

CONCOURS GÉNÉRAL DES LYCÉES

—

SESSION 2022

—

SCIENCES PHYSIQUES ET CHIMIQUES EN LABORATOIRE

(Classes de terminale série STL)

EPREUVE D'ADMISSIBILITE

Durée : 5 heures

—

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

Consignes aux candidats

- Ne pas utiliser d'encre claire
- N'utiliser ni colle, ni agrafe
- Numéroté chaque page en bas à droite (numéro de page / nombre total de pages)
- Sur chaque copie, renseigner l'en-tête + l'identification du concours :

Concours / Examen : CGL

Epreuve : 101

Matière : SPCL

Session : 2022

CONCOURS GÉNÉRAL DES LYCÉES

—

SESSION 2022

—

SCIENCES ET TECHNOLOGIES DE LABORATOIRE
SCIENCES PHYSIQUES ET CHIMIQUES EN LABORATOIRE

—

Durée : 5 heures

—————

Si au cours de l'épreuve un candidat repère ce qui lui semble être une erreur d'énoncé, il le signale dans sa copie et poursuit sa composition en indiquant les raisons des initiatives qu'il est amené à prendre pour cela.

Le sujet comporte 5 parties indépendantes présentées sur 22 pages, y compris celle-ci. Il est souhaitable qu'un futur lauréat du concours général montre sa maîtrise dans les différents domaines de la chimie et de la physique. Il lui est donc fortement conseillé d'aborder toutes les parties.

Thème général : La betterave sucrière

La betterave sucrière, du nom scientifique *Beta vulgaris*, est la première culture industrielle en France, avec plus de 400 000 ha cultivés, soit 2,5% des terres arables.

La betterave sucrière cultivée est une plante bisannuelle à la racine, de couleur blanche et bien enterrée. Pour les plantes bisannuelles, la racine joue un rôle essentiel. C'est à l'automne de la première année, lorsque la racine arrive à maturité et que le sucre s'y est accumulé, qu'elle est récoltée.



Les principales variétés de betterave ont été décrites dès le Moyen Âge. En 1747, Andreas Sigismund Marggraf, un pharmacien et chimiste Allemand démontre que les cristaux de sucre présents dans la betterave sont les mêmes que dans la canne à sucre. Napoléon 1er encourage les recherches pour que la production de sucre ne reste pas dépendante de la canne à sucre cultivée aux Antilles. En 1811, le chimiste français Jean-Baptiste Quéruel réalise la première extraction industrielle de sucre. Depuis 1875, la France est le premier producteur mondial de betterave à sucre. Aujourd'hui, la betterave sucrière est utilisée pour la production de sucre, de sirop de betterave, et secondairement d'alcool et d'éthanol-carburant.

L'année 2021 était l'année de la chimie et de l'agriculture durable. Les professionnels du secteur essaient de tendre vers une agriculture raisonnée plus respectueuse des sols, de l'eau, de l'air ainsi que de la biodiversité en développant l'innovation technologique.



Ce sujet sera l'occasion de comprendre l'importance de la culture de la betterave dans l'obtention du sucre ainsi que de voir comment les progrès scientifiques permettent de rationaliser les apports en engrais.

Source : <https://www.cultures-sucre.com/> ; <https://www.semencemag.fr/> ; <https://fr.wikipedia.org/>

A. L'obtention du sucre à partir de betteraves	4
A.1 Étude du procédé -----	4
A.1.1 Étude du diffuseur -----	5
A.1.2 Étude de l'évaporateur -----	6
A.2 Utilisation du sucre de la betterave -----	7
Étude de la cinétique de l'hydrolyse du saccharose -----	7
B. Le drone au service de l'agriculture	10
B.1 Étude simplifiée de la caméra -----	11
B.2 Une utilisation d'engrais raisonnée -----	13
B.2.1 Étude du capteur RVB et de la photo obtenue -----	14
B.2.2 Exploitation du NDVI -----	14
B.2.3 L'apport d'engrais -----	16
B.3 Le mouvement du drone -----	18
B.3.1 Décollage du drone -----	18
B.3.2 Autonomie de la batterie -----	19
B.3.3 Chute contrôlée du drone -----	19

A. L'obtention du sucre à partir de betteraves

A.1 Étude du procédé

Les cinq étapes principales d'extraction du sucre de la betterave sont les suivantes :

1. Transformation des betteraves

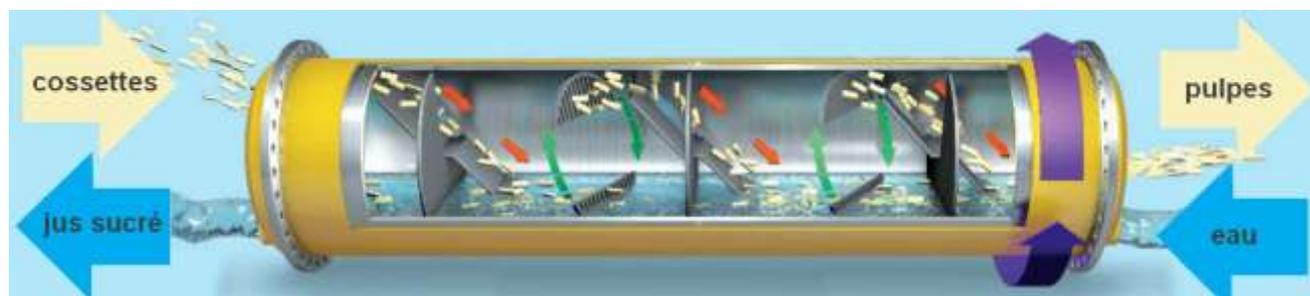
Elles sont lavées par un jet d'eau afin d'éliminer les impuretés (terre, pierres, débris, végétaux...). Sorties du lavoir, elles sont découpées en fines lamelles appelées « cossettes », forme optimale pour une bonne extraction du sucre dans l'eau. A ce stade, les betteraves contiennent, en masse, 20 % de sucre et 5 % de fibres.

Source : La Marne viticole



2. Diffusion

La forme particulière des cossettes permet une bonne extraction du sucre dans l'eau par une technique dite de diffusion en continu. Ces dernières sont acheminées dans un long cylindre rotatif appelé diffuseur où elles circulent à contre-courant d'un courant d'eau chaude à 70 °C. Les cossettes fraîches et l'eau pénètrent par des extrémités opposées. Le sucre est alors libéré dans l'eau pour obtenir un jus sucré appelé jus brut ayant une teneur d'environ 14 % en sucre qui sort en tête du diffuseur. Les cossettes « épuisées » de leur sucre sortent du côté opposé sous forme de pulpes utilisées pour l'alimentation animale.



D'après : Cultures Sucre

3. Épuration

Le jus brut contient des impuretés que l'on retire en ajoutant du lait de chaux et du dioxyde de carbone. Par filtration, on élimine les impuretés et le carbonate de calcium formé. On obtient alors un jus sucré clair qui contient 14 % de sucre.

4. Évaporation

Le jus clair est concentré par évaporation jusqu'à obtenir un sirop dont la teneur en sucre est environ égale à 70 %. Préchauffé à 80 °C puis porté à ébullition, le jus traverse un évaporateur à multiples effets (plusieurs évaporateurs successifs) dans lesquels la pression est abaissée afin de réduire le point d'ébullition du jus concentré. La température plus basse permet d'éviter la cuisson du sucre.

5. Cristallisation, séchage et stockage

Le sirop achève sa concentration dans un cristalliseur puis il est séché et refroidi. Il est ensuite tamisé, classé et pesé, puis dirigé vers l'atelier d'ensachage ou vers de vastes silos où il est conservé en vrac.

Dans cette partie où nous étudions le procédé d'extraction du sucre, nous nous concentrons sur deux des cinq étapes principales, afin de déterminer la teneur en sucre obtenue dans le jus avant cristallisation et séchage.

Les parties A.1.1 et A.1.2 sont indépendantes et tous les pourcentages indiqués pour les compositions correspondent à des fractions massiques.

A.1.1 Étude du diffuseur

Le schéma de principe du diffuseur est donné ci-dessous :



Le débit massique d'alimentation en cossettes $Q_{\text{cossettes}}$ est de $2,5 \cdot 10^5 \text{ kg} \cdot \text{h}^{-1}$. Une analyse des cossettes montre qu'elles contiennent à l'entrée du diffuseur 20 % de sucre et 5 % de fibres, le reste étant de l'eau.

Le débit volumique d'alimentation en eau du diffuseur est de $180 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$.

On récupère en sortie un jus sucré contenant 14 % en sucre. On admet qu'aucune matière sèche ne passe dans le jus sucré.

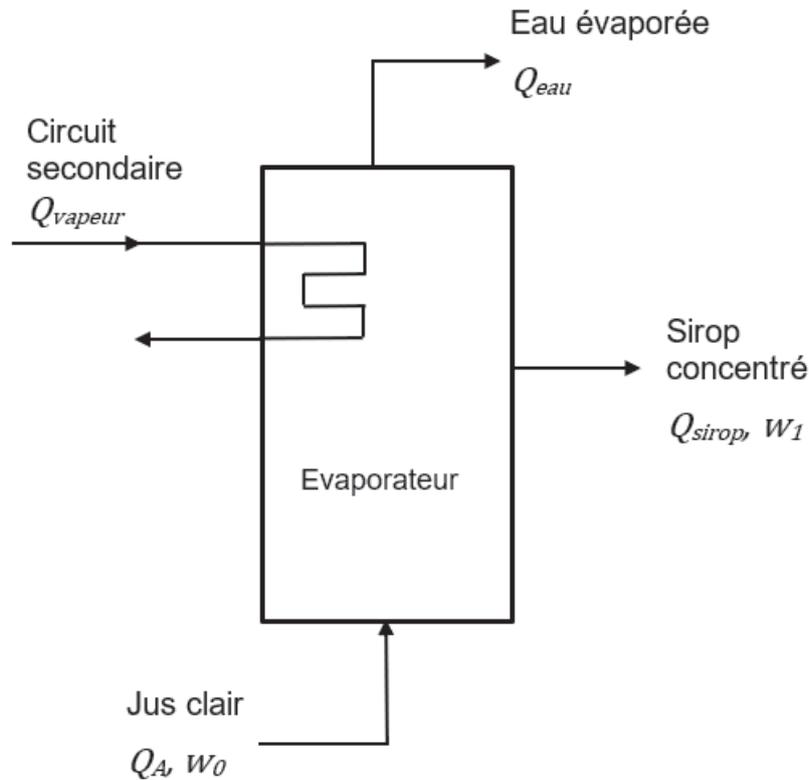
Le débit massique de cossettes épurées (pulpes) Q_{pulpes} est égal à $1,0 \cdot 10^5 \text{ kg} \cdot \text{h}^{-1}$.

Donnée : masse volumique de l'eau à 70 °C : $978 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$.

1. Déterminer le débit massique d'eau Q_{eau} .
2. À l'aide d'un bilan de matière global, déterminer le débit massique de jus sucré $Q_{\text{jus,sucre}}$ en sortie du diffuseur.
3. À partir des débits massiques et des pourcentages en sucre annoncés, déterminer les débits massiques de sucre présent dans les cossettes à l'entrée $Q_{\text{sucre_cossettes}}$ et dans le jus sucré à la sortie $Q_{\text{sucre_jus}}$. Commenter la phrase « *Les cossettes « épuisées » de leur sucre sortent du côté opposé* » écrite à l'étape 2 du procédé.
4. Le rendement de l'extraction en sucre se définit comme le rapport du débit massique de sucre contenu dans le jus sucré sur le débit massique de sucre présent à l'entrée du diffuseur. Déterminer ce rendement et commenter le résultat.
5. Indiquer l'intérêt de faire circuler à contre-courant les cossettes et l'eau pure dans le diffuseur.

A.1.2 Étude de l'évaporateur

Le jus clair contient encore 86 % d'eau. Afin de concentrer ce jus en sucre pour obtenir un sirop proche de la saturation, on fait passer la solution sucrée dans un évaporateur dit à « multiples effets » (succession de plusieurs évaporateurs). Par souci de simplification, on ne travaille que sur le premier évaporateur qui lui est mis sous pression. Le schéma de principe du premier évaporateur est donné ci-dessous :



Préchauffé à 80 °C, le jus clair arrive avec un débit d'alimentation massique Q_A égal à $3,3 \cdot 10^5 \text{ kg} \cdot \text{h}^{-1}$ et une fraction massique w_0 de 14 % en sucre. Une partie de l'eau est évaporée et ressort en haut avec un débit massique Q_{eau} tandis que le sirop concentré sort de l'évaporateur avec un débit massique Q_{sirop} et une fraction massique en sucre w_1 . À l'intérieur de l'évaporateur mis sous pression, le jus sucré est à une température d'ébullition de 120 °C.

Afin de procéder à cette élimination de l'eau, on utilise de la vapeur d'eau présente dans un circuit secondaire qui circule avec un débit massique Q_{vapeur} de $1,6 \cdot 10^5 \text{ kg} \cdot \text{h}^{-1}$ et une température de 125 °C. En sortie, la vapeur d'eau s'est entièrement condensée.

Données

- Capacité thermique massique de la solution aqueuse de sucre :
 $c_p = 4,0 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{C}^{-1}$
 - Expression de l'enthalpie massique de vaporisation $L_v(T)$ de l'eau :
 $L_v(T) = 2535 - 2,9 \times T$ avec T en °C et $L_v(T)$ en $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$
6. Expliquer pourquoi le processus d'évaporation permet d'augmenter la concentration en sucre dans le jus.
 7. Déterminer la valeur de la puissance thermique P_I nécessaire pour augmenter la température du jus sucré à 120 °C.

8. Déterminer l'expression littérale de la puissance thermique P_2 nécessaire pour évaporer l'eau en fonction du débit massique Q_{eau} et de l'enthalpie massique de vaporisation de l'eau $L_v(T)$.
9. Déterminer la valeur de la puissance thermique P_3 libérée par la condensation de la totalité de la vapeur dans le circuit secondaire.
10. Déterminer la valeur du débit massique d'eau évaporée, en supposant que l'échangeur est très bien isolé et qu'il n'y a pas de perte d'énergie.

En réalité il y a des pertes d'énergie et le débit d'eau évaporée est égale à $1,2 \cdot 10^5 \text{ kg} \cdot \text{h}^{-1}$.

11. En précisant les étapes de votre démarche, déterminer la fraction massique w_1 du sirop concentré en sortie de l'évaporateur. Conclure.

A.2 Utilisation du sucre de la betterave

Le sucre est produit par photosynthèse sur un certain nombre de plantes saccharifères : canne à sucre et betteraves ; mais aussi sève de l'érable à sucre, dattes, ananas et bien d'autres plantes.

Le sucre, ou saccharose est un diholoside constitué d'une molécule de glucose et d'une molécule de fructose reliées par une liaison osidique. Son nom officiel est le D-glucopyranosyl-D-fructofuranose.

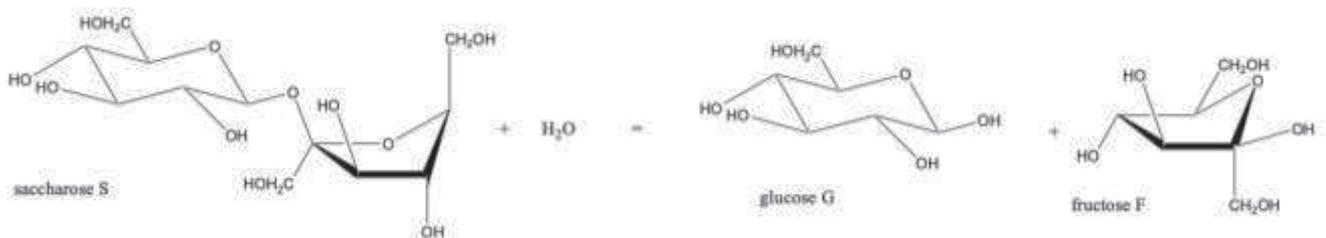
À l'état solide, c'est-à-dire cristallisé, le sucre, ou saccharose, est un corps sans couleur ni odeur qui possède une saveur sucrée. Le sucre en morceaux est classé par calibre : "domino numéro 4" indiquera que la boîte (1 kg) comporte 4 rangées, un morceau de sucre de "calibre 4" pèse environ 6 grammes (correspondant à 24 kcal).

En présence d'eau ainsi qu'à température modérée, soit $37 \text{ }^\circ\text{C}$, le saccharose, par l'effet de l'enzyme invertase, s'hydrolyse en glucose et en fructose, ce qui permet son assimilation par l'organisme. Le mélange produit par l'hydrolyse est un mélange équimolaire de glucose et de fructose, nommé sucre inverti.

Étude de la cinétique de l'hydrolyse du saccharose

On peut modéliser l'hydrolyse chimique et enzymatique du saccharose qui se produit dans l'estomac par une hydrolyse chimique. Grâce à une étude cinétique de la transformation d'hydrolyse chimique du saccharose, nous allons estimer le temps au bout duquel la moitié d'un morceau de sucre est hydrolysé en glucose et peut donc être assimilé par l'organisme humain.

La transformation étudiée est l'hydrolyse chimique du saccharose symbolisée par :



La transformation chimique est totale, lente et peut être catalysée par un acide fort. En considérant le pH du milieu réactionnel constant, la loi de vitesse v de cette réaction peut alors prendre la forme simplifiée suivante :

$$v = -\frac{d[S]}{dt} = k_{app}[S]^a$$

avec

- $[S]$, la concentration en saccharose en $\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$;
- a , l'ordre partiel par rapport au saccharose ;
- k_{app} , la constante apparente de vitesse.

Le saccharose, le glucose et le fructose sont des molécules chirales, donc optiquement actives. On peut donc suivre l'avancement de la transformation en fonction du temps grâce à un polarimètre en mesurant le pouvoir rotatoire α de la solution.

En effet, la loi de Biot permet de relier le pouvoir rotatoire de la solution aux concentrations en masse, en saccharose, glucose et fructose. On rappelle que la loi de Biot est additive, c'est-à-dire que si la solution renferme trois substances ayant chacune un effet sur la lumière polarisée, le pouvoir rotatoire total sera :

$$\alpha = \alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 = [\alpha]_1 \cdot l \cdot C_1 + [\alpha]_2 \cdot l \cdot C_2 + [\alpha]_3 \cdot l \cdot C_3$$

avec :

α le pouvoir rotatoire de la solution en degré $^\circ$;

$[\alpha]$ le pouvoir rotatoire spécifique à 20°C de l'espèce chimique considérée en $^\circ\cdot\text{mL}\cdot\text{dm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$;

l la longueur de la cuve en dm ;

C la concentration en masse de l'espèce considérée en $\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$.

Notations et données utiles :

	Saccharose S	Glucose G	Fructose F
Formule brute	$\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$	$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$	$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$
Masse molaire moléculaire	$M_S = 342 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$	$M_G = 180 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$	$M_F = 180 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$
Concentration en quantité de matière à un instant t	$[S]$	$[G]$	$[F]$
Concentration en masse à un instant t	C_S	C_G	C_F
Pouvoir rotatoire spécifique à 20°C et à $\lambda = 589,3 \text{ nm}$	$[\alpha]_S = 66^\circ\cdot\text{mL}\cdot\text{dm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$	$[\alpha]_G = 52^\circ\cdot\text{mL}\cdot\text{dm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$	$[\alpha]_F = -92^\circ\cdot\text{mL}\cdot\text{dm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$

Mode opératoire :

Dans un bécher, on introduit 20,0 mL d'une solution de saccharose à la concentration en masse de $0,40 \text{ g}\cdot\text{mL}^{-1}$. A l'instant $t = 0$, on ajoute 20,0 mL d'acide sulfurique à $3,5 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ et on déclenche le chronomètre. On agite suffisamment puis on suit l'évolution du pouvoir rotatoire de cette solution, dans une cuve de 20 cm de long, toutes les minutes pendant 30 minutes.

Modélisation de la réaction d'hydrolyse – lien entre le pouvoir rotatoire de la solution et la concentration en saccharose.

12. Déterminer le pouvoir rotatoire initial α_0 de la solution réalisée à $t=0$ (juste après l'ajout d'acide sulfurique mais juste avant le début de l'hydrolyse).
13. Déterminer la concentration en quantité de matière de saccharose initiale $[S]_0$ de la solution réalisée.
14. Proposer un tableau d'avancement complet sachant que la transformation d'hydrolyse chimique du saccharose est totale.
15. Déterminer la composition de la solution réalisée après un temps infini.
16. Déterminer la valeur du pouvoir rotatoire attendu pour la solution après un temps infini, noté α_∞ .
17. Exprimer littéralement le pouvoir rotatoire α à un instant t , de la solution réalisée, en fonction des concentrations en masse de S, G et F à l'instant t , puis en fonction des concentrations en quantité de matière de S, G et F.

Cette expression peut se simplifier en utilisant les expressions de α_0 et de α_∞ . **On obtient alors la relation permettant de calculer la concentration en quantité de matière de saccharose $[S]$ à tout instant t :**

$$[S] = \frac{\alpha - \alpha_\infty}{\alpha_0 - \alpha_\infty} [S]_0$$

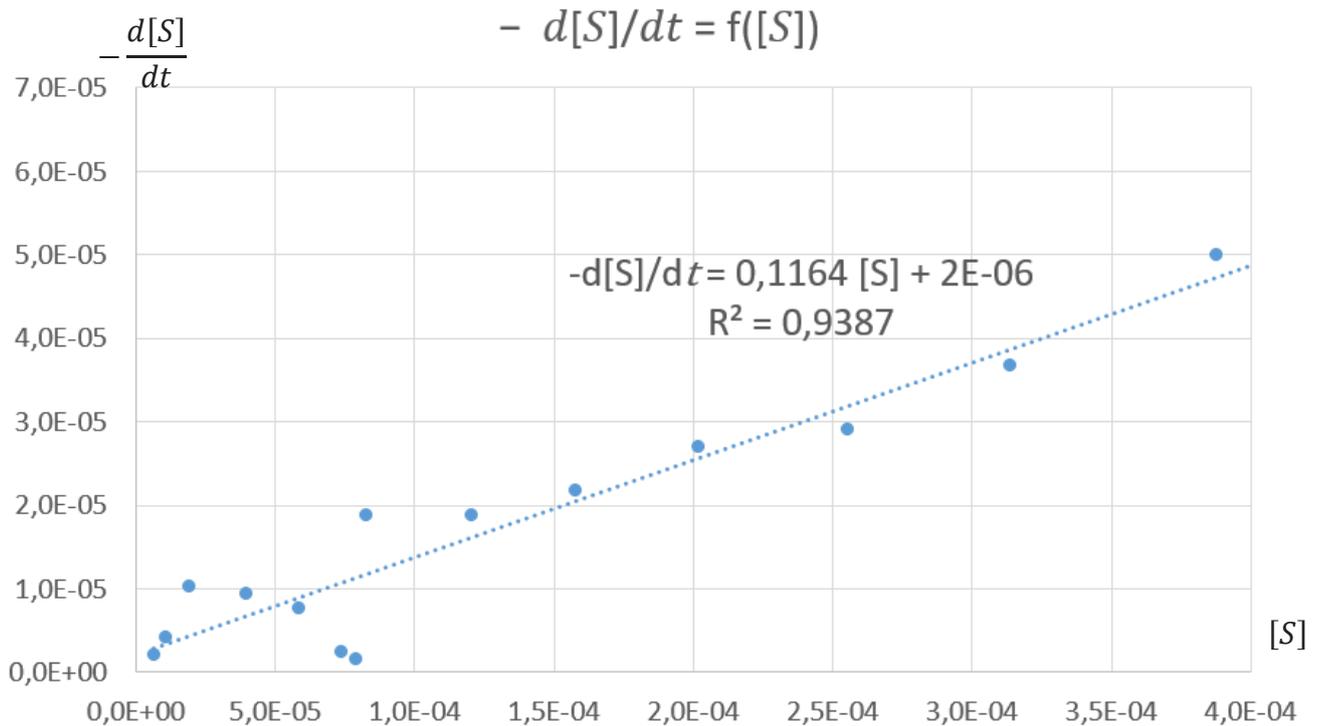
Le suivi cinétique de la solution étudiée ci-dessus a été réalisé expérimentalement et les résultats ont été saisis dans un tableur reproduit ci-dessous :

	A	B	C	D
1	Temps (min)	α	[S]	Dérivée : $-\frac{d[S]}{dt}$
2	3	19,85	4,88E-04	
3	5	14	3,87E-04	5,01E-05
4	7	9,7	3,14E-04	3,69E-05
5	9	6,3	2,55E-04	2,91E-05
6	11	3,15	2,01E-04	2,70E-05
7	13	0,6	1,58E-04	2,19E-05
8	15	-1,6	1,20E-04	1,89E-05
9	17	-3,8	8,23E-05	1,89E-05
10	19	-4	7,89E-05	1,71E-06
11	21	-4,3	7,37E-05	2,57E-06
12	23	-5,2	5,83E-05	7,71E-06
13	25	-6,3	3,94E-05	9,43E-06
14	27	-7,5	1,89E-05	1,03E-05
15	29	-8	1,03E-05	4,29E-06
16	31	-8,25	6,00E-06	2,14E-06

Résultats du suivi cinétique avec le pouvoir rotatoire α en $^\circ$, le temps en minute et la concentration en mol·L⁻¹

18. À partir de l'expression de la concentration en quantité de matière de saccharose $[S]$ obtenu précédemment, déterminer l'application numérique de la fonction à saisir dans la cellule C6 en utilisant la référence de la cellule B6.

Afin de définir l'ordre α et la constante k_{app} de la loi de vitesse de l'hydrolyse du saccharose, la courbe $-\frac{d[S]}{dt} = f([S])$ est représentée et sa régression linéaire est calculée par le logiciel de traitement.



19. Exprimer la formule saisie dans la cellule D7 afin de calculer $-\frac{d[S]}{dt}$ en utilisant les références des cellules exploitées.
20. Déterminer la valeur de l'ordre de la réaction α ainsi que celle de la constante de vitesse k_{app} .
21. Définir le temps de demi-réaction d'une réaction et déterminer sa valeur pour la réaction modélisant l'hydrolyse du saccharose.
22. Estimer le temps au bout duquel la moitié d'un morceau de sucre sera hydrolysé en glucose et pourra donc être assimilé par l'organisme.

B. Le drone au service de l'agriculture

Les drones sont de plus en plus utilisés dans de nombreux domaines de la vie quotidienne notamment en agriculture, comme pour la surveillance de certains sites.

En survolant une exploitation agricole, le drone apporte de nombreuses données pour l'agriculteur et lui permet d'adapter au mieux les apports en arrosage, en engrais ou en produits phytosanitaires.

Le drone étudié est le drone DJI Phantom 4 Multispectral présenté ci-dessous :



La gamme Phantom est historique chez DJI. Depuis la sortie du premier Mavic Pro, les Phantom sont montés en gamme et incarnent désormais des machines compactes à vocation professionnelle (audiovisuel, photogrammétrie, relevés agricoles, etc).

L'implémentation d'une technique de positionnement ultra précise basée à la fois sur l'utilisation de satellites et d'un référentiel terrestre, a redonné un coup de fouet à cette gamme (jusqu'alors uniquement tournée vers l'audiovisuel). Le DJI Phantom 4 permet donc de réaliser des travaux de photogrammétrie, modélisation et topographie grâce à un géotaggage ultra précis des clichés.

Une version "multispectral" adopte une caméra disposant de 6 capteurs afin d'effectuer des relevés multispectraux, notamment dans l'agriculture de précision, afin de connaître précisément l'état de santé des plantations.

D'après <https://www.abot.fr>

Les parties B.1, B.2 et B.3 sont indépendantes.

Les spécifications techniques du drone sont placées en annexe 1 « Caractéristiques techniques du drone P4 Multispectral » car elles sont utilisées dans plusieurs parties.

B.1 Étude simplifiée de la caméra

Le drone DJI Phantom 4 Multispectral embarque à l'aide d'une nacelle un système composé de 6 caméras : une caméra RVB et cinq caméras monochromatiques, dont une proche des infrarouges. Un logiciel de traitement d'image permet ensuite la reconstitution de la cartographie globale de l'exploitation agricole survolée.

La suite du sujet propose une étude simplifiée de ce système.

Données utiles :

- 6 capteurs CMOS
- 2,08 Mpx (1600 × 1300)
- Dimensions du capteur : 4,86 mm × 3,95 mm
- Distance focale $f' = 5,74$ mm



Source : <https://www.dji.com/fr/p4-multispectral/specs>

La caméra est située sous le drone qui se déplace à une altitude moyenne $h = 180$ m.

En optique, on modélise la caméra par :

- Un diaphragme
- Un objectif constitué d'une lentille mince convergente de distance focale f' , fixe pour toute la durée du vol.
- Un capteur photosensible sur lequel se forme l'image de l'objet.

23. Préciser le rôle du diaphragme.

24. Justifier que l'on peut considérer que l'image de la parcelle se forme dans le plan focal image de l'objectif.

25. Faire un schéma, sans souci d'échelle, faisant figurer la parcelle, le diaphragme, la lentille convergente, le centre optique (O) et les foyers de la lentille ainsi que le capteur CMOS.

On rappelle que le grandissement γ d'une lentille mince convergente est défini par la formule suivante :

$$\gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}}$$

Avec \overline{AB} l'objet étudié, $\overline{A'B'}$ l'image de l'objet, \overline{OA} distance entre la lentille et l'objet, $\overline{OA'}$ distance entre la lentille et l'image. Toutes ces distances sont algébriques et doivent être exprimées dans la même unité.

26. Déterminer les dimensions de la parcelle qui peut être photographiée lors d'une prise de vue à une hauteur $h = 180$ m. On considère que l'image obtenue se forme sur toute la surface du capteur.
27. Justifier la formule de la « *résolution au sol (GSD)* » donnée dans les spécifications techniques du drone (Annexe 1) en supposant que *GSD* est la taille d'un objet AB dont l'image $A'B'$ se forme sur un pixel.
28. En supposant que la durée d'un vol à vitesse maximale est d'environ 27 min et que la fréquence maximale de prise de vue est d'une image toutes les 4 secondes, déterminer la surface totale d'un champ qui pourrait être photographiée si les images sont mises côté à côté sans recouvrement.
29. Comparer à la surface de travail maximale donnée dans les spécifications techniques du drone (Annexe 1). Interpréter.

B.2 Une utilisation d'engrais raisonnée

La fertilisation azotée peut être maîtrisée et contrôlée à l'aide du survol des parcelles agricoles par les drones.

« La bonne dose, au bon endroit, au bon moment », tel est le dicton aujourd'hui rattaché à l'agriculture de précision. L'azote, élément essentiel au développement des plantes est l'un des intrants apporté chaque année par les agriculteurs en complément de sa présence naturelle dans le sol et l'atmosphère. Piloter la fertilisation azotée revient à optimiser le processus d'apport. Le logiciel Exo.expert + qui exploite les photographies du drone est un outil d'aide à la décision en générant une carte de préconisation d'apport en azote.

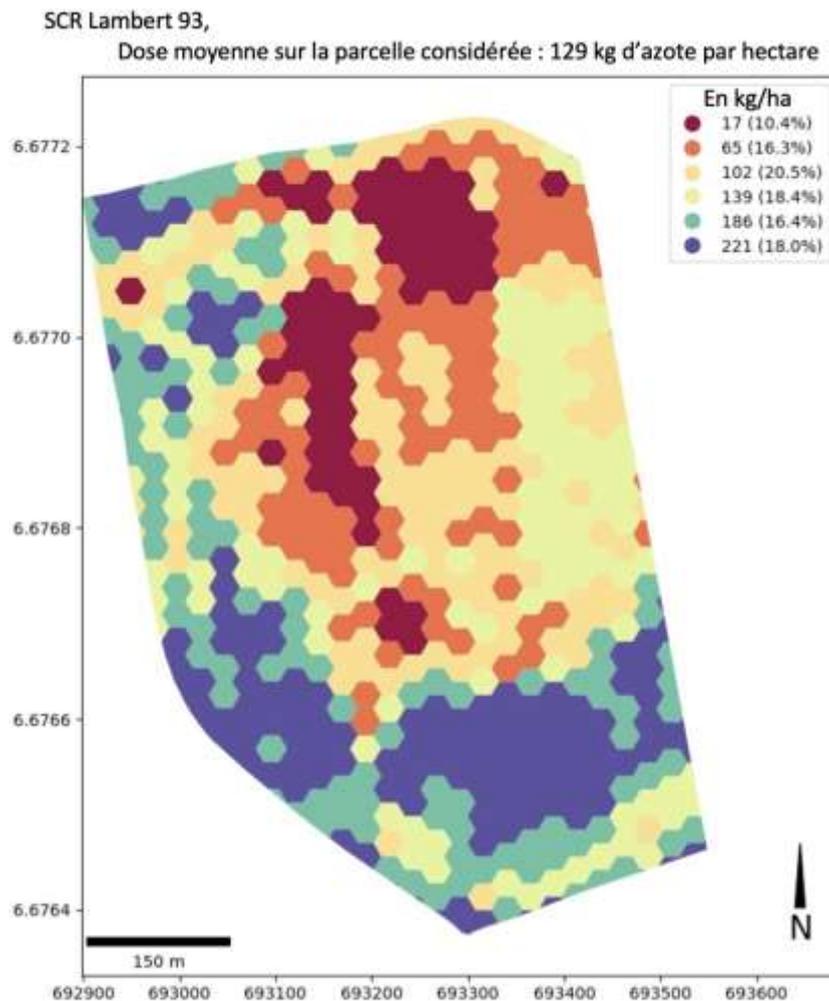


Figure 1 : carte de préconisation d'apport en azote d'une parcelle agricole

1 ha = 10 000 m²

Source : <https://www.abot.fr/>

B.2.1 Étude du capteur RVB et de la photo obtenue

Les images en couleurs du drone sont collectées grâce au capteur RVB dans le domaine visible. La photographie ci-dessous est celle d'un champ de betteraves prise par le drone.



Sources : <https://www.phytodrone.fr/fr/prestations/>

30. Donner la signification de l'acronyme RVB.

Les feuilles de betterave sont éclairées par la lumière blanche du soleil. Le modèle des synthèses additive et soustractive est rappelé en annexe 2.

31. Préciser les couleurs absorbées et transmises par les feuilles de betteraves.

Dans le codage RVB « 24 bits », chaque couleur primaire est codée sur un octet, soit 8 bits.

32. Déterminer le nombre de nuances de couleurs possible avec un codage « 24 bits ».

33. Donner la signification du triplet (69 ; 38 ; 0).

34. Relier les valeurs numériques des deux triplets au caractère plutôt clair ou plutôt foncé des pixels étudiés. Justifier.

35. Conclure quant à la possibilité de quantifier la quantité de végétation dans une zone analysée grâce au caractère clair ou foncé du pixel.

B.2.2 Exploitation du NDVI

Les photos du drone dans le domaine du visible sont difficilement exploitables pour définir la vigueur et la quantité de la végétation d'une parcelle. Pour établir la carte de préconisation d'azote, le logiciel calcule alors le NDVI (Normalized Difference Vegetation Index).

NDVI is calculated in accordance with the formula:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$$

NIR – reflection in the near-infrared spectrum

RED – reflection in the red range of the spectrum.

The index defines values from -1.0 to 1.0, basically representing greens, where negative values are mainly formed from clouds, water and snow, and values close to zero are primarily formed from rocks and bare soil. Very small values (0.1 or less) of the NDVI function correspond to empty areas of rocks, sand or snow. Moderate values (from 0.2 to 0.3) represent shrubs and meadows, while large values (from 0.6 to 0.8) indicate temperate and tropical forests. Crop monitoring successfully utilizes this scale to show farmers which parts of their fields have dense, moderate, or sparse vegetation at any given moment.

Put simply, NDVI is a measure of the state of plant health based on how the plant reflects light at certain frequencies (some waves are absorbed and others are reflected). Chlorophyll (a health indicator) strongly absorbs visible light, and the cellular structure of the leaves strongly reflect near-infrared light. When the plant becomes dehydrated, sick, afflicted with disease, etc., the spongy layer deteriorates, and the plant absorbs more of the near-infrared light, rather than reflecting it. Thus, observing how NIR changes compared to red light provides an accurate indication of the presence of chlorophyll, which correlates with plant health.

Source : <https://eos.com/make-an-analysis/ndvi/>

Sur la photo ci-dessous, à gauche une feuille de betterave sucrière ne présentant aucune carence, tandis qu'à droite la feuille présente une carence notable en azote.



Source : <https://www.deleplanque.fr/>

36. Identifier le(s) domaine(s) de travail des capteurs de la caméra mis en jeu dans la réalisation de la carte de préconisation azotée donnée figure 1.
37. À partir de ces deux feuilles de betterave sucrière, établir un schéma récapitulatif des rayons reçus et reflétés par les feuilles, suivant qu'elles présentent ou non des carences.
38. En déduire si le NDVI sera supérieur ou inférieur pour la feuille carencée par rapport à la feuille en bon développement.

B.2.3 L'apport d'engrais

Grâce à la carte de préconisation d'apport en azote éditée par le logiciel Exo.expert + à partir des photographies du drone, l'agriculteur peut connaître zone par zone, ou en moyenne, la quantité d'azote à épandre sur la parcelle.

39. En utilisation la carte de préconisation azotée donnée figure 1, relever la dose moyenne d'apport en azote que devrait apporter l'agriculteur.

L'engrais couramment utilisé par les agriculteurs est l'ammonitrate. Cet engrais permet de pallier le manque d'ions nitrate $\text{NO}_3^-(\text{aq})$ (aussi appelé azote nitrique) et d'ions ammonium $\text{NH}_4^+(\text{aq})$ (azote ammoniacal) dans le sol. Cette partie aura pour objectif de déterminer expérimentalement le pourcentage d'azote nitrique d'un engrais azoté et le comparer à l'étiquette ci-dessous. On pourra finalement conclure précisément sur la quantité d'engrais à épandre dans la parcelle observée.



Étiquette d'un sac d'ammonitrate

L'ammonitrate se présente sous forme de granulés dans ces sacs achetés par les agriculteurs.

Mode opératoire du dosage des ions nitrate :

- Préparation de la solution à titrer, réduction des ions nitrate $\text{NO}_3^-(\text{aq})$:

On pèse à 0,01 g près $m_{\text{engrais}} = 1,20$ g d'engrais. Après avoir broyés les granulés à l'aide d'un mortier, on introduit la poudre dans une fiole jaugée de 250 mL que l'on complète avec de l'eau distillée. On obtient la solution S_0 .

On pèse avec précision $m_{\text{sel de Mohr}} = 7,85$ g de sel de Mohr de formule $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2,6\text{H}_2\text{O}$ que l'on dissout ensuite dans une fiole jaugée de 100 mL en ajoutant de l'eau distillée acidifiée par de l'acide sulfurique. On obtient la solution S_1 contenant des ions fer(II).

L'équation simplifiée de la réaction modélisant la dissolution du sel de Mohr dans l'eau est la suivante : $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2,6\text{H}_2\text{O}(\text{s}) \xrightarrow{\text{H}_2\text{O}} \text{Fe}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{SO}_4^{2-}(\text{aq}) + 2\text{NH}_4^+(\text{aq})$

Dans un erlenmeyer de 100 mL, on introduit :

- 20,0 mL de solution S_0
- 20,0 mL de solution S_1
- 10 mL d'acide sulfurique concentré

La transformation chimique étant lente, on porte à ébullition cette solution S pendant une quinzaine de minutes.

- Titration des ions fer(II) restant :

Une fois la solution S refroidie, on titre les ions $\text{Fe}^{2+}(\text{aq})$ restants par une solution de permanganate de potassium KMnO_4 à une concentration en quantité de matière de $(5,00 \pm 0,01) \cdot 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$. On procède à un premier titrage rapide puis à un deuxième titrage précis (à 0,05 mL près).

On obtient un volume équivalent V_E de 11,95 mL.

Données :

- Masses molaires atomiques : $M(\text{N}) = 14,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$; $M(\text{O}) = 16,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$.
- Masse molaire moléculaire du sel de Mohr : $392,13 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$.
- Couleur des ions en solution aqueuse :

Ions	$\text{MnO}_4^-(\text{aq})$	$\text{Mn}^{2+}(\text{aq})$	$\text{Fe}^{2+}(\text{aq})$	$\text{Fe}^{3+}(\text{aq})$
Couleur de la solution	violette	incolore	légèrement verte	légèrement orangée

40. Le titrage des ions nitrate dans l'engrais met en jeu deux réactions successives. Nommer ce type de titrage et expliquer pourquoi on ne peut pas titrer directement les ions nitrate par les ions permanganate.

Étude de la réduction des ions nitrate $\text{NO}_3^-(\text{aq})$:

41. Les couples d'oxydo-réduction mis en jeu lors de la transformation chimique prenant place dans l'erlenmeyer sont $\text{NO}_3^-(\text{aq}) / \text{NO}(\text{g})$ et $\text{Fe}^{3+}(\text{aq}) / \text{Fe}^{2+}(\text{aq})$. Écrire l'équation de la réaction modélisant la transformation chimique prenant place dans l'erlenmeyer.

42. Déterminer la quantité de matière d'ions Fe^{2+} dans la solution S1, puis la quantité de matière d'ions Fe^{2+} initiale dans la solution S, notée $n_{\text{Fe}^{2+} \text{ initial}}$.
43. La transformation modélisée par la réaction entre les ions nitrate et les ions Fe^{2+} étant totale, établir la relation entre la quantité de matière d'ions Fe^{2+} initiale $n_{\text{Fe}^{2+} \text{ initial}}$, la quantité de matière d'ions Fe^{2+} restante $n_{\text{Fe}^{2+} \text{ restant}}$ et la quantité de matière d'ions nitrate $n_{\text{NO}_3^-}$ réellement contenue dans la solution S.

Dosage des ions fer (II) restant :

44. Écrire l'équation de la réaction support du titrage des ions fer (II) Fe^{2+} par les ions permanganate MnO_4^- . Le couple d'oxydo-réduction du permanganate étant $\text{MnO}_4^- (\text{aq})/\text{Mn}^{2+}(\text{aq})$.
45. Décrire le changement de couleur observé au moment de l'équivalence.
46. En exploitant la relation à l'équivalence entre les quantités de matière $n_{\text{MnO}_4^-}$ et $n_{\text{Fe}^{2+} \text{ restant}}$, montrer que la quantité de matière d'ions nitrate dans la prise d'essai s'exprime au final par la relation suivante et calculer sa valeur :

$$n_{\text{NO}_3^-} = \frac{1}{3} (n_{\text{Fe}^{2+} \text{ initial}} - 5n_{\text{MnO}_4^-})$$

47. En déduire le pourcentage massique d'ions nitrate dans les 1,2 g d'engrais, $\%_{m, \text{NO}_3^-}$. Conclure.

Finalement après avoir titré les ions nitrate $\text{NO}_3^-(\text{aq})$ (aussi appelé azote nitrique) et les ions ammonium $\text{NH}_4^+(\text{aq})$ (azote ammoniacal) dans l'engrais azoté commercial, son pourcentage global d'azote est de 38%.

48. Ajuster s'il le faut la quantité d'engrais commercial à apporter par l'agriculteur à la parcelle considérée pour atteindre la dose moyenne d'apport en azote de cette parcelle.

B.3 Le mouvement du drone

Le drone DJI Phantom 4 Pro possède quatre moteurs identiques et une masse totale $m = 1\,487$ g. L'accélération de pesanteur est égale à $g = 9,81$ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$. Le mouvement du drone est étudié dans le référentiel terrestre supposé galiléen.

B.3.1 Décollage du drone

Lors de l'ascension, le drone s'élève verticalement avec une vitesse ascensionnelle constante $v_a = 6,0$ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ jusqu'à une altitude $h = 180$ m.

49. Déterminer la valeur du poids P du drone.
50. Déterminer la valeur minimale de la force ascensionnelle verticale F délivrée par chaque moteur afin que le drone puisse s'élever jusqu'à l'altitude souhaitée.
51. Déterminer la durée de la phase ascensionnelle.

B.3.2 Autonomie de la batterie



Caractéristiques drone DJI Phantom 4	
Batterie de vol	
Capacité	5 870 mAh
Tension	15,2 V
Type de batterie	LiPo 4S
Masse nette	468 g
Chargeur	
Tension	17,4 V
Puissance	100 W
Moteur	
Puissance maximale en vol	35 W
Masse	24 g

52. Donner la signification de l'acronyme LiPo.
53. Déterminer l'énergie maximale disponible dans la batterie de vol quand celle-ci est entièrement chargée.

La notice du drone précise que la collecte des données photographiques se fait « *pendant un vol qui vide la batterie de 100% à 30%* ».

54. Estimer la durée du vol si les quatre moteurs sont utilisés à puissance maximale. Conclure en vous appuyant sur les caractéristiques techniques du drone (Annexe 1).
55. Déterminer le temps nécessaire à la recharge complète de la batterie.

B.3.3 Chute contrôlée du drone

Dans le référentiel terrestre supposé galiléen, on modélise le drone par une sphère de diamètre égale à 40 cm, de masse m et on étudie le mouvement de son centre de masse O pendant la chute.

Lorsque la batterie est quasiment déchargée, le drone se met en mode stationnaire : sa vitesse dans le référentiel terrestre est nulle. Il réduit alors la puissance de ses moteurs afin de réaliser une chute verticale contrôlée pour revenir au sol.

On considère que les forces qui influent sur son mouvement, en plus de son poids, sont la force ascensionnelle verticale des 4 moteurs ayant pour valeur $F_{tot} = 12$ N et les frottements dans l'air modélisés par une force \vec{f} ayant pour expression :

$$\vec{f} = -k \times \vec{v}$$

où k est une constante positive égale à $k = 7,0 \times 10^{-5}$ kg·s⁻¹ et \vec{v} le vecteur vitesse du drone.

56. Donner une raison pouvant expliquer l'intérêt que peut avoir le drone à réduire la puissance de ses moteurs.
57. Représenter sur la copie, sans souci d'échelle, les forces qui s'exercent sur le drone.

58. En utilisant la deuxième loi de Newton montrer que l'équation différentielle modélisant la vitesse du drone au cours de sa chute peut s'écrire sous la forme :

$$\tau \cdot \frac{dv}{dt} + v = V$$

où la vitesse est exprimée en m.s^{-1} et le temps en s.

Exprimer V et τ en fonction de k , m , g et F_{tot} .

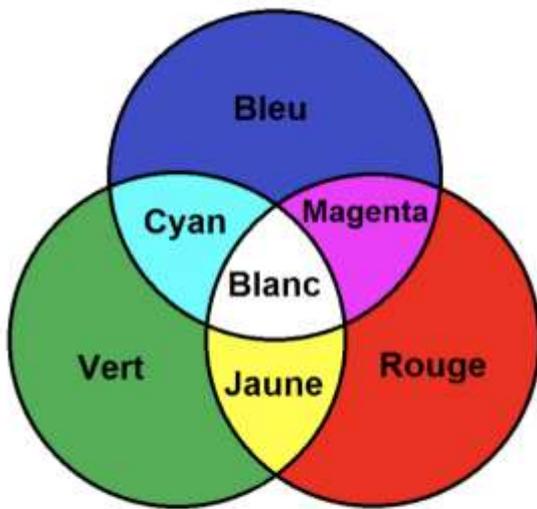
59. Expliquer ce que devient cette équation différentielle en régime permanent, et déterminer la valeur de la vitesse atteinte par le drone en régime permanent. Conclure.
60. Identifier et déterminer la valeur du temps caractéristique.
61. Conclure sur la validité du modèle choisi.
62. Préciser quel paramètre doit être modifié par le drone afin d'obtenir une descente stabilisée à vitesse constante.

Annexe 1 : Caractéristiques techniques du drone P4 Multispectral

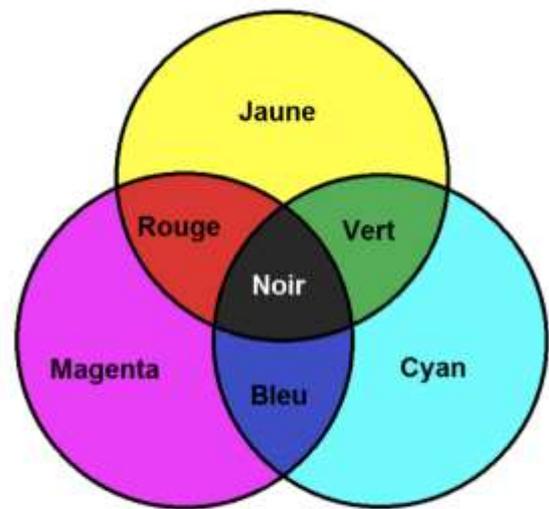
Appareil	
Masse au décollage	1 487 g
Diagonale (sans hélice)	350 mm
Plafond pratique max. au-dessus du niveau de la mer	6 000 m (19 685 pi)
Vitesse d'ascension max.	6 m/s (vol automatique) ; 5 m/s (commande manuelle)
Vitesse de descente max	3 m/s
Vitesse max.	50 km/h (31 mph) (mode P) ; 58 km/h (36 mph) (mode A)
Temps de vol max.	Environ 27 minutes
Fonctions de cartographie	
Résolution au sol (GSD)	(H/18,9) cm/pixel, H étant l'altitude de l'appareil par rapport à la zone cartographiée (unité : m)
Taux de collecte des données	La surface de travail maximale est d'environ 0,63 km ² pour un seul vol à 180 m d'altitude, soit une distance d'échantillonnage au sol d'environ 9,52 cm/pixel, avec un taux de superposition avant de 80% et un taux de superposition latérale de 60%, pendant un vol qui vide la batterie de 100% à 30%.
Caméra	
Capteurs	Six CMOS de 1/2,9 pouce, dont un capteur RGB pour l'imagerie en lumière visible et cinq capteurs monochromes pour l'imagerie multispectrale. Chaque capteur : pixels effectifs 2,08 MP (nombre total de pixels : 2,12 MP)
Filtres	bleu (B) : 450 nm ± 16 nm ; vert (G) : 560 nm ± 16 nm ; rouge (R) : 650 nm ± 16 nm ; red edge (RE) : 730 nm ± 16 nm ; infrarouge proche (NIR) : 840 nm ± 26 nm
Objectifs	FOV (champ de vision) : 62,7° Distance focale : 5,74 mm (équivalent au format 35 mm : 40 mm), mise au point automatique réglée sur ∞ Ouverture : f/2,2
Taille d'image maximale	1600x1300 (4:3.25)
Batterie de Vol Intelligente (PH4-5 870 mAh-15,2 V)	
Capacité	5 870 mAh
Tension	15,2 V
Type de batterie	LiPo 4S
Masse nette	468 g

Source : <https://www.dji.com/fr/p4-multispectral/specs>

Annexe 2 : synthèses additive et soustractive



Synthèse additive



Synthèse soustractive

Source : <https://www.methodephysique.fr/>