

BACCALAURÉAT GÉNÉRAL BLANC

SUJET

PHYSIQUE-CHIMIE

Série S

DURÉE DE L'ÉPREUVE : 3 h 30 – COEFFICIENT : 6

L'usage d'une calculatrice **EST** autorisé

Ce sujet ne nécessite pas de feuille de papier millimétré

Ce sujet comporte trois exercices présentés sur 9 pages numérotées de 1 à 9.

EXERCICE I – DÉTECTION DE RAYONS COSMIQUES (5 POINTS)

EXERCICE II – AUTOUR DE L'ASPARTAME (10 points)

EXERCICE III – LES DRONES GRAND PUBLIC (5 POINTS)

EXERCICE I – DÉTECTION DE RAYONS COSMIQUES (5 POINTS)

En 1911, le physicien Viktor Hess découvrait ce qui est appelé le rayonnement cosmique. On comprendra par la suite que ce rayonnement est constitué de particules, parmi elles se trouvent des muons.

1. Étude des muons

Lors de son émission de radio « *La Conversation scientifique* » du 31 décembre 2016 sur France-Culture, Étienne Klein a invité Sébastien Procureur physicien nucléaire, responsable scientifique à l'IRFU (Institut de recherche sur les lois fondamentales de l'Univers) du CEA.

Au cours de cette conversation, Étienne Klein soulève un point qui pose problème :

« En admettant même que ces particules aillent à la vitesse de la lumière, si leur durée de vie est de 2,0 μs , elles parcourent 600 m dans l'atmosphère, or on a dit qu'elles étaient produites à plusieurs dizaines de kilomètres au-dessus de la surface du sol. Comment on explique ce décalage ? »

La réponse de Sébastien Procureur est limpide :

« C'est un simple effet de relativité restreinte. »

Sur le site www.laradioactivite.com, on peut lire :

Un muon de 1 GeV (1000 MeV) parcourt en moyenne 6,87 km dans l'atmosphère, un muon de 10 GeV près de 63 km. Cet allongement des parcours avec l'énergie est dû à la dilatation des durées prédite par la théorie de la relativité restreinte d'Einstein.

Données :

➤ 1 eV = $1,60 \times 10^{-19}$ J ;

➤ facteur de Lorentz : $\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}}$

où v est la vitesse de la particule dans le référentiel du laboratoire ;

➤ la durée de vie ΔT d'une particule animée d'une vitesse v , mesurée dans le référentiel du laboratoire, est liée à sa durée de vie propre ΔT_0 par l'égalité : $\Delta T = \gamma \Delta T_0$;

➤ énergie d'une particule de masse m en mouvement : $E = \gamma mc^2$;

➤ masse du muon : $m_\mu = 1,88 \times 10^{-28}$ kg.

1.1. Retrouver l'ordre de grandeur de la valeur de la célérité c de la lumière à partir des valeurs évoquées par Étienne Klein.

1.2. La durée de vie des muons dans leur référentiel propre est $\Delta T_0 = 2,2 \mu\text{s}$. Pour des muons qui se déplacent à la vitesse $v = 0,9997 c$, déterminer la valeur de leur durée de vie mesurée dans le référentiel du laboratoire.

1.3. Quelle est la distance parcourue par ces muons dans le référentiel du laboratoire. Est-elle compatible avec les observations ?

1.4. Quelle est l'énergie d'un muon qui se déplace à la vitesse $v = 0,9997 c$? La valeur trouvée est-elle cohérente avec les résultats précédents et les informations fournies ? Justifier.

2. Détection des muons au lycée

Le dispositif ministériel Sciences à l'École, dans le cadre du plan d'équipement COSMOS à l'École, met à disposition des établissements scolaires un cosmodétecteur. Cet appareillage permet de détecter des muons et de mesurer des durées de vie.

Source : Sciences à l'École

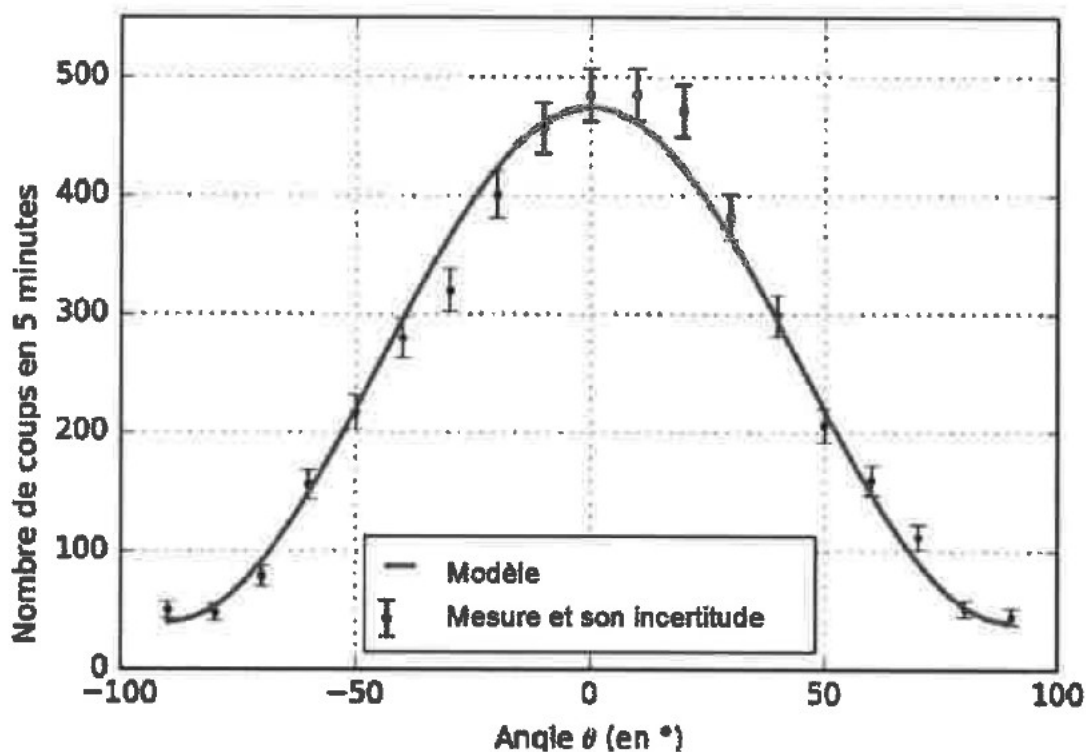


Distribution angulaire de la direction d'arrivée des muons

Afin de pouvoir comparer les données de mesures, certains paramètres doivent être réglés sur le cosmodétecteur. Parmi ces paramètres figure l'orientation de l'appareil. Le nombre de muons détectés à la surface de la Terre diffère suivant la direction d'observation.



En mesurant le nombre d'impacts en cinq minutes sur le détecteur en fonction de l'angle d'orientation de ce détecteur par rapport au zénith, on trace le graphe suivant :



D'après cahier pédagogique – Plan d'équipement «COSMOS à l'École»

Mesures collaboratives

À l'occasion de la « Fête de la Science » le vendredi 13 octobre 2017, des mesures ont été effectuées par différents lycées de France.

On s'intéresse aux mesures effectuées au lycée de Lunel.

Lunel est une ville qui se situe à une altitude de 8 m au-dessus du niveau de la mer (dans le département de l'Hérault).

Page supplémentaire à l'exercice I

Les mesures ont été effectuées en extérieur de 8 h à 12 h.

Température (en °C arrondi au dixième)	Pression (en hPa arrondi au dixième)	Humidité (%)	Numéro de la mesure	Heure métropole (début de la mesure)	Nombre de muons comptés au zénith pendant une durée de 10 min
11,4	1026,2	84	0	8:00:00	
			1	8:10:00	1009
			2	8:20:00	1030
12	1026		3	8:30:00	992
			4	8:40:00	994
			5	8:50:00	1019
15	1026	83	6	9:00:00	984
			7	9:10:00	922
			8	9:20:00	1008
15	1026		9	9:30:00	1001
			10	9:40:00	1016
			11	9:50:00	971
16,1	1027	70	12	10:00:00	940
			13	10:10:00	963
			14	10:20:00	990
18	1027		15	10:30:00	906
			16	10:40:00	936
			17	10:50:00	944
18,1	1027,6	68	18	11:00:00	927
			19	11:10:00	919
			20	11:20:00	965
18	1027		21	11:30:00	918
			22	11:40:00	912
			23	11:50:00	976
17	1027	76	24	12:00:00	950

Données :

- Le flux de muons au niveau de la mer est de 1 muon par cm² par minute ;
- Exploitation d'une série de mesures d'une grandeur X :

Pour une série de mesures pour lesquelles on suppose les conditions de répétabilité vérifiées, on considère que la meilleure estimation de l'incertitude de mesure de la grandeur X, avec un niveau de confiance de 95% s'écrit :

$$U_X = 2 \times \frac{s_{n-1}}{\sqrt{n}}$$

n : nombre de valeurs disponibles
s_{n-1} : écart-type expérimental tel que : $s_{n-1} = \sqrt{\frac{1}{(n-1)} \times \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$

- 2.1. Dans quelle direction faut-il orienter le détecteur pour avoir un nombre d'impacts maximal ?
Ce positionnement doit-il être effectué avec précision ?
- 2.2. On souhaite évaluer le nombre d'impacts à Lunel en 10 minutes en faisant apparaître la valeur de l'incertitude avec un niveau de confiance de 95 %.
 - 2.2.1. Quelle est la meilleure estimation de ce nombre d'impacts ? Calculer ce nombre.
 - 2.2.2. Écrire le résultat en faisant apparaître la valeur de l'incertitude sur la mesure.
- 2.3. Évaluer la surface effective de détection du cosmodétecteur. Commenter le résultat.

EXERCICE II. AUTOUR DE L'ASPARTAME (10 points)

L'aspartame est un édulcorant artificiel découvert en 1965. C'est un dipeptide obtenu par réaction de l'acide aspartique et d'un dérivé de la phénylalanine, deux acides aminés.

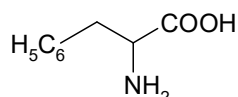
Les parties 1, 2 et 3 sont indépendantes.

1. La phénylalanine et l'acide aspartique

1.1. La phénylalanine

La phénylalanine est un acide aminé essentiel : il doit être apporté par l'alimentation car l'organisme est incapable de le synthétiser.

La formule de la phénylalanine est :



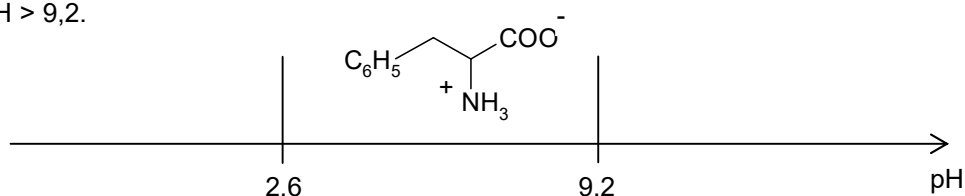
1.1.1. Recopier la formule de la phénylalanine puis entourer et nommer les groupes fonctionnels présents dans la molécule.

1.1.2. Identifier l'atome de carbone asymétrique. Comment peut-on alors qualifier une telle molécule ?

1.1.3. Donner les représentations de Cram des deux énantiomères de la phénylalanine.

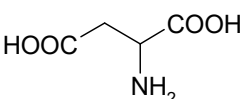
1.1.4. Les acides aminés sont des molécules ayant des propriétés à la fois acides et basiques. La forme prédominante de la phénylalanine dépend alors du pH.

Recopier la figure ci-dessous et indiquer les structures des espèces qui prédominent à $\text{pH} < 2,6$ et $\text{pH} > 9,2$.



1.2. L'acide aspartique

La formule de l'acide aspartique est :



On s'intéresse au spectre de RMN du proton de l'acide aspartique.

Le tableau ci-dessous donne les déplacements chimiques de quelques noyaux d'hydrogène. L'hydrogène concerné est indiqué en caractère gras.

Type de proton	δ (ppm)
R-CH₂-CO-R'	2,0 – 4,0
R-COOH	9,5 – 13
R-NH₂	1,0 – 5,0

Le spectre de RMN de l'acide aspartique présente les signaux suivants :

- singulet large à 11 ppm, intégration 2 ;
- triplet à 3,8 ppm, intégration 1 ;
- doublet à 2,7 ppm, intégration 2 ;
- singulet très large à environ 2 ppm, intégration 2.

1.2.1. Attribuer les signaux observés à chaque hydrogène (ou groupes d'hydrogènes équivalents) de la molécule d'acide aspartique.

1.2.2. Interpréter la multiplicité des pics pour le triplet à 3,8 ppm.

2. Synthèse d'un dérivé de la phénylalanine

La littérature scientifique permet d'obtenir les informations suivantes :

Document 1. Protocoles de synthèse du dérivé de la phénylalanine

Protocole n°1. Utilisation du triméthylchlorosilane

On introduit dans un ballon 10 g de phénylalanine. On additionne lentement, tout en agitant, 15 mL de triméthylchlorosilane. Un volume de 60 mL de méthanol est ensuite ajouté au mélange qui est agité pendant 12 heures à température ambiante. On procède à l'évaporation du solvant afin d'obtenir le produit souhaité. Le rendement de la synthèse est de 96%.





Protocole n°2. Utilisation du chlorure de thionyle

Dans un ballon, 10 g de phénylalanine sont mis en suspension avec 100 mL de méthanol. Sous agitation magnétique, le mélange réactionnel est refroidi à l'aide d'un bain d'eau glacée puis 6 mL de chlorure de thionyle sont ajoutés goutte à goutte. Le mélange est maintenu 24 heures sous agitation à température ambiante. Après évaporation du solvant, le produit obtenu est recristallisé dans un mélange d'éthanol et d'acétate d'éthyle. Le rendement de la synthèse est de 97%.

Protocole n°3. Utilisation de l'acide sulfurique

On introduit dans un ballon 15 g de phénylalanine, 27 mL de méthanol et 5 mL d'acide sulfurique. Le ballon est placé, sous agitation, dans un bain d'eau à 85°C pendant 4 heures. Un volume de 125 mL de méthanol est ajouté goutte à goutte au mélange par l'intermédiaire d'une ampoule de coulée. Simultanément, l'excès de méthanol est retiré du mélange. Après 4 heures, on traite l'huile obtenue. Le rendement de la synthèse est de 67%.

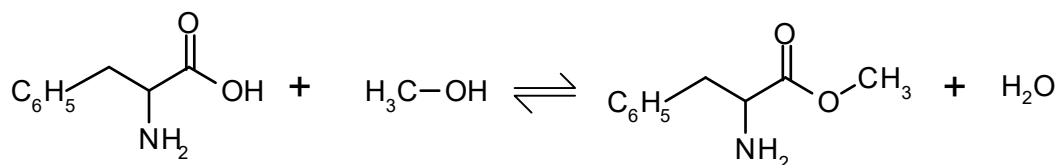
Document 2 : informations concernant différentes espèces chimiques

	Pictogramme	Mentions de danger	Tarif en 2012
Phénylalanine			16,90 € les 25 g
Méthanol		Liquide et vapeurs très inflammables. Toxique en cas d'ingestion. Toxique par contact cutané. Toxique par inhalation. Risque avéré d'effets graves pour les organes.	10,90 € le litre
Triméthylchlorosilane		Liquide et vapeurs très inflammables. Nocif par contact cutané. Provoque des brûlures de la peau et des lésions oculaires graves. Toxique par inhalation. Peut irriter les voies respiratoires.	23,30 € les 100 mL
Chlorure de thionyle		Nocif par inhalation. Nocif en cas d'ingestion. Provoque des brûlures de la peau et des lésions oculaires graves. Peut irriter les voies respiratoires.	22,90 € les 100 mL
Acide sulfurique		Provoque des brûlures de la peau et des lésions oculaires graves.	8,80 € le litre

2.1. À l'aide des documents, dégager l'(es) avantage(s) et l'(es) inconvénient(s) de chacun des trois protocoles proposés. Consigner les réponses dans un tableau.

On se propose de préparer au laboratoire l'ester méthylique de la phénylalanine en adaptant le **protocole n°3** au matériel disponible au laboratoire.

L'équation de la réaction est donnée ci-dessous :



Protocole retenu :

On introduit dans un ballon une masse $m = 16,5$ g de phénylalanine et un volume $V = 40$ mL de méthanol. On ajoute quelques millilitres d'une solution aqueuse concentrée d'acide sulfurique.

On chauffe à reflux pendant quatre heures puis on laisse revenir le mélange à température ambiante.

Une solution d'hydrogénocarbonate de sodium est ensuite versée dans le ballon afin de neutraliser les acides présents dans le milieu réactionnel.

Le mélange est placé dans une ampoule à décantier et l'ester est extrait par du dichlorométhane.

La phase organique est recueillie, lavée et séchée sur du sulfate de sodium anhydre. Après filtration et évaporation du dichlorométhane, on recueille une masse $m' = 11,4$ g d'ester.

Données :

➤ Masses molaires :

	Phénylalanine	Méthanol	Ester méthylique de la phénylalanine
Masse molaire ($\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$)	165	32	179

➤ Masses volumiques :

	Eau	Méthanol	Dichlorométhane
Masse volumique ($\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$)	1,0	0,79	1,3

➤ Comparaison des électronégativités : $\chi(\text{O}) > \chi(\text{C})$

2.2. Protocole expérimental

2.2.1. En analysant la nature des réactifs utilisés, quelles sont les précautions opératoires à respecter impérativement pour mettre en œuvre ce protocole ?

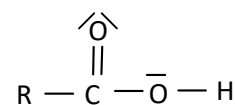
2.2.2. La réaction d'estérification est une réaction lente. Comment, dans ce protocole, la transformation chimique a-t-elle été accélérée ?

2.2.3. Dans le cas précis de cette synthèse, justifier l'impossibilité d'évaluer la durée de cette transformation chimique par un suivi par chromatographie sur couche mince.

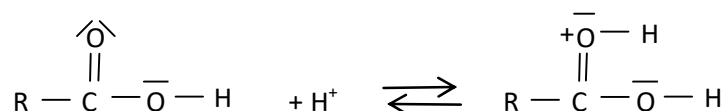
2.2.4. Évaluer le rendement de cette synthèse organique en expliquant la démarche suivie.

2.3. Mécanisme réactionnel

On utilisera la formule simplifiée ci-contre pour la molécule de phénylalanine.



La première étape du mécanisme réactionnel, reproduite ci-dessous, permet d'illustrer le rôle des ions H^+ dans la synthèse de l'ester méthylique.



Une fois fixés, les ions H^+ permettent d'augmenter le caractère accepteur de doublets d'électrons d'un des atomes de la liaison $\text{C}=\text{O}$ ce qui augmente la vitesse de la réaction à l'échelle macroscopique.

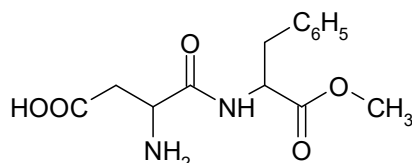
- 2.3.1. Quelle espèce chimique introduite dans le milieu réactionnel permet d'apporter les ions H⁺ nécessaires ?
- 2.3.2. Représenter sur votre copie la formule simplifiée de la molécule obtenue à l'issue de la première étape et localiser l'atome accepteur de doublets d'électrons de la liaison C=O.
- 2.3.3. Reproduire sur votre copie la première étape du mécanisme réactionnel et relier par une flèche courbe les sites donneur et accepteur d'électrons afin d'expliquer la formation de la nouvelle liaison.

3. Synthèse de l'aspartame

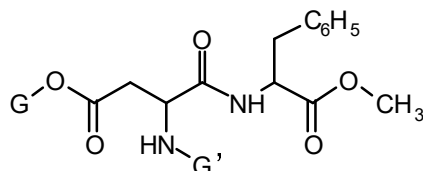
Le groupe amino réagit avec le groupe carboxyle selon l'équation suivante :



Ainsi l'acide aspartique et l'ester méthylique de la phénylalanine réagissent entre eux pour former l'aspartame dont la formule est donnée ci-dessous :



- 3.1. Donner le nom du groupe caractéristique qui a été créé lors de la synthèse de l'aspartame.
- 3.2. Lorsque l'on analyse le milieu réactionnel obtenu à la fin de la synthèse par une chromatographie sur couche mince (CCM), on observe plusieurs taches à des hauteurs différentes de celles des réactifs. Sachant que l'eau n'apparaît pas sur la plaque de chromatographie, proposer une explication à ce constat expérimental.
- 3.3. Écrire la formule semi-développée d'une molécule autre que l'aspartame présente dans le milieu réactionnel à la fin de la synthèse.
- 3.4. Pour synthétiser l'aspartame, la stratégie de synthèse consiste à protéger le groupe NH₂ et l'un des deux groupes COOH de l'acide aspartique à l'aide d'un groupe protecteur noté G' ou G. L'acide aspartique protégé réagit alors avec le dérivé de la phénylalanine protégé pour donner la molécule suivante :



- 3.4.1. Écrire la formule semi-développée de l'acide aspartique protégé.
- 3.4.2. Que faut-il faire ensuite pour obtenir l'aspartame à partir de ce dérivé ? (aucune écriture de réaction chimique n'est demandée)
- 3.5. En utilisant le tableau ci-dessous et votre sens critique, expliquer s'il est judicieux d'utiliser la spectroscopie infrarouge pour s'assurer de l'obtention d'aspartame au regard de la nature des liaisons formées ou rompues au cours de la transformation chimique.

Table des nombres d'onde

Liaison	Nombre d'onde (cm ⁻¹)	Intensité F : fort ; m : moyen	Espèce
N-H	3300-3500	m (2 bandes)	Amine primaire
N-H		m (1 bande)	Amine secondaire
N-H	3100-3500	F	Amide
C _{tet} -H	2850-3000 et 1430-1480	F	Alcane
O-H	2500-3200	F à m (large)	Acide carboxylique
C _{tri} =O	1700-1725	F	Acide carboxylique
C _{tri} =O	1735-1750	F	Ester
C _{tri} =O	1630-1700	F	Amide

C_{tet} : carbone tétravalent

C_{tri} : carbone trivalent

EXERCICE III : LES DRONES GRAND PUBLIC (5 POINTS)

Les drones de loisirs à quatre hélices sont des véhicules aériens de faible dimension. Ils sont vendus au grand public comme un jeu pour l'intérieur ou l'extérieur.



Drone AR Parrot ®

Connexion WiFi

De nombreux drones sont pilotés depuis un téléphone portable à l'aide d'une connexion WiFi.

Un réseau WiFi permet une communication par ondes électromagnétiques entre différents appareils. Les connexions WiFi peuvent se faire suivant plusieurs protocoles de communication dont le protocole standard IEEE 802.11g dont les principales caractéristiques sont résumées dans le tableau ci-dessous :

Standard	IEEE 802.11g
Débit théorique maximal	54 Mbits/s
Fréquence des ondes électromagnétiques	2,4 GHz
Puissance d'émission maximale autorisée en France	100 mW
Distance de fonctionnement	Intérieur 20 m ; Extérieur 50 m
Modélisation de l'atténuation du signal à 2,4 GHz en fonction de la distance	$A = 40 + 20 \times \log(d)$ A atténuation en décibel (dB) d distance en mètres entre l'émetteur et le récepteur.

Données

Vitesse de propagation des ondes électromagnétiques dans le vide et dans l'air : $c = 3,0 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

Définition de l'atténuation d'un signal

L'atténuation A d'un canal de transmission est définie par :

$$A = 10 \times \log\left(\frac{P_e}{P_r}\right)$$

A : atténuation en décibel (dB)

P_e : puissance d'émission en watt (W)

P_r : puissance reçue en watt (W)

Effet Doppler

Lorsque l'émetteur d'une onde se déplace par rapport au récepteur, le décalage Doppler est donné par la relation $f_R - f_E = \pm \frac{v}{c} \cdot f_E$ dans le cas où la vitesse de déplacement est faible par rapport à la vitesse de propagation des ondes. Le signe est fonction du sens de déplacement de l'émetteur par rapport au récepteur.

f_R est la fréquence reçue par le récepteur

f_E est la fréquence émise par l'émetteur

c est la vitesse de propagation des ondes

v est la vitesse de déplacement de l'émetteur

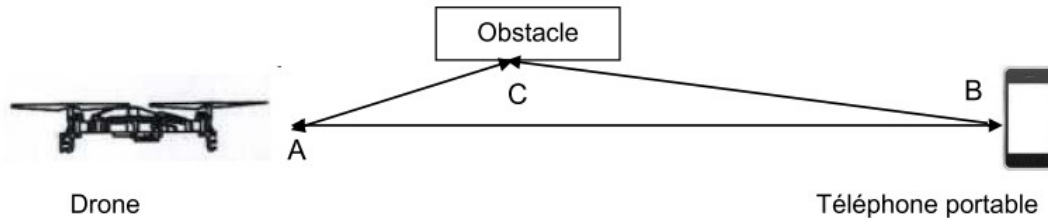


Les chemins multiples

« Les phénomènes de réflexion et de diffraction sont utiles pour capter le signal à un endroit où l'émetteur n'est pas visible : on dit qu'on est en condition de Non Line Of Sight (NLOS), c'est-à-dire que l'on n'a pas une ligne de vision directe. Mais les réflexions et diffractions peuvent également être nuisibles lorsqu'elles font apparaître de multiples chemins possibles entre l'émetteur et le récepteur. »

D'après *WiFi professionnel : La norme 802.11, le déploiement, la sécurité* Aurélien Géron

Schéma : exemple de chemins multiples



Les signaux transmis en WiFi se dégradent avec la distance et avec les obstacles, ce qui limite la portée et le débit de la liaison.

L'objectif de cette partie est de mettre en évidence quelques phénomènes physiques qui influencent la qualité de la transmission des informations en WiFi.

1.1. Transmission d'informations avec le protocole standard IEEE 802.11g

Un drone est piloté à l'aide d'un téléphone portable. Il est équipé d'une webcam de résolution 1280×720 pixels filmant à 30 images par seconde. Le codage de chaque image est de 24 bits par pixel. Il envoie ses informations au téléphone portable via le réseau WiFi.

1.1.a. Identifier les éléments de la chaîne de transmission des images.

Lorsque le drone s'éloigne du téléphone, le signal électromagnétique reçu par celui-ci s'affaiblit.

1.1.b. Calculer l'atténuation du signal lorsque le drone se situe à 10 m du téléphone portable.

1.1.c. En déduire la puissance maximale que peut recevoir le téléphone lorsqu'il est situé à 10 m du drone.

1.1.d. Le débit théorique maximal de la connexion WiFi permet-il de visualiser la vidéo en direct sur le téléphone portable ?

3.6. 1.2. Les problèmes de transmission en WiFi

On aborde les problèmes de transmission entre le drone et le téléphone portable lorsque le drone se déplace à une vitesse de croisière de l'ordre de $3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

1.2.a. Comparer la fréquence de l'onde radio émise par le drone à la fréquence de l'onde reçue par le téléphone portable lorsque le drone s'éloigne. Estimer la variation relative de la fréquence.

1.2.b. Calculer la longueur d'onde des signaux émis en WiFi.

1.2.c. Un tronc d'arbre placé sur le trajet des ondes WiFi est-il susceptible de diffracter ces ondes ? Justifier.

1.2.d. La superposition d'ondes ayant parcouru des chemins différents peut provoquer des interférences. À quelle condition obtient-on des interférences destructives ? Dans ce cas, quelle sera la conséquence sur la valeur de la puissance reçue ?

1.2.e. τ_1 et τ_2 représentent respectivement les durées du trajet de l'onde A-C-B et A-B entre le drone et le téléphone. On définit la durée $\Delta t = \tau_1 - \tau_2$. Parmi les 5 valeurs de Δt suivantes, indiquer celle(s) qui conduit (conduisent) à des interférences destructives. Justifier votre réponse.

$T/2$ T $k.T$ $k.T + T/2$ $k.T/2$
k est un entier naturel

1. Étude des muons

1.1. « durée de vie est de 2,0 μs , elles parcourent 600 m ».

$$c = \frac{d}{\Delta t} \quad c = \frac{600}{2,0 \times 10^{-6}} = 3,0 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$$

$$1.2. \Delta T = \gamma \cdot \Delta T_0$$

$$\Delta T = \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}} \cdot \Delta T_0 \quad \Delta T = \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{0,9997 \cdot c}{c}\right)^2}} \times 2,2 = \frac{1}{\sqrt{1 - 0,9997^2}} \times 2,2 = 90 \mu\text{s}$$

Ans*0.9997*3E8*1
E-6
2.69383243E4
8.782136076E1

1.3. $d = 0,9997c \cdot \Delta T$

$$d = 0,9997 \times 3,00 \times 10^8 \times 8,98 \times 10^1 \times 10^{-6} = 2,7 \times 10^4 \text{ m} = 27 \text{ km}$$

Cette distance est compatible avec les distances de 6,87 à 63 km provenant du site internet.

$$1.4. E = \gamma \cdot m \cdot c^2 \quad E = \frac{1}{\sqrt{1 - 0,9997^2}} \times 1,88 \times 10^{-28} \times (3,00 \times 10^8)^2$$

$$E = 6,91 \times 10^{-10} \text{ J}$$

On convertit en électron-volt en divisant par $1,60 \times 10^{-19}$.

$$E = 4,32 \times 10^9 \text{ eV} = 4,32 \text{ GeV}$$

Cette énergie est compatible avec les valeurs de 1 à 10 GeV provenant du

(\sqrt{(1-0.9997^2)})^{-1}*
1.88E-28*3E8^2
6.9080792E-10
Ans/1.6E-19
4.3175495E9

2. Détection des muons au lycée

2.1. Pour avoir un nombre d'impacts maximal, il faut se placer dans des conditions où le trajet entre le point de production des muons et le détecteur soit le plus court possible : il faut donc orienter le détecteur vers le zénith ($\theta = 0^\circ$).

Les mesures montrent que même lorsque θ s'éloigne légèrement de 0° alors le nombre de coups reste maximal, mais cela est dû à l'incertitude sur la mesure du nombre de coups. Il vaut mieux positionner le détecteur avec précision pour ne pas ajouter une incertitude supplémentaire.

2.2.1. On détermine la moyenne du nombre d'impacts.

On trouve une moyenne de 966 impacts en 10 minutes.

2.2.2. L'écart-type expérimental vaut $s_{n-1} = 38,185$ avec 24 mesures.

$$\text{On calcule l'incertitude } U = 2 \cdot \frac{s_{n-1}}{\sqrt{n}}$$

2*38.185/\sqrt(24)
1.558896097E1

$$U = 2 \times \frac{38,185}{\sqrt{24}} = 15,5889 \quad \text{Que l'on arrondit par excès à un seul chiffre significatif, } U = 2 \times 10^1 \text{ impacts.}$$

1-Var Stats
x̄=9.663333333E2
Σx=2.3192E4
Σx²=2.244474E7
Sx=3.8185664E1
σx=3.7381665E1
↓n=2.4E1

Si l'on note N le nombre d'impacts de muons, on peut donner l'intervalle de confiance de la mesure. Comme l'incertitude porte sur les dizaines, alors on arrondit la moyenne aux dizaines également.

$$N = 9,7 \times 10^2 \pm 2 \times 10^1$$

$$N = (9,7 \pm 0,2) \times 10^2 \text{ impacts en 10 min}$$

2.3. Le sujet indique que le flux de muons au niveau de la mer est de 1 muons par cm^2 par minute et que la ville de Lunel est quasiment au niveau de la mer puisque située seulement à 8 m au-dessus de la mer.

En 10 min, on a détecté $9,7 \times 10^2$ muons.

En 1 min, on en aurait détecté 10 fois moins, soit 97 muons environ.

Ainsi le détecteur a une surface d'environ 97 cm^2 .

Cette valeur correspond à un carré de 10 cm de côté, ce qui semble réaliste au regard de la photo du détecteur, même si la photo ne permet pas de connaître précisément cette surface.

Remarque :

La notice du détecteur (lien ci-dessous) indique (bas de page 12) que le détecteur a une surface de 150 mm X 285 mm soit $427,5 \text{ cm}^2$.

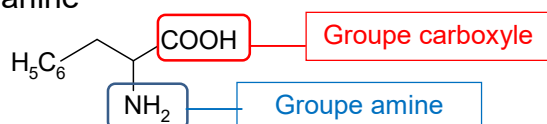
Il faut donc connaissant cette surface soit remettre en cause la mesure effectuée (nombre de mesures trop faibles pour être significative, tension de seuil trop haute....) ou supposer que le « 1 muons par cm^2 par minute au niveau de la mer » est surévalué, il serait plutôt de l'ordre de 0,2 muons par cm^2 à 8 m du sol.

EXERCICE II. AUTOUR DE L'ASPARTAME (10 points)

1. La phénylalanine et l'acide aspartique

1.1. La phénylalanine

1.1.1. (0,5)

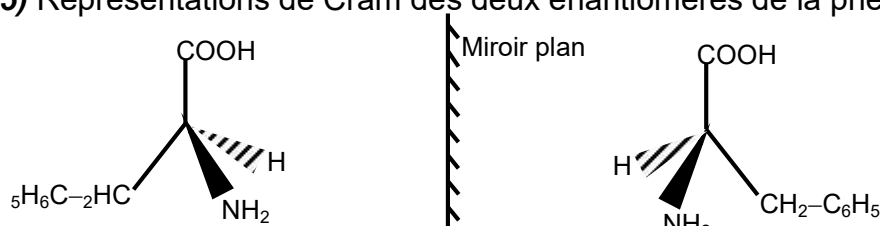


1.1.2. (0,5) L'atome de carbone asymétrique est repéré par un astérisque « * » :

Cet atome de carbone est relié à quatre groupes d'atomes différents : $-H$; $-NH_2$; $-COOH$; $-CH_2-C_6H_5$.

La phénylalanine possède un seul atome de carbone asymétrique : c'est donc une molécule chirale.

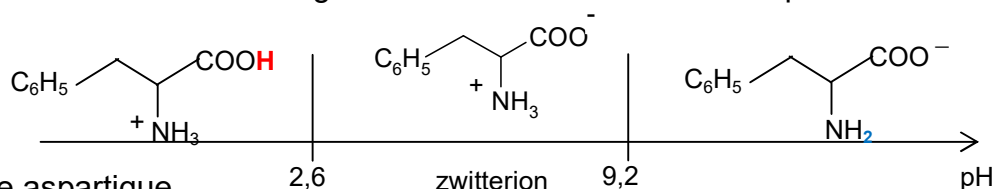
1.1.3. (0,25) Représentations de Cram des deux énantiomères de la phénylalanine :



Les deux énantiomères sont images l'un de l'autre dans un miroir plan.

1.1.4.

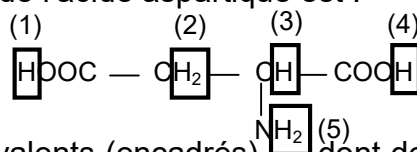
(0,25)



1.2. L'acide aspartique

1.2.1. La formule semi-développée de l'acide aspartique est :

(1)



Il y a cinq groupes de protons équivalents (encadrés) dont deux sont identiques, (1) et (4), car associés aux deux groupes carboxyle $-COOH$.

Signal du spectre de RMN	Intégration = nombre de protons qui résonnent	Groupe(s) de protons équivalents associé(s)
Large singlet à 11 ppm	2	• Le proton du groupe $-COOH$ résonne pour un déplacement chimique compris entre 9,5 et 13 ppm (tableau). Le signal large à 11 ppm et qui intègre pour deux protons correspond donc aux deux protons des deux groupes carboxyle (1) et (4).
Singlet très large à 2 ppm	2	• Les deux protons du groupe (5) $-NH_2$ résonnent pour un déplacement chimique compris entre 1,0 et 5,0 ppm (tableau). Ils ne se couplent pas avec d'autres protons : ils donnent donc un singlet. Le singlet très large à 2 ppm et qui intègre pour deux protons correspond aux deux atomes d'hydrogène du groupe $-NH_2$.
Doublet à 2,7 ppm	2	• Les deux protons du groupe (2) $-CH_2-$ résonnent entre 2,0 et 4,0 ppm. Il ne peut s'agir que du doublet à 2,7 ppm car ce signal intègre pour deux protons et non un seul.
Triplet à 3,8 ppm	1	Le triplet à 3,8 ppm et qui intègre pour un seul proton est associé au groupe (3) CH qui ne contient qu'un seul proton.

1.2.2. (0,25) Le proton du groupe CH a deux protons voisins portés par le groupe $-CH_2$. Ainsi, le signal associé au groupe de protons équivalents (3) est un triplet.

2. Synthèse d'un dérivé de la phénylalanine

2.1.	Protocole 1	Protocole 2	Protocole 3
Avantage(s)	Rendement élevé (96%)	Rendement élevé (97%)	- Acide sulfurique moins toxique que les autres solvants - synthèse courte (4 h)
Inconvénient(s)	- Solvant toxique - Synthèse longue (12 h)	- Solvant toxique - Synthèse longue (24 h)	Rendement peu élevé (67%)
Coût de la synthèse	$16,90 \times (10/25) + 23,30 \times (15/100) + 10,90 \times (60/1000) =$ 10,9 €	$16,90 \times (10/25) + 22,90 \times (6/100) + 10,90 \times (100/1000) =$ 9,2 €	$16,90 \times (15/25) + 8,80 \times (5/1000) + 10,90 \times ((27+125)/1000) =$ 11,8 €

(Barème/1,25) - évaluer le risque (0,25)
- prendre en compte le coût des produits chimiques utilisés (0,5)
- comparer les rendements (0,25)
- comparer les durées (0,25)

2.2.1. (0,5) Le méthanol est inflammable, toxique par ingestion, inhalation et contact cutané et il provoque des effets graves sur les organes avec lesquels il est en contact. Par ailleurs l'acide sulfurique provoque des brûlures graves sur la peau et les yeux. Pour mettre en œuvre ce protocole il faut porter une blouse, des gants et des lunettes de protection et travailler sous hotte aspirante.

2.2.2. (0,5) La réaction est accélérée en :

- utilisant un catalyseur, l'acide sulfurique ;
- portant le mélange à ébullition dans un montage de chauffage à reflux, car la température est un facteur cinétique.

2.2.3. (0,5) On ne peut pas suivre la transformation par chromatographie car la réaction n'est pas totale mais elle conduit à un état d'équilibre (cf. □). Ainsi, dans l'état final, les réactifs et les produits vont coexister. Comme il n'y a pas de réactif limitant on ne pourra observer la disparition de la tache correspondante sur la plaque de CCM marquant la fin de la réaction. Les taches des réactifs et des produits sont toujours présentes pendant toute la durée de la réaction.

2.2.4. (1) Rendement de la synthèse de l'ester méthylique de la phénylalanine:

$$\eta = \frac{m(\text{ester obtenue})}{m(\text{maximale ester})} = \frac{m'}{m_{\max}}$$

Avec $m' = 11,4$ g.

Tableau d'avancement :

Équation de la réaction	$\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_2\text{CH}(\text{NH}_2)\text{COOH} + \text{H}_3\text{C}-\text{OH} \rightleftharpoons \text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_2\text{CH}(\text{NH}_2)\text{COO}-\text{CH}_3 + \text{H}_2\text{O}$			
État initial (x=0)	n_0	n_1	0	0
État en cours	$n_0 - x$	$n_1 - x$	x	x
État final	$n_0 - x_F$	$n_1 - x_F$	x_F	x_F

- Calcul des quantités initiales des réactifs :

$$n_0 = \frac{m}{M(\text{phénylalanine})}, \text{ soit } n_0 = \frac{16,5}{165} = 0,100 \text{ mol}$$

$$n_1 = \frac{m(\text{méthanol})}{M(\text{méthanol})} = \frac{\mu(\text{méthanol}) \times V}{M(\text{méthanol})}, \text{ soit } n_1 = \frac{0,79 \times 40}{32} = 0,99 \text{ mol.}$$

- Détermination du réactif limitant : on considère la réaction totale ($x_F = x_{\max}$) ;

Si la phénylalanine est le réactif limitant alors $n_0 - x_{\max} = 0$ alors $x_{\max} = n_0 = 0,100 \text{ mol}$;

Si le méthanol est le réactif limitant alors $n_1 - x_{\max} = 0$ alors $x_{\max} = n_1 = 0,99 \text{ mol}$;

Le réactif limitant est celui qui conduit à l'avancement maximal le plus faible : il s'agit donc de la phénylalanine.

Donc $x_{\max} = 0,100 \text{ mol}$.

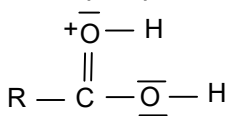
- La masse maximale d'ester formée est : $m_{\max} = x_{\max} \cdot M(\text{ester})$, soit $m_{\max} = 0,100 \times 179 = 17,9 \text{ g}$

- Le rendement vaut alors : $\eta = \frac{11,4}{17,9} = 0,637 = 63,7 \%$.

2.3. Mécanisme réactionnel

2.3.1. (0,25) L'acide sulfurique apporte les ions H^+ nécessaires à la transformation.

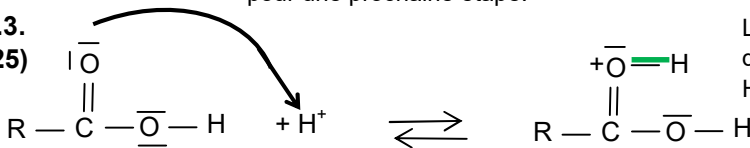
2.3.2. (0,25)



Entre C et O, il y a deux doublets liants qui forment la double liaison. Si un de ces doublets se déplaçait, il irait vers l'atome O qui est plus électronégatif que l'atome C. Extrait du sujet : « Une fois fixés, les ions H^+ permettent d'augmenter le caractère accepteur de doublets d'électrons d'un des atomes de la liaison $C=O$ » en effet O^+ est alors encore plus accepteur qu'avant. D'ailleurs à l'étape suivante, il recevra un doublet issu de cette double liaison, et redeviendra neutre. Tandis que C deviendra positif et accepteur pour une prochaine étape.

2.3.3.

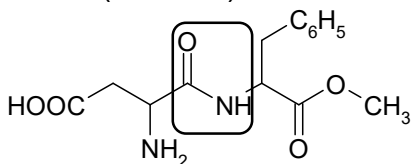
(0,25)



La formation de la liaison $O-H$ est due au mouvement d'un doublet de l'atome O (donneur riche en électrons) vers l'ion H^+ (accepteur pauvre en électrons).

3. Synthèse de l'aspartame

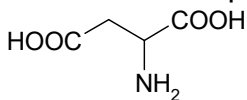
3.1. (0,25) Le groupe caractéristique créé lors de la synthèse de l'aspartame est le groupe amide (encadré) :



3.2. (0,75) L'eau n'apparaît pas sur la plaque et les taches observées ne sont pas à la même hauteur que celle des réactifs : elles ne correspondent pas à des réactifs. Il se forme plusieurs produits.

Le groupe amino $-NH_2$ réagit avec le groupe carboxyle $-COOH$.

Or l'acide aspartique possède deux groupes carboxyle et un groupe amino



et l'ester méthylique de la phénylalanine possède un groupe amino.

Il y a donc plusieurs possibilités de réaction entre les groupes amino et carboxyle ce qui conduit à la formation de plusieurs produits.

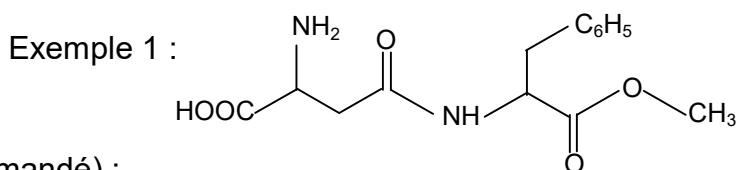
Par exemple :

- le groupe $-NH_2$ du dérivé de la phénylalanine peut réagir avec le deuxième groupe $-COOH$ de l'acide aspartique (voir ci-après 3.3. exemple 1) ;
- le groupe $-NH_2$ d'une molécule d'acide aspartique peut réagir avec l'un des deux groupes $-COOH$ d'une autre molécule d'acide aspartique (voir ci-après 3.3. exemple 2).

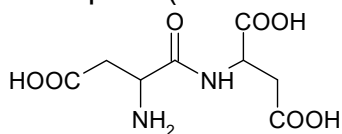
De nombreuses autres combinaisons sont possibles conduisant à des dipeptides, tripeptides...

Ces divers produits correspondent aux différentes taches qui apparaissent sur la plaque de chromatographie.

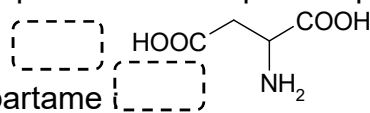
3.3. (0,25) Exemple d'autre molécule que l'aspartame présente dans le milieu réactionnel :



Exemple 2 (non demandé) :

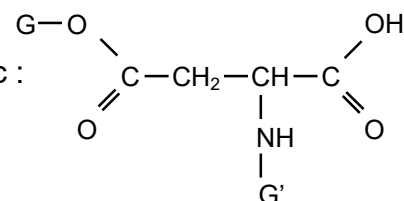


3.4.1. (0,5) Il faut protéger les deux groupes caractéristiques en pointillés dans la molécule



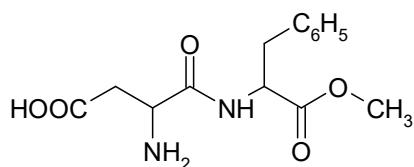
d'acide aspartique pour obtenir de l'aspartame

La formule semi-développée de l'acide aspartique protégé est donc :



3.4.2. (0,25) Pour obtenir de l'aspartame à partir de ce dérivé, il faut déprotéger les groupes carboxyle et amino qui avaient été protégés.

3.5. (0,75)



Aspartame :

L'aspartame et les autres molécules formées au cours de la synthèse possèdent les mêmes groupes caractéristiques carboxyle, amino et amide. Les bandes d'absorption associées aux liaisons C=O des amides, esters et acides carboxyliques sont très proches et peuvent se superposer. Il en est de même de celles associées aux liaisons N-H des amides et amines.

L'analyse du spectre infrarouge du mélange réactionnel ne permettra pas de s'assurer de l'obtention de l'aspartame.

Liaison	Nombre d'onde (cm ⁻¹)	Intensité F : fort ; m : moyen	Espèce
N-H	3300-3500	m (2 bandes)	Amine primaire
N-H		m (1 bande)	Amine secondaire
N-H	3100-3500	F	Amide
C _{tet} -H	2850-3000 et 1430-1480	F	Alcane
O-H	2500-3200	F à m (large)	Acide carboxylique
C _{tri} =O	1700-1725	F	Acide carboxylique
C _{tri} =O	1735-1750	F	Ester
C _{tri} =O	1630-1700	F	Amide

1.1. Transmission d'informations avec le protocole standard IEEE 802.11g**1.1.a.**

émetteur	canal de transmission	type de transmission	nature du signal transmis	récepteur
drone	air	libre	onde électromagnétique	Téléphone portable

1.1.b. L'atténuation est définie par $A = 40 + 20 \log(d)$

$$A = 40 + 20 \log(10) = \mathbf{60 \text{ dB}}$$

1.1.c. Par ailleurs l'atténuation est définie par $A = 10 \log\left(\frac{P_e}{P_r}\right)$

$$\frac{A}{10} = \log\left(\frac{P_e}{P_r}\right)$$

$$\frac{P_e}{P_r} = 10^{A/10} \text{ ou } \frac{P_r}{P_e} = 10^{-A/10}, \text{ soit finalement } \boxed{P_r = P_e \cdot 10^{-A/10}}$$

Le tableau des caractéristiques du standard IEEE 802.11g indique une puissance maximale d'émission égale à 100 mW et on a établi précédemment que $A = 60 \text{ dB}$.

$$\text{Ainsi } P_r = 100 \times 10^{-60/10} = \mathbf{1,0 \times 10^{-4} \text{ mW}}$$

1.1.d. Chaque image nécessite N bits : $N = 1280 \times 720 \times 24$.

Pour 30 images par seconde, il faut un débit $D = 30.N$.

$$D = 1280 \times 720 \times 24 \times 30 = 6,64 \times 10^8 \text{ bits}$$

Comme $1 \text{ Mbits} = 10^6 \text{ bits}$, alors $D = 6,64 \times 10^8 / 10^6 = \mathbf{664 \text{ Mbits/s}}$.

Ce débit étant largement supérieur au débit maximal théorique de 54 Mbits/s, il n'est pas possible de visualiser la vidéo en direct.

1.2. Les problèmes de transmission en WiFi

1.2.a. Lorsque le drone s'éloigne la fréquence reçue est inférieure à la fréquence émise par le drone. (Remarque : Penser à l'ambulance dont le son de la sirène est plus grave lors de son éloignement)

On utilise la formule fournie : $f_R - f_E = -\frac{v}{c} \cdot f_E$, ainsi $f_R = f_E - \frac{v}{c} \cdot f_E$

$$f_R = 2,4 - \frac{3}{3,0 \cdot 10^8} \times 2,4 = 2,4 \text{ GHz}$$

La variation relative de fréquence est $\frac{|f_R - f_E|}{f_E} = \frac{\left|f_E - \frac{v}{c} \cdot f_E - f_E\right|}{f_E} = \frac{v}{c}$

Elle vaut $\frac{3}{3,0 \cdot 10^8} = 1 \cdot 10^{-8}$, soit une variation extrêmement faible.

$$\mathbf{1.2.b.} \lambda = \frac{c}{\nu}$$

$$\lambda = \frac{3,0 \times 10^8}{2,4 \times 10^9} = \mathbf{0,13 \text{ m}}$$

1.2.c. Le phénomène de diffraction est d'autant plus marqué que le rapport entre la longueur d'onde λ et les dimensions d'un obstacle (ou d'une ouverture) « a » est important.

Si on considère que le tronc d'arbre a un diamètre de l'ordre de 10 cm, **alors la diffraction se produit** de façon sensible.

1.2.d. Les interférences sont destructives lorsque la différence de marche (« de chemins ») vaut

$$\delta = (2k+1) \cdot \frac{\lambda}{2} \text{ où } k \text{ est un entier relatif.}$$

Dans ce cas la puissance reçue est fortement réduite là où les interférences sont destructives (et augmentée là où les interférences sont constructives).

1.2.e. Par définition, les interférences sont destructives si le retard entre les ondes ayant parcouru des chemins différents vaut : $\Delta t = (2k+1) \cdot \frac{T}{2}$.

Si $k = 0$, $\Delta t = \frac{T}{2}$ on retient donc cette proposition.

Cherchons si Δt peut être égal à T comme proposé : $(2k+1) \cdot \frac{T}{2} = T$ alors $(2k+1) \cdot \frac{1}{2} = 0$, donc

$k = -\frac{1}{2}$; k n'est pas entier, on élimine cette proposition.

De même, on teste $(2k+1) \cdot \frac{T}{2} = k \cdot T$

$$k + \frac{1}{2} = k \text{ cela conduit à } \frac{1}{2} = 0, \text{ on ne retient pas cette proposition.}$$

On teste $(2k+1) \cdot \frac{T}{2} = k \cdot T + \frac{T}{2}$

$k + \frac{1}{2} = k + \frac{1}{2}$ égalité vérifiée, on retient cette formule.

Enfin on teste $(2k+1) \cdot \frac{T}{2} = k \cdot \frac{T}{2}$

$2k+1 = k$ alors $k = -1$, comme il est précisé que k est un entier naturel on ne retient pas cette formule.

Bilan : $T/2$, ~~T~~ , ~~$k \cdot T$~~ , $k \cdot T + T/2$, ~~$k \cdot T/2$~~

Autre méthode plus rapide :

On reprend la formule précédente, en utilisant le fait que $\lambda = c \cdot T$.

On obtient $\delta = (2k+1) \cdot \frac{c \cdot T}{2} = k \cdot c \cdot T + \frac{c \cdot T}{2}$.

De plus $\Delta t = \tau_1 - \tau_2 = \frac{d_1}{c} - \frac{d_2}{c} = \frac{1}{c} \cdot (d_1 - d_2) = \frac{\delta}{c}$

ainsi $\Delta t = \frac{k \cdot c \cdot T}{c} + \frac{c \cdot T}{2} = k \cdot T + \frac{T}{2}$ où k est un entier naturel

Si $k = 0$ alors $\Delta t = \frac{T}{2}$.

On retient donc deux expressions parmi celles proposées : $k \cdot T + \frac{T}{2}$ et $\frac{T}{2}$.

