la parabole.

3. Montrer que les équations vérifiées par les coordonnées $x(t)$ et $y(t)$ du point M au cours de la parabole sont de la forme :

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

où les constantes v_{0x} et v_{0y} sont à expliciter en fonction de v_0 et α.

4. Montrer que la durée du vol parabolique est effectivement environ égale à 24 s.

Exercice B – Mesure du diamètre d'un fil de pêche

Le fil en nylon est le plus connu et le plus utilisé des fils pour la pêche. L'élasticité du nylon permet de limiter le risque de décrochage et de casse. Son diamètre et sa résistance sont deux critères très importants pour le choix d'un fil.

Source : Génération Pêche.

L'objectif de cet exercice est de déterminer le diamètre d'un fil de pêche.

1ère partie : vérification de la longueur d'onde du laser

On réalise le montage de la **figure 1** au laboratoire.

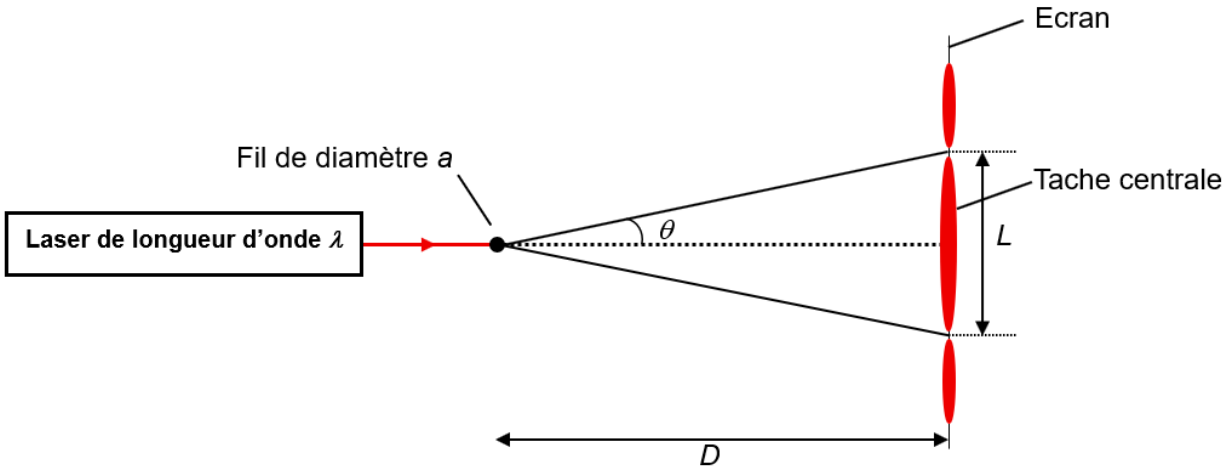


Figure 1 – Schéma de l'expérience en vue de dessus sans souci d'échelle.

Données

- Distance entre le fil et l'écran : D = 2,50 m.
- L'angle θ caractérisant le phénomène étudié est donné par la relation $\theta = \frac{\lambda}{a}$.
- Approximation pour les petits angles ($\theta \ll 1$ rad) : $\tan\theta \approx \theta$.

1. Nommer le phénomène schématisé sur la **figure 1** et le décrire succinctement.

2. À partir de la **figure 1** et des données, établir que la largeur de la tache centrale est donnée par la relation $L = \frac{2\lambda D}{a}$.

On a mesuré cette largeur L avec différents fils calibrés de diamètre a.

On réalise un programme écrit en langage Python pour tracer la représentation graphique de la largeur L de la tache centrale en fonction de $\frac{1}{a}$ et pour afficher le coefficient directeur de la droite de modélisation (**figure 2**).

Un extrait du programme est fourni sur la **figure 3**.

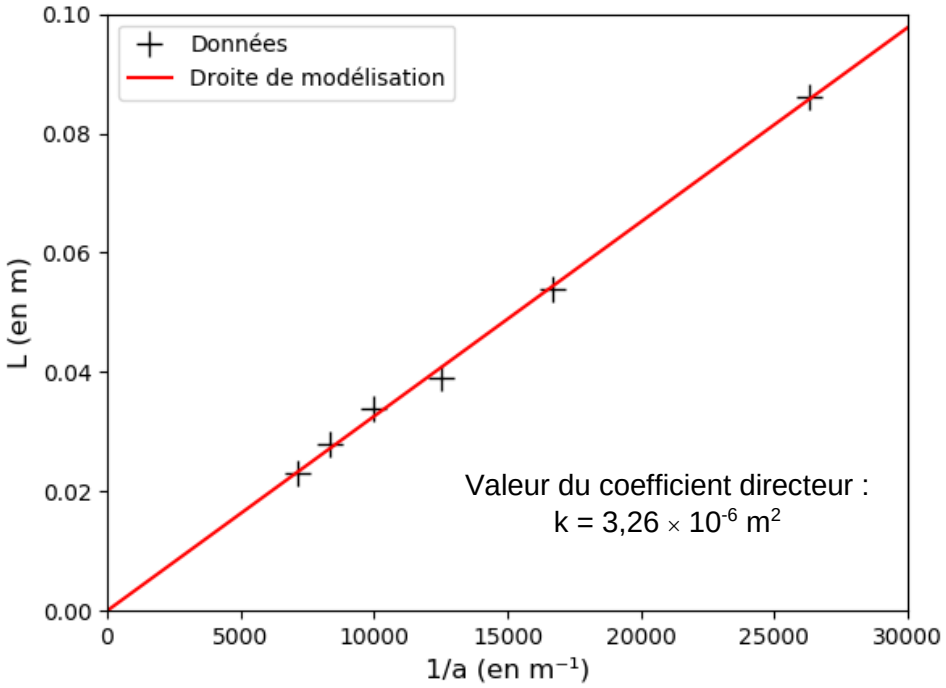


Figure 2 – Représentation graphique de L en fonction de $\frac{1}{a}$ et affichage du coefficient directeur.

```
6   a = [3.8e-5, 6.0e-5, 8.0e-5, 1.00e-4, 1.20e-4, 1.40e-4]  # a en mètres
7
8   inva = []
9   for i in range(6):
10      inva.append(1 / a[i])
```

Figure 3 – Extrait du programme Python.

3. Expliquer ce que permettent de faire les lignes 8, 9 et 10 du programme Python.

4. Déterminer, en nm, la valeur expérimentale λ_{exp} de la longueur d'onde du laser utilisé.

2ème partie : détermination du diamètre d'un fil de pêche

On réalise l'expérience de la **figure 1** avec un fil de pêche. La mesure de la largeur de la tache centrale donne L = 25 mm. Les autres données de l'expérience sont les suivantes :

- longueur d'onde du laser utilisé : λ = 650 nm ;
- distance entre le fil de pêche et l'écran : D = 2,50 m ;
- diamètre de référence du fil de pêche : $a_{fil,réf}$ = 120 µm.

Pour évaluer la compatibilité du résultat d'une mesure avec une valeur de référence, on peut calculer l'écart normalisé $\frac{|x - x_{réf}|}{u(x)}$ où x est la valeur mesurée, $x_{réf}$ la valeur de référence et $u(x)$ l'incertitude-type associée à la valeur mesurée.

5. À l'aide de la relation établie à la question **2**, déterminer la valeur du diamètre a_{fil} du fil de pêche.

L'incertitude-type $u(a_{fil})$ associée à la valeur du diamètre du fil de pêche trouvée précédemment est :

$$u(a_{fil}) = a_{fil} \times \sqrt{\left(\frac{u(\lambda)}{\lambda}\right)^2 + \left(\frac{u(L)}{L}\right)^2 + \left(\frac{u(D)}{D}\right)^2}$$

avec $u(L)$ = 1 mm, $u(D)$ = 0,01 m et $u(\lambda)$ = 1 nm.

6. Évaluer la valeur de $u(a_{fil})$, puis discuter de l'accord du résultat obtenu à la question **5** avec la valeur de référence du diamètre du fil de pêche.

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.