

SESSION 2017

Concours : **EXTERNE**
Section : **PHYSIQUE-CHIMIE**

EPREUVE ECRITE D'ADMISSIBILITE N°1

Culture Disciplinaire

(Coefficient : 2 – Durée : 5 heures)

Matériel(s) et documents(s) autorisé(s) : Calculatrice

L'usage des calculatrices de poche est autorisé, à condition qu'elles soient à fonctionnement autonome et qu'il ne soit pas fait usage d'imprimante.

Le sujet est constitué d'un problème, constitué de quatre parties A, B, C et D. Il comporte 20 pages y compris celle-ci.

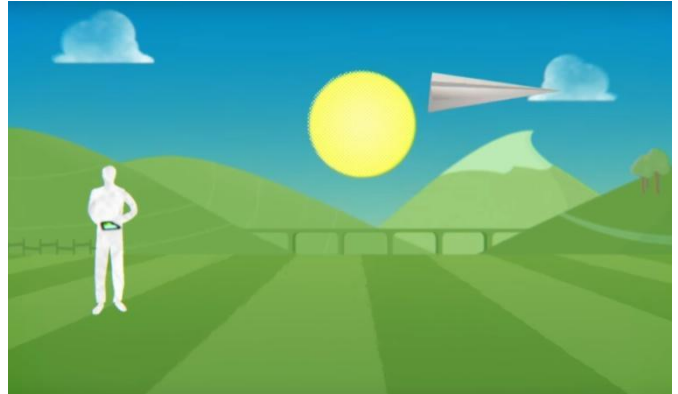
L'annexe de la partie 1-C, située en page 20, est à rendre avec la copie.

DES DRONES AU SERVICE DE L'AGRICULTURE

Les drones, alliant performance de la robotique à celle de la radiodétection, sont de plus en plus utilisés dans les différents domaines de la vie quotidienne et notamment en agriculture.

L'intérêt principal du drone est d'acquérir rapidement, de manière économique et non destructive des données pertinentes à l'échelle microparcellaire en survolant une exploitation.

Des conclusions peuvent alors être tirées sur les besoins spatiaux et temporels en arrosage, en engrais et en produits phytosanitaires, permettant ainsi d'adopter une agriculture plus adaptée aux besoins parcellaires.



D'après :

<http://www.airinov.fr/services/drone-agricole/>

Jusqu'alors, il n'était pas aisé pour les agriculteurs de connaître les demandes spécifiques en engrais de leurs cultures à l'échelle parcellaire et à chaque stade de croissance des végétaux. Il était donc difficile de répandre localement la dose juste d'engrais, ce qui pouvait occasionner des surcoûts et une saturation des sols en engrais.

Grâce au drone et à son environnement technologique, les agriculteurs ont désormais la possibilité de connaître les besoins et d'adapter la dose d'engrais à délivrer à chaque parcelle.

Les parties suivantes traitent de façon non exhaustive :

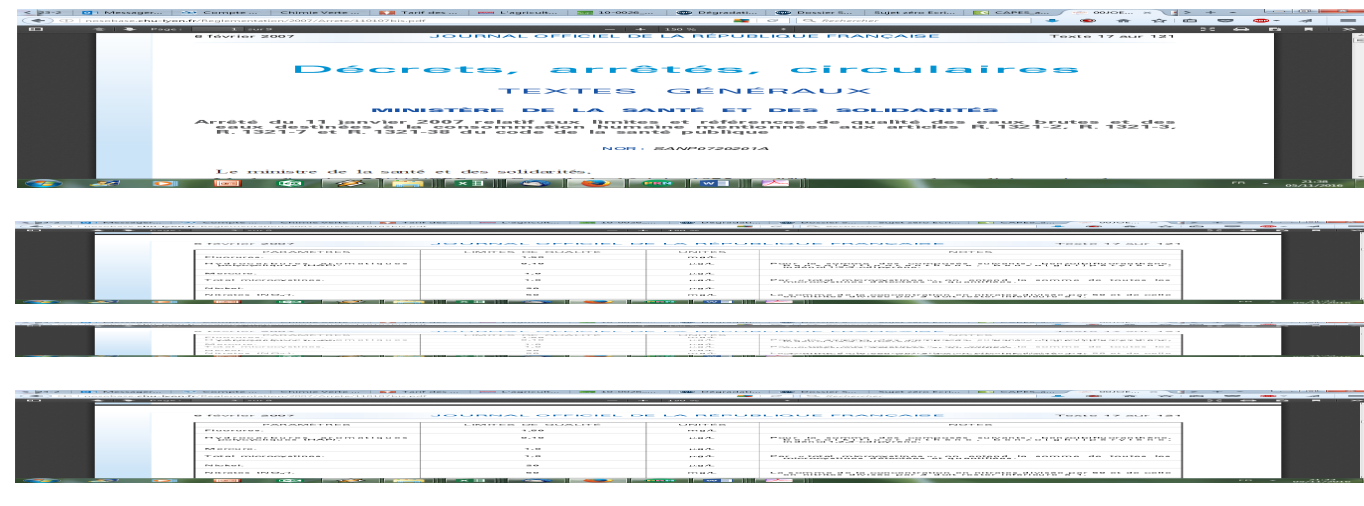
- I- Nécessité d'adopter une culture plus raisonnée en termes d'engrais**
- II- Modélisation de l'appareil photographique numérique embarqué sur le drone**
- III- Contrôle du vol du drone sur tablette, radioguidage et localisation GPS**
- IV- Analyse des couleurs des céréales en végétation**

I- Nécessité d'adopter une culture plus raisonnée en termes d'engrais

En France, la présence de nitrates dans les eaux continentales provient à 66 % de l'agriculture, entre autres due à l'épandage d'engrais azotés.

Document 1 : limites et références de qualité des eaux destinées à la consommation humaine

Art. 1^{er}. – Les limites et références de qualité des eaux destinées à la consommation humaine, à l'exclusion des eaux conditionnées, sont définies en annexe I du présent arrêté.



Document 2 : protocole expérimental de dosage des ions nitrate dans une eau

A – Dans un ballon de 150 mL muni d'un réfrigérant à eau et placé sous une hotte, introduire un volume $V_0 = 5,0$ mL d'une eau à analyser, une dizaine de copeaux de cuivre (200 mg environ) et 5 mL d'acide sulfurique concentré. L'ion nitrate est le réactif limitant. Chauffer à 80°C pendant une heure. Après refroidissement, filtrer le contenu du ballon et le transvaser dans un erlenmeyer maintenu dans un bain eau-glace. Verser, avec précaution, 25 mL environ d'une solution concentrée d'ammoniac. L'ammoniac est en excès. Transférer le mélange dans une fiole jaugée de 100,0 mL et compléter avec de l'eau distillée. On appelle S_{eau} la solution bleue obtenue.

B – Dans une fiole jaugée de 50,0 mL, dissoudre 250 mg de sulfate de cuivre (II) pentahydraté, $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}(\text{s})$, dans une solution d'ammoniac notée S' : on appelle S_0 cette solution.

À partir de la solution S_0 , préparer dans des fioles jaugées de 10,0 mL, trois solutions filles notées S_1 , S_2 , S_3 , dont les concentrations sont données dans le tableau ci-dessous.

S_i	S_0	S_1	S_2	S_3
$C_i (\text{mol} \cdot \text{L}^{-1})$	$2,0 \times 10^{-2}$	$1,5 \times 10^{-2}$	$1,0 \times 10^{-2}$	$5,0 \times 10^{-3}$

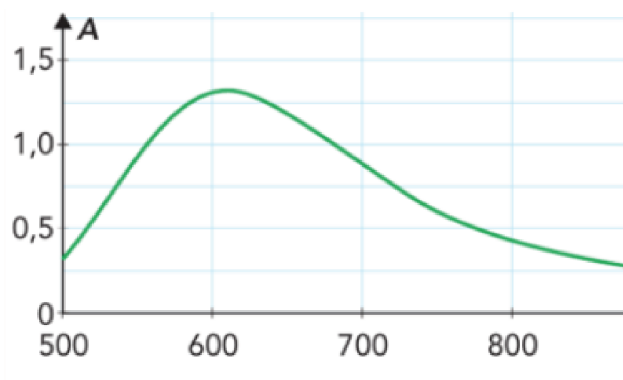
C – La mesure de l'absorbance des solutions S_0 , S_1 , S_2 et S_3 est réalisée à une longueur d'onde $\lambda_0 = 610$ nm. La courbe d'étalonnage est donnée en annexe, en fin de sujet.

D'après <http://www2.ac-lyon.fr/enseigne/physique/>

Document 3 : l'ion complexe tétramminecuivre (II)

Lorsque l'on verse une solution aqueuse d'ammoniac NH_3 , dans une solution aqueuse d'ions cuivre (II) Cu^{2+} , on observe que cette dernière prend une coloration bleue intense due à la formation d'un ion complexe de formule $\text{Cu}(\text{NH}_3)_4^{2+}$, appelé ion tétramminecuivre (II).

Spectre d'absorption d'une solution de complexe tétramminecuivre (II) de concentration $20 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$



Données et recommandations spécifiques à 25°C :

$$E_1^\circ (\text{NO}_3^-/\text{HNO}_2) = 0,94 \text{ V}$$

$$E_2^\circ (\text{HNO}_2/\text{NO}) = 0,99 \text{ V}$$

$$pK_a(\text{HNO}_2/\text{NO}_2^-) = 3,3$$

$$E_3^\circ (\text{NO}_3^-/\text{NO}) = 0,96 \text{ V}$$

$$\ln 10 \times RT/F = 0,06 \text{ V}$$

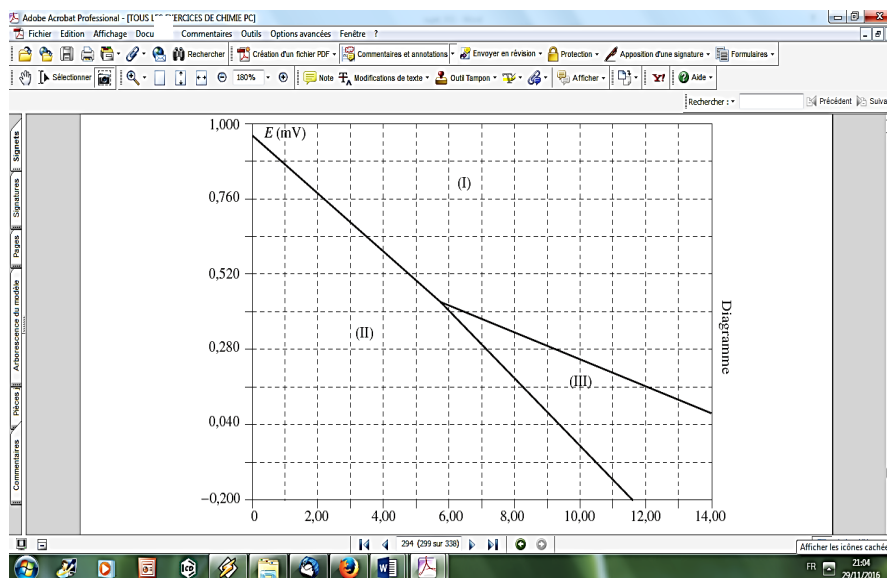
$$E^\circ (\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}) = 0,34 \text{ V}$$

- L'acide nitrique, acide fort en solution aqueuse, est totalement dissocié en ions nitrate et oxonium.
- La structure de l'ion nitrate ne comporte ni cycle ni liaisons oxygène-oxygène.
- Masses molaires atomiques ($\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$) : $M(\text{H}) = 1,0$; $M(\text{O}) = 16,0$; $M(\text{C}) = 12,0$; $M(\text{N}) = 14,0$
- Numéros atomiques : azote : $Z(\text{N}) = 7$, oxygène : $Z(\text{O}) = 8$, cuivre : $Z(\text{Cu}) = 29$

A/ L'ion nitrate

Le diagramme potentiel-pH simplifié de l'azote en solution aqueuse est représenté ci-dessous pour une concentration des espèces dissoutes égale à $1,0 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$. Pour les gaz, la pression standard de référence est $P^\circ = 1,0 \text{ bar}$. On se limite ici aux espèces chimiques azotées suivantes :

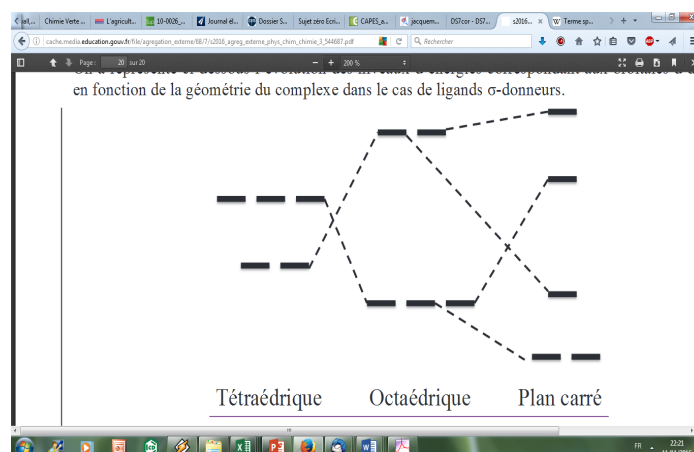
ion nitrate NO_3^- (aq), acide nitreux HNO_2 (aq), ion nitrite NO_2^- (aq), monoxyde d'azote NO (g).



1. Proposer une représentation de Lewis de l'ion nitrate.
2. À l'aide de la méthode VSEPR (ou formalisme de Gillespie), donner la géométrie de l'ion nitrate.
3. Indiquer l'espèce du couple $\text{HNO}_2 / \text{NO}_2^-$ qui prédomine au-delà de $\text{pH} = 3,3$
4. Discuter la stabilité thermodynamique de l'acide nitreux HNO_2 .
5. Associer à chaque zone (I), (II) et (III) les espèces chimiques correspondantes. Justifier.
6. En déduire les deux couples oxydant-réducteur à considérer pour un $\text{pH} > 3,3$. Déterminer les pentes des droites frontalières.
7. Interpréter l'existence du point d'intersection des trois droites frontalières.
8. À l'aide de cette étude, déterminer les transformations chimiques susceptibles de se dérouler lors de la préparation S_{eau} , selon le protocole décrit.

B/ L'ion complexe tétramminecuivre (II)

On donne ci-dessous l'évolution des niveaux d'énergies correspondant aux orbitales d d'un métal en fonction de la géométrie du complexe dans le cas de ligands σ -donneurs.



9. Donner la structure électronique de l'ion cuivre (II).
10. Expliciter succinctement la théorie du champ cristallin. Citer deux propriétés des complexes qui peuvent être expliquées à l'aide de cette théorie.
11. Définir l'expression « σ -donneur ». Citer l'effet, négligé ici, qui pourrait venir modifier ces diagrammes. Le ligand ammine correspond-il à ces critères ?
12. Associer les orbitales d aux niveaux énergétiques correspondant aux trois géométries des complexes en justifiant l'évolution des niveaux en fonction de la géométrie.
13. Donner, en justifiant, la géométrie du complexe tétramminecuivre (II).
14. Le complexe tétramminecuivre (II) solvaté dans l'eau présente une symétrie octaédrique imparfaite, permettant une transition électronique responsable de la couleur bleue du complexe. La sphère de coordination est composée de deux molécules d'eau en position axiale plus éloignées que les ligands ammine de l'ion cuivre (II). Indiquer le nom de ce phénomène et justifier son origine.

C/ Dosage des ions nitrate dans un échantillon d'eau

Un prélèvement d'eau a été effectué dans une rivière. Afin de mettre en œuvre le protocole de dosage, il a été procédé à une évaporation d'un facteur 10 pour concentrer les espèces dissoutes. L'échantillon d'eau ainsi obtenu est tel que l'absorbance de la solution S_{eau} préparée dans le protocole a une valeur $A_{\text{eau}} = 0,240$.

15. Justifier les choix effectués pour le protocole de dosage de la solution S_{eau} .
16. Montrer que le rapport entre la quantité de matière en complexe tétramminecuivre(II) formé et la quantité de matière initiale en ions nitrate est égale à 3/2.
17. L'eau analysée est-elle potable ?
18. Conclure sur les dispositions qui devraient être adoptées.

Le candidat rendra la feuille annexe même si elle n'est pas annotée.

II- Modélisation de l'appareil photographique numérique embarqué sur le drone

L'appareil photographique embarqué sur un drone doit permettre de réaliser des images de chaque parcelle de l'exploitation (des logiciels puissants permettant ensuite, au sol, la reconstitution de la cartographie globale) et de détecter précocement les besoins, les maladies et la présence de ravageurs.

Cette partie propose de modéliser un appareil photographique et de vérifier que ses caractéristiques sont adaptées à cette utilisation.

Document 4 : quelques données techniques de l'appareil photographique étudié



reil RVB
sur $6,17 \times 4,62$ mm

- Objectif min en mm : 24 mm
- Objectif max en mm : 120 mm

- 12 Mpx (4000 × 3000) - Fonction GPS	- 231 g
--	---------

D'après la notice technique de l'appareil photographique Canon S110 RGB

Un modèle simple de l'appareil photographique comprend :

- un objectif dont le but est de former l'image réelle d'un objet ;
- un diaphragme circulaire de diamètre D qui limite l'étendue du faisceau lumineux admis dans l'appareil ;
- un capteur photosensible constitué d'une matrice CCD (charge coupled device) sur lequel va se former l'image.

A/ Modélisation dans le cadre de l'optique géométrique

Le vol du drone s'effectue à une altitude de 150 m et à une valeur de la vitesse moyenne de survol horizontal égale à 13 m.s^{-1} ; des photos sont prises par l'appareil toutes les secondes.

L'objectif de l'appareil photographique est modélisé par une lentille sphérique mince (L) de distance focale $f' = 40 \text{ mm}$, fixe pendant toute la durée du vol.

19. Rappeler les conditions pour lesquelles une lentille peut être considérée comme une lentille sphérique mince.

20. La lentille (L) doit-elle être convergente ou divergente ? Justifier.

21. Donner la signification de l'indication : « capteur $6,17 \times 4,62 \text{ mm}$ ».

22. L'appareil photographique est positionné sous le drone, son plan étant toujours coplanaire à la surface de la parcelle.

22.a. À quelle distance de l'objectif se forme l'image de la parcelle photographiée ? Justifier.

22.b. Faire un schéma, sans souci d'échelle, faisant apparaître la parcelle, la lentille (L), son centre optique (O), le diaphragme et le capteur CCD. Y placer le foyer image F' de la lentille.

22.c. Quelle est la dimension de la parcelle qui peut être photographiée à chaque prise de vue lorsque le drone survole l'exploitation à une altitude de 150 m ?

23. Une parcelle de 25 ha (que l'on supposera de forme carrée) est survolée par le drone et photographiée.

23.a. Y a-t-il un risque que certaines zones ne soient pas photographiées ? Au contraire certaines zones seront-elles photographiées plusieurs fois ? Serait-ce un inconvénient ? Justifier.

23.b. Estimer l'ordre de grandeur du temps nécessaire au drone pour balayer la parcelle.

Donner un ordre de grandeur du nombre de photos qui auront été prises lors du vol.

Donnée : $1 \text{ ha} = 10 \times 10^3 \text{ m}^2$

24. Citer quelques avantages du drone par rapport au satellite pour l'acquisition d'images pouvant être utilisées dans le domaine agricole.

25. Les images sont ensuite analysées sur un écran d'ordinateur de 19 pouces (dimension de la diagonale) et de format 4/3. La résolution de l'écran est égale à 72 ppp (pixel par pouce). Calculer la longueur et la largeur de l'écran. L'image sera-t-elle nette sur l'écran ? L'agrandissement des images est-il possible sans perte de qualité ? Si oui, quel est le coefficient d'agrandissement maximal ? Justifier précisément la réponse.

Donnée : 1 pouce = 2,54 cm.

26. L'agriculteur souhaite détecter la présence de nuisibles sur ses cultures. Les nuisibles ne seront détectés que si leur image se forme sur au moins 5 pixels sur la matrice CCD. La taille des insectes nuisibles concernés est de l'ordre de grandeur de 4 mm.

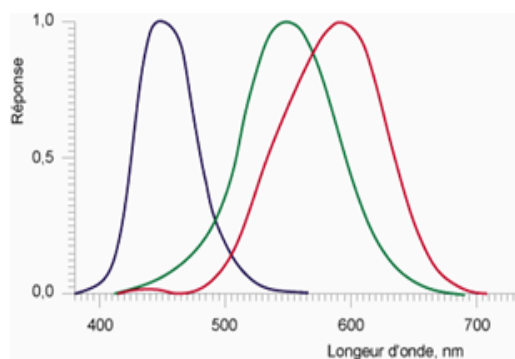
26.a. Quelle est la dimension de l'insecte sur l'écran, en gardant la résolution de la question précédente ?

26.b. À quelle hauteur maximale doit se positionner le drone pour détecter ces insectes sans modifier les réglages de l'appareil photographique ?

27. Le drone se situant à cette hauteur maximale, quelle modification sur l'appareil photographique permettrait à l'agriculteur de voir des détails plus petits sur ses cultures ? Justifier la réponse.

B/ Codage RVB des images

Les images fournies par l'appareil photographique sont en couleur. Le graphe ci-dessous représente les sensibilités des différents cônes de l'œil humain.



28. Quelles informations peut-on extraire de ce graphe ?

29. Quel est le nom du principe de reproduction des couleurs utilisant trois couleurs fondamentales ?

Dans l'appareil photographique numérique étudié précédemment la couleur est codée avec une échelle RVB de 24 bits (8 bits pour chaque couleur), chaque couleur primaire étant codée sur 8 bits.

30. Que signifie l'indication «RVB» ?

31. Déterminer le nombre de valeurs codant chaque couleur primaire et le nombre de couleurs possibles. Commenter.

III- Contrôle du vol du drone sur tablette, radioguidage et localisation GPS

Une firme a récemment mis à disposition un équipement aux caractéristiques surprenantes : un enregistreur et programmeur de vol, s'appuyant sur la localisation satellite... Un bijou de technologie... La surprise est que l'appareil est connectable à une tablette tactile et que, grâce à cette tablette, il est désormais possible de définir un plan de vol détaillé.

Sur la carte satellite qui s'affiche sur la tablette géolocalisée, on trace du bout des doigts le parcours à effectuer, on choisit l'altitude et la vitesse de croisière. Un clic pour valider le circuit et le drone, dont la position est contrôlée grâce à des capteurs GPS, s'envole : la manœuvre se montre d'une facilité déconcertante. On trouve également une fonction « HOME » pour rapatrier le drone au point de décollage.

D'après le site : <http://visionsmag.com/ar-drone-vol-programme/> (2013)

Données :

Célérité de la lumière dans le vide : $c = 3,0 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$

Permittivité diélectrique du vide : $\epsilon_0 \epsilon_0 = 8,9 \times 10^{-12} \text{ USI}$

Perméabilité magnétique du vide : $\mu_0 \mu_0 = 4\pi \pi \times 10^{-7} \text{ USI}$

Charge élémentaire : $e = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$

Masse du proton : $M = 1,7 \times 10^{-27} \text{ kg}$

Masse de l'électron : $m = 9,1 \times 10^{-31} \text{ kg}$

Données mathématiques :

Opérateurs mathématiques en coordonnées cartésiennes (pour un vecteur $\vec{A}$) :

$$\text{Divergence : } \text{div } \vec{A} = \frac{\partial A_x}{\partial x} + \frac{\partial A_y}{\partial y} + \frac{\partial A_z}{\partial z}$$

$$\text{Rotationnel : } \text{rot } \vec{A} = \left(\frac{\partial A_z}{\partial y} - \frac{\partial A_y}{\partial z} \right) \vec{u}_x + \left(\frac{\partial A_x}{\partial z} - \frac{\partial A_z}{\partial x} \right) \vec{u}_y + \left(\frac{\partial A_y}{\partial x} - \frac{\partial A_x}{\partial y} \right) \vec{u}_z$$

$$\text{Laplacien : } \Delta \vec{A} = \left(\frac{\partial^2 A_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 A_x}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 A_x}{\partial z^2} \right) \vec{u}_x + \left(\frac{\partial^2 A_y}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 A_y}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 A_y}{\partial z^2} \right) \vec{u}_y + \left(\frac{\partial^2 A_z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 A_z}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 A_z}{\partial z^2} \right) \vec{u}_z$$

Relations entre les opérateurs mathématiques :

$$\text{Relation mathématique du « double rotationnel » : } \text{rot}(\text{rot } \vec{A}) = \text{grad}(\text{div } \vec{A}) - \Delta \vec{A}$$

$$\overrightarrow{\text{grad}}(\overrightarrow{\text{div}} \vec{A}) - \Delta \vec{A}$$

$$\text{Opérateur d'Alembertien : } \overrightarrow{\square A} \overrightarrow{\square A} = \Delta \vec{A} \vec{A} - \epsilon_0 \mu_0 \frac{\partial^2 \vec{A}}{\partial t^2} - \epsilon_0 \mu_0 \frac{\partial^2 \vec{A}}{\partial t^2}$$

A- Radioguidage du drone

Des signaux sont transmis en temps réel entre le drone et la radiocommande sous forme d'ondes électromagnétiques.

Le but de cette partie est de déterminer la puissance d'émission de la radiocommande afin que le drone reste pilotable par un opérateur en tout point de la parcelle.

Figure 1 : Radioguidage du drone par un opérateur

L'air est assimilé à du vide.

32. Rappeler les 4 équations de Maxwell qui relient les champs $\vec{E}$ et $\vec{B}$ aux sources de charges et de courants en présence. Préciser la signification de chaque terme.

33. En déduire l'expression des équations de Maxwell dans un milieu non chargé, non conducteur et assimilable au vide.

34. Déterminer, à partir des questions précédentes, les équations de propagation (c'est-à-dire les d'Alembertiens) des champs $\vec{E}$ et $\vec{B}$ dans le vide.

On considère une onde électromagnétique qui se propage de l'opérateur jusqu'au drone selon l'axe (Ox). Dans un repère cartésien orthonormé direct (O, $\vec{u}_x, \vec{u}_y, \vec{u}_z$), le champ électrique a pour

expression :

$$\vec{E} = E_0 \cos\left(\omega\left(t - \frac{x}{c}\right)\right) \vec{u}_y \quad \vec{B} = B_0 \cos\left(\omega\left(t - \frac{x}{c}\right)\right) \vec{u}_z$$

où E_0 est une constante, ω la pulsation de l'onde (constante) et t le temps.

35. Peut-on qualifier cette onde d'onde progressive ? D'onde monochromatique ? D'onde plane ? D'onde polarisée rectilignement ? Justifier clairement chaque réponse.

36. Montrer que l'onde dont le champ $\vec{E}$ est donné ci-dessus vérifie l'équation de propagation dans le vide, à condition que c soit lié à ϵ_0 et μ_0 par une relation que l'on déterminera. Quelle est la signification physique de c ?

37. Montrer, à l'aide d'une des équations de Maxwell, que le champ $\vec{B}$ a pour expression : $\vec{B} = B_0 \cos\left(\omega\left(t - \frac{x}{c}\right)\right) \vec{u}_z$. Exprimer B_0 fonction de E_0 et c .

38. Donner la signification physique du vecteur de Poynting $\vec{\pi}$ associé à une onde électromagnétique. Préciser son expression et l'unité de sa norme.

39. Calculer la valeur moyenne $\langle \vec{\pi} \rangle$ du vecteur de Poynting au cours du temps pour l'onde électromagnétique qui se propage selon l'axe (Ox). L'exprimer en fonction de c , E_0 et ϵ_0 et d'un vecteur unitaire que l'on précisera.

La législation en France impose, pour les radiocommandes, une puissance d'émission maximale de $P = 25$ mW pour une fréquence de 5,8 GHz. Les ondes émises par la radiocommande sont réparties uniformément dans toutes les directions de l'espace. L'opérateur se place à un angle de la parcelle.

40. À quelle composante du champ électromagnétique sont sensibles les capteurs d'ondes électromagnétiques ?

41. On suppose à présent que l'onde émise par la radiocommande est sphérique c'est à dire que l'amplitude de la norme du champ $\vec{E}$ varie en $1/x$. Le vecteur de Poynting a dans ce cas une norme qui varie en $1/x^2$, soit $\langle \|\vec{\pi}\| \rangle = A/x^2$. Pour que le drone fonctionne correctement, le constructeur impose $A = 0,8 \times 10^{-3}$ USI.

41.a. Donner l'unité de A dans le système international.

41.b. En justifiant la démarche utilisée, calculer la puissance d'émission de la radiocommande.
Commenter.

B- Localisation du drone par système GPS

L'objectif de cette partie est de s'assurer de la possibilité de communication entre le drone (dont le vol s'appuie sur une localisation GPS) et les satellites du système GPS.

On considère un satellite S, supposé ponctuel, situé à la verticale du drone.

Figure 2 : Terre - ionosphère et satellite. Schéma sans souci l'échelle.

Document 5 : Satellites du système GPS (Global Positioning System)

Les 24 satellite du système GPS



Source web martec

Le système GPS est un système de positionnement et de navigation, conçu dans les années 60.

Pour déterminer la position d'un utilisateur au voisinage de la Terre, les systèmes de radionavigation par satellite utilisent le principe de multilatération dans lequel la distance géométrique entre un récepteur au sol et un émetteur à bord d'un satellite s'obtient par mesure du temps de propagation d'un signal électromagnétique émis par le satellite.

La constellation GPS compte 24 satellites dont les orbites sont :

- quasi-circulaires
- de rayon 26 500 km (altitude voisine de 20 200 km).
- de période environ égale à 12 heures

Structure des signaux GPS

L'horloge interne de chaque satellite fournit une fréquence fondamentale $f_0 = 10,23$ MHz.

Chaque satellite émet sur deux fréquences :

- bande L1 : $f_1 = 154 \times f_0 = 1575,42$ MHz,
- bande L2 : $f_2 = 120 \times f_0 = 1227,60$ MHz.

Les ondes électromagnétiques qui se propagent entre le satellite et le drone, doivent traverser toutes les couches atmosphériques. Ces couches sont constituées de gaz électriquement neutres, assimilables au vide du point de vue électromagnétique.

Ces ondes électromagnétiques sont assimilées à des ondes planes, progressives, monochromatiques de pulsation ω (OPPM) polarisées rectilignement se propageant verticalement. L'axe vertical est noté (Oz).

Pour cette étude, on ne tient pas compte de la géométrie sphérique de la Terre.

Les champs électrique et magnétique associés à cette onde ont pour expression :

$$\vec{E} = \vec{E}_0 \cos(\omega t - kz) \quad \vec{E} = \vec{E}_0 \cos(\omega t - kz) \quad \text{et} \quad \vec{B} = \vec{B}_0 \cos(\omega t - kz) \quad \vec{B} = \vec{B}_0 \cos(\omega t - kz)$$

La couche pouvant faire obstacle à la propagation des ondes est l'ionosphère située entre 100 km et 1000 km d'altitude. Sous l'effet du rayonnement solaire, l'ionosphère forme un plasma très dilué et localement neutre, constitué d'électrons et d'ions monoatomiques. La densité volumique d'électrons ou d'ions monoatomiques est n . Les interactions entre électrons et protons sont négligées.

L'épaisseur, notée h , de l'ionosphère varie périodiquement (variations journalière et saisonnière) et spatialement.

On désignera par d la distance entre le satellite et la surface de la Terre.

À partir des équations de Maxwell, il est possible d'établir la relation de dispersion de l'onde dans le

plasma et de l'écrire sous la forme : $k^2 = \frac{\omega^2 - \omega_p^2}{c^2}$ avec $\omega_p^2 = \frac{n e^2}{\epsilon_0 m}$, ω_p étant appelée pulsation plasma.

42. L'ionosphère peut être modélisée par un filtre passe-haut, expliquer pourquoi et donner, en justifiant, sa pulsation de coupure ω_c .

43. Tracer l'allure de la courbe $k = f(\omega)$ et indiquer le comportement des ondes arrivant sur l'ionosphère pour $\omega \gg \omega_c$.

44. Donner l'expression de la fréquence de coupure f_c du plasma en fonction de n , ϵ_0 , e et m .

45. Montrer que l'on peut ramener cette expression à la formule simplifiée : $f_c \approx 9 \sqrt{n}$.

46. La densité volumique n de porteurs de charges dans le plasma varie beaucoup notamment en fonction de l'activité solaire, de la position du Soleil dans le ciel et de la température. On estime que n est compris entre 5×10^{10} et 10^{12} m^{-3} dans la couche la plus dense de l'ionosphère. Quelle est la gamme de fréquences utilisables par le drone pour communiquer avec les satellites du système GPS ? Ceci est-il cohérent avec les fréquences utilisées par les satellites de la constellation GPS ?

47. À l'aide de la relation de dispersion pour les ondes qui se propagent dans l'ionosphère, établir l'expression de la vitesse de groupe v_g pour l'onde de fréquence f et l'écrire sous la forme :

$$v_g = c \sqrt{1 - \left(\frac{f_p^2}{f^2}\right)} \quad c \sqrt{1 - \left(\frac{f_p^2}{f^2}\right)} \quad \text{où } f_p \text{ est la fréquence plasma.}$$

48. Donner la signification physique de la vitesse de groupe.

49. Exprimer le retard Δt des signaux dû à la traversée d'une épaisseur h d'ionosphère (comparé au cas d'une propagation exclusivement dans le vide).

50. Dans le cas où $f \gg f_p$, montrer que ce retard Δt peut se mettre sous la forme : $\Delta t = \frac{hf_p^2}{2cf^2} \quad \Delta t = \frac{hf_p^2}{2cf^2}$

51. La localisation repose sur la mesure du temps de propagation entre le satellite et le drone. Pour une hauteur $h = 800 \text{ km}$, $n = 10^{12} \text{ m}^{-3}$ et la fréquence f de la bande L2, estimer l'erreur de distance induite par le retard lié à la traversée de l'ionosphère. Commenter.

Justifier à l'aide des questions précédentes que cette erreur ne peut pas être corrigée de manière systématique.

52. Pour résoudre ce problème, le système de localisation par satellite utilise une modulation de phase numérique sur 2 bandes de fréquences : L1 et L2. Des paquets d'onde très étroits, centrés autour de ces deux fréquences sont émis simultanément. Calculer le décalage temporel Δt_{12} entre les réceptions par le drone des deux paquets d'onde qui ont traversé l'ionosphère sur une épaisseur h .

Expliquer comment cette méthode permet de réaliser une correction diminuant considérablement l'erreur de localisation introduite par la traversée de l'ionosphère.

53. Actuellement la précision de la localisation, si toutes les corrections ont été réalisées, est de l'ordre du cm. Commenter.

IV- Analyse des couleurs des céréales en végétation

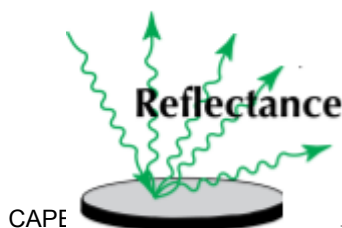
A/ La mesure de la teneur en azote des feuilles de maïs

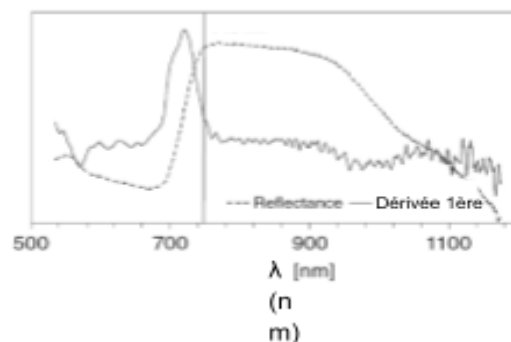
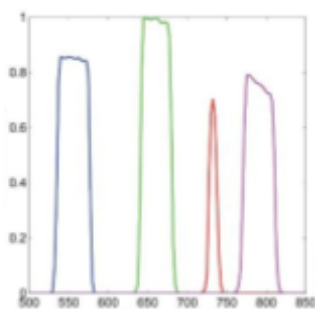
Les drones sont également munis d'un capteur quadribande qui enregistre la réflectance des feuilles de la plante, c'est-à-dire la proportion de lumière réfléchiée par sa surface. C'est la dérivée première de la réflectance qui est corrélée à la teneur en azote.

Capteur quadribande

Principe
de la réflectance

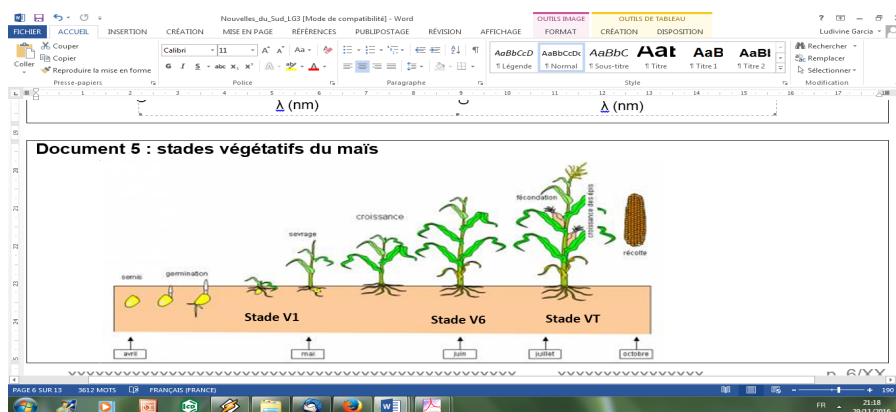
Spectre de réflectance d'une feuille
et sa dérivée première





La partie suivante fait le lien entre la teneur en azote d'une plante et les couleurs de son feuillage. Elle met en évidence qu'une protéine d'intérêt, la RuBisCo, constitue le maillon central permettant de corréler la teneur en azote à la couleur des feuilles et explore de façon non exhaustive diverses voies de synthèse menant aux protéines, composés de grand intérêt pour leur efficacité en conditions douces.

Une étude menée par V. Alchanatis, Z. Schmilovitch et M. Meron dans le journal *Precision Agriculture*, en 2005, vise à corréler les mesures de réflectance d'une feuille de maïs à sa teneur en azote en fonction de son stade végétatif en situation immobile et mobile.



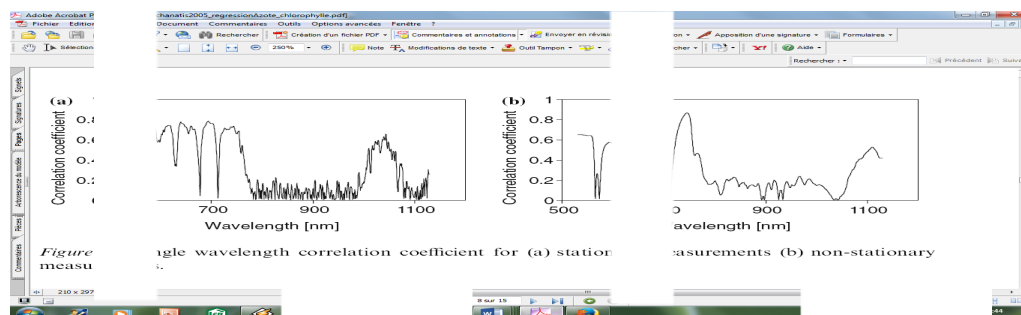
L'évaluation de la teneur en azote a été faite avec le même spectromètre, d'une part en situation immobile, puis en situation mobile, dans un environnement dont les paramètres étaient contrôlés. Afin d'éviter les variations de lumière naturelle, de la lumière artificielle a été utilisée dans les deux situations. Seule la réflectance des feuilles présentes à une distance du capteur comprise entre 170 et 250 mm a été enregistrée. En condition mobile, les mesures de réflectance ont été faites à une vitesse de 1 km.h⁻¹.

Ces mesures de réflectance ont été réalisées sur la dernière feuille en cours de croissance, dans le haut de la plante. Chacune de ces feuilles a été ensuite envoyée dans un laboratoire pour une détermination de sa teneur en azote.

Modélisation de la teneur en azote

Les chercheurs ont effectué des mesures sur des échantillons de feuilles pris au hasard dans la canopée, quel que soit leur stade végétatif. Pour chaque longueur d'onde de valeur comprise entre 500 et 1150 nm, ils ont essayé d'établir un modèle linéaire reliant la valeur maximale de la dérivée première de la réflectance à la teneur en azote obtenue par les analyses en laboratoire des feuilles. L'ajustement linéaire est validé selon la valeur du coefficient de corrélation r^2 .

L'évolution du coefficient de corrélation du modèle établi entre la teneur en azote et la valeur maximale de la dérivée première de la réflectance est représentée ci-dessous en fonction de la longueur d'onde pour les deux situations.

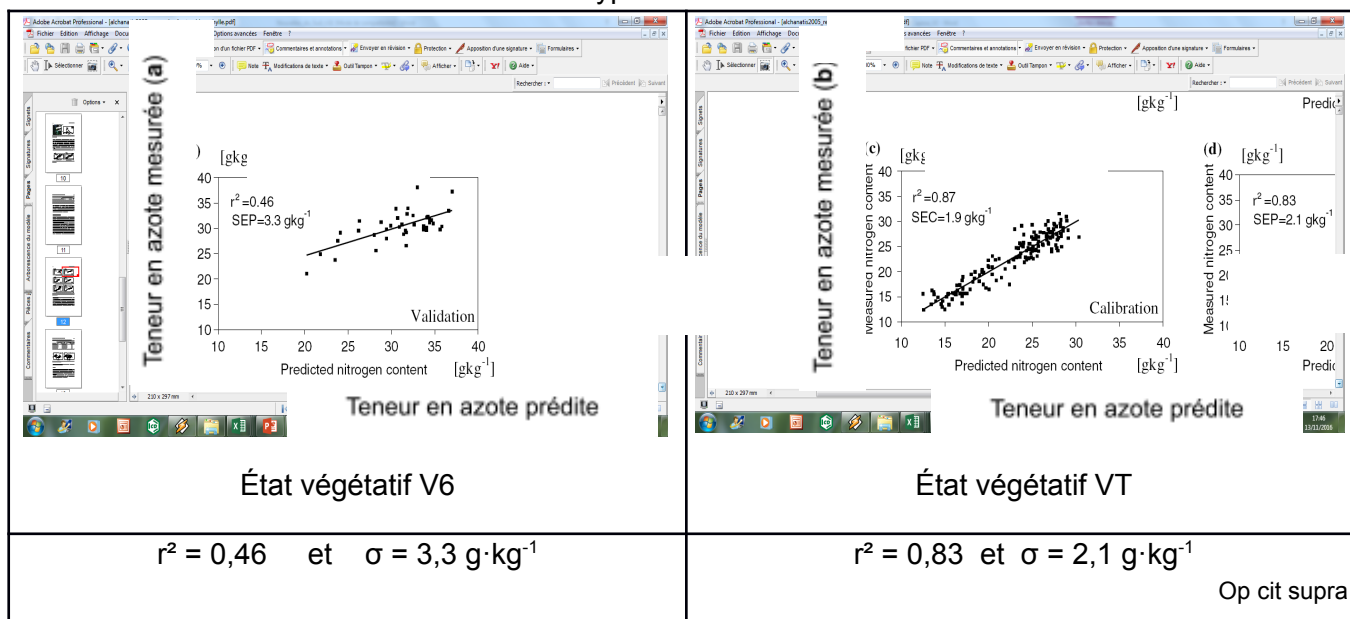


(a) situation immobile

(b) situation mobile.

Pour prédire la teneur en azote d'échantillons spécifiquement triés à l'état végétatif (a) V6, (b) VT, les chercheurs ont utilisé le modèle linéaire, établi à la longueur d'onde $\lambda = 748 \text{ nm}$ sur des échantillons pris dans un état végétatif quelconque. Pour ces deux états végétatifs, la valeur de teneur en azote prédite par le modèle a été confrontée à la teneur en azote mesurée en laboratoire lors des analyses ; les résultats de cette confrontation figurent ci-après, la teneur en azote étant exprimée en grammes par kilogrammes de feuilles analysées.

r^2 est le coefficient de corrélation et σ l'écart-type.



Comparaison de la teneur en azote à divers stades de croissance avec divers apports azoté (les teneurs en azote ont été mesurées à partir des modèles prédictifs les reliant à la réflectance).

Chacune des expériences (N0 à N100) a été réalisée sur un grand nombre d'échantillons de la canopée et chacune a été reproduite à six reprises.

Traitement	Description	Estimation de la teneur en azote moyenne à partir des modèles de réflectance ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	
		Stade V6	Stade VT
N0	Le sol est laissé tel quel avant et après la semence.	25,3	16,8
N25	Avant la semence, $125 \text{ kg}\cdot\text{hectare}^{-1}$ d'engrais azoté sont dispersés puis $125 \text{ kg}\cdot\text{hectare}^{-1}$ de plus à l'état végétatif V6.	26,4	16,5
N50	Avant la semence, $250 \text{ kg}\cdot\text{hectare}^{-1}$ d'engrais azoté sont dispersés puis $250 \text{ kg}\cdot\text{hectare}^{-1}$ de plus à l'état végétatif V6.	31,8	28,0
N100	Avant la semence, $500 \text{ kg}\cdot\text{hectare}^{-1}$ d'engrais azoté sont dispersés puis $500 \text{ kg}\cdot\text{hectare}^{-1}$ de plus à l'état végétatif V6.	34,0	27,8
Op cit supra			

54. En exploitant ces documents, répondre aux questions :

- Indiquer ce que traduit le coefficient de corrélation r^2 . Ce dernier est-il le plus adapté pour valider ce type de modèle ?
- Discuter des domaines de longueur d'onde les plus adaptés pour la détermination des besoins en azote des plantes par mesures de réflectance.
- Les mesures pour établir les modèles des états végétatifs V6 et VT permettent-elles d'effectuer une analyse concluante ?
- Les résultats obtenus peuvent-ils être utilisés pour une application en situation réelle avec un drone ?
- Porter un regard critique sur l'optimisation de l'épandage des engrais azotés

B/ Le maillon clé entre couleur et teneur en azote : une protéine d'intérêt

La RuBisco, de son nom complet ribulose-1,5-bisphosphate, est une enzyme, facteur limitant du rendement photosynthétique global des organismes. En accroître l'efficacité catalytique pourrait favoriser la séquestration écologique du CO_2 par voie biologique — on parle de « bioséquestration » — et pourrait constituer une option valable dans le contrôle du taux atmosphérique des gaz à effet de serre afin de lutter contre le réchauffement climatique.

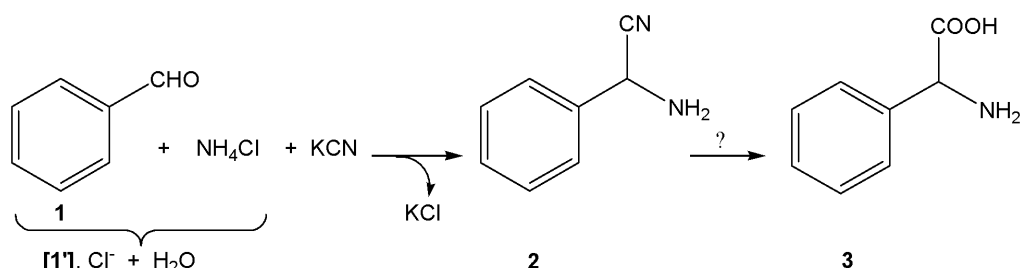
Synthétiser des protéines d'intérêt telles que la RuBisCo est donc un enjeu important pour les chercheurs à l'heure actuelle.

1. Synthèse des acides aminés en laboratoire

C'est en 1850 qu'Adolph Strecker publie, pour la première fois, une synthèse d'acide α -aminés. On la dit « multicomposants » car elle fait intervenir au moins trois réactifs simultanément et présente de nombreux avantages tels qu'une mise en œuvre aisée, la formation de plusieurs liaisons en une étape de synthèse, une économie d'atomes et une possible voie d'accès à des squelettes complexes.

55. Donner la structure générale d'un acide α -aminé.

On considère ci-dessous la condensation « multicomposants », décrite et schématisée ci-après : dans une première étape, on introduit du benzaldéhyde **1** (1,0 équivalent), du chlorure d'ammonium NH_4Cl (1,1 équivalent) et du cyanure de potassium KCN (1,0 équivalent). Un intermédiaire ionique **[1']** et de l'eau sont formés pour conduire après réaction avec le cyanure de potassium et traitement, au composé **2**. Ce dernier est finalement transformé en composé **3** dans une étape ultérieure de la synthèse.



56.
Proposer
un

mécanisme pour la formation du composé ionique **[1']** sachant qu'il débute par une activation électrophile de la fonction aldéhyde.

57. Indiquer comment augmenter le rendement de la synthèse du composé **[1']**

58. Donner le nom du composé **2** en nomenclature systématique.

59. Donner le mécanisme de formation du composé **2** à partir de **[1']**.

60. La réaction de formation du composé **2** est-elle stéréosélective ? Justifier.

61. Représenter tous les stéréoisomères du composé **2** en précisant leur stéréodescripteur.

Le spectre RMN du proton du composé **2** présente par rapport au tétraméthylsilane $(\text{CH}_3)_4\text{Si}$ les signaux ci-dessous. Le déplacement chimique δ est exprimé en ppm.

δ (ppm)	4,90	5,10	7,25	7,35	7,60
Multiplicité	s <i>singulet</i>	s <i>singulet large</i>	t <i>triplet</i>	dd <i>doublet de doublet</i>	d <i>doublet</i>
Intégration	1H	2H	1H	2H	2H

62. Attribuer à chaque proton le déplacement chimique correspondant en justifiant votre réponse.

63. Décrire des conditions opératoires permettant d'obtenir le composé **3** à partir du composé **2** et écrire le mécanisme correspondant.

64. Proposer une méthode expérimentale permettant de savoir si la réaction de formation de **3** s'est déroulée correctement.

Le procédé Merrifield qui a valu un prix Nobel à son inventeur en 1984 permet de construire, acide aminé après acide aminé, une chaîne peptidique greffée sur un polymère insoluble. Dans ce procédé, chaque acide aminé est ajouté chimiosélectivement et les réactifs en excès sont éliminés par simples lavages ou filtrations. Une fois formée, la chaîne peptidique, seule, ne permet d'assurer les fonctionnalités de la protéine ; la chaîne a besoin d'être repliée afin d'acquérir ses fonctions.

65. A partir d'un exemple, montrer que la synthèse classique d'un peptide à partir de deux acides aminés n'est pas chimiosélective.

2. De la chaîne peptidique à la protéine

Document 11 : structures d'une protéine

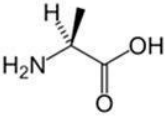
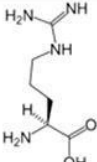
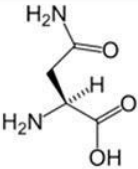
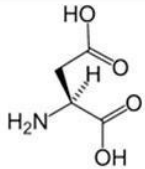
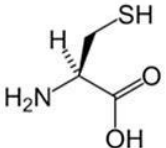
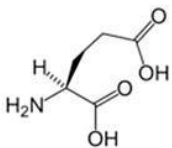
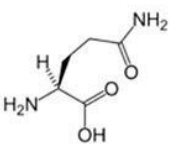
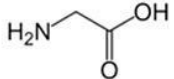
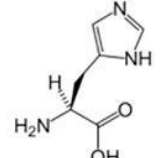
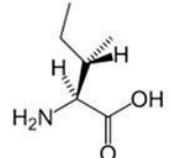
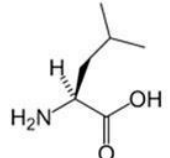
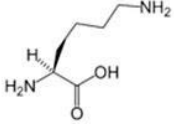
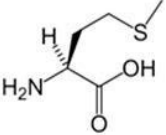
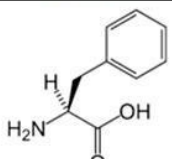
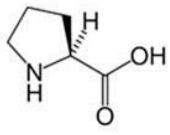
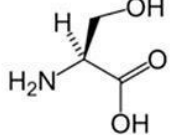
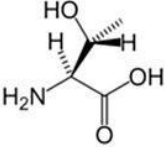
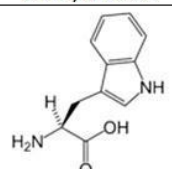
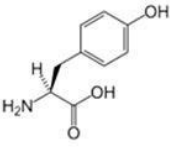
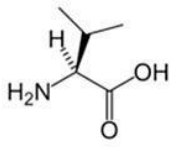
Structure primaire : il s'agit de l'enchaînement des acides aminés via les liaisons peptidiques.

Structure secondaire : elle se forme notamment par le biais des liaisons Hydrogène (liaisons H) formées par les chaînes radicalaires des acides aminés. Il faut en moyenne 3,6 acides aminés pour faire un tour d'hélice.

Structure tertiaire : elle se forme par le biais de liaisons entre les feuillets β et les hélices α notamment par les ponts disulfures.



Document 12 : acides aminés protéinogènes standards

			
Alanine	Arginine	Asparagine	Acide aspartique
			
Cystéine	Acide glutamique	Glutamine	Glycine
			
Histidine	Isoleucine	Leucine	Lysine
			
Méthionine	Phénylalanine	Proline	Sérine
			
Thréonine	Tryptophane	Tyrosine	Valine

Les 20 acides aminés		
Acide glutamique	Glu	E
Acide aspartique	Asp	D
Alanine	Ala	A
Arginine	Arg	R
Asparagine	Asn	N
Cystéine	Cys	C
Glutamine	Gln	Q
Glycine	Gly	G
Histidine	His	H
Isoleucine	Ile	I

Les 20 acides aminés		
Leucine	Leu	L
Lysine	Lys	K
Méthionine	Met	M
Phénylalanine	Phe	F
Proline	Pro	P
Sérine	Ser	S
Thréonine	Thr	T
Tryptophane	Trp	W
Tyrosine	Tyr	Y
Valine	Val	V

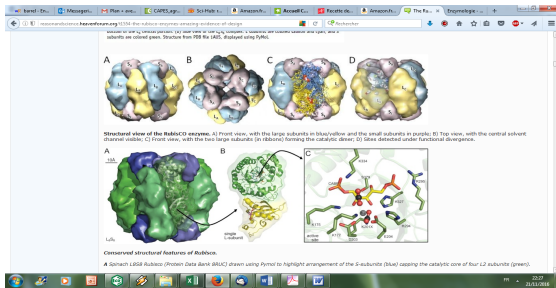
66. Décrire, à partir d'exemples, les liaisons responsables des structures primaires, secondaires et tertiaires des protéines.

Soient les peptides suivants : (1) Val-Leu-Met-Tyr-Phe-Gly-Leu-Ala-Trp-Gly

(2) Ala-Val-Glu-Ala-Leu-Arg-Ile-Val-Glu-Ser

67. Désigner le peptide qui présente la plus forte probabilité d'adopter une conformation en hélice α .

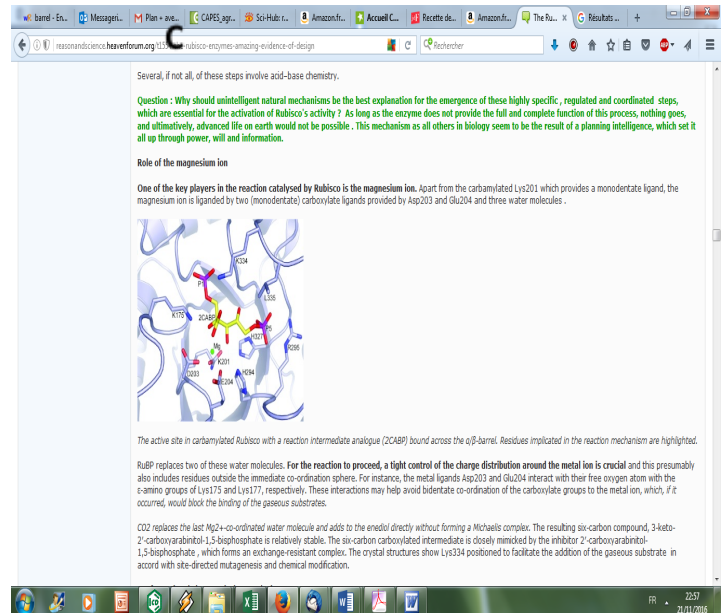
La RuBisCo est la plus abondante des enzymes sur Terre. Elle est à l'origine de la fixation par les plantes du dioxyde de carbone qui sera transformé pour produire des molécules énergétiques telles que le glucose. La RuBisCo a besoin d'être activée par une molécule de dioxyde de carbone qui va s'additionner sur la lysine du site actif afin de complexer, par la suite, l'ion magnésium présent dans le site actif.



A : vue de face de la protéine RuBisCo

B : vue de dessus de la protéine RuBisCo

C : site actif au sein d'une sous-unité L dans lequel un composé 2CAPB va subir une transformation chimique. Les chaînes latérales de l'acide glutamique, de l'acide aspartique, de l'histidine et de la lysine sont respectivement désignées par les lettres D, E, H et K. Les atomes d'oxygène sont en rouge et les atomes d'azote, en bleu foncé.



68. Donner la définition d'une enzyme.

69. Expliquer en quoi la structure de la RuBisCo peut être qualifiée de structure quaternaire.

70. le dioxyde de carbone se fixe sur la chaîne K201 dans le processus de photosynthèse. Indiquer le nouveau groupe caractéristique créé.

71. Sachant que l'ion magnésium forme un complexe à une géométrie octaédrique dont les ligands sont tous monodentés, tous liés par un atome d'oxygène, et, que trois d'entre eux sont des molécules d'eau, compléter la sphère de coordination de l'ion magnésium.

72. Un autre acide aminé va par ailleurs contribuer à ce que les ligands trouvés dans la question précédente restent monodentés par une interaction adaptée. Lequel ? Justifier.

FIN

Annexe à rendre avec la copie

Partie 1 – C – Question 4

