

BACCALAURÉAT GÉNÉRAL

PHYSIQUE – CHIMIE

Série S

Durée de l'épreuve : 3 heures 30

Coefficient : 8

L'usage de la calculatrice électronique est autorisé

Ce sujet comporte 3 exercices présentés sur 13 pages numérotées de 1 à 13, y compris celle-ci.

L'annexe (page 13) est à rendre avec la copie.

Le candidat doit traiter les trois exercices qui sont indépendants les uns des autres :

Exercice I - La télémétrie LASER (7 points)

Exercice II - L'estérification (8 points)

Exercice III – « Ça farte ! » (5 points)

Exercice I – La télémétrie LASER (7 points)

« Déterminer le champ de gravité de la Terre, mesurer le niveau des océans et des glaciers, suivre la tectonique des plaques, étalonner les instruments spatiaux, étudier la Lune et les planètes, et même tester la physique fondamentale, toutes ces tâches nécessitent des mesures précises de distance, qui se font par télémétrie laser (...)

En pratique, on mesure le temps de vol d'une impulsion lumineuse entre une station au sol et une cible placée sur le satellite dont on veut déterminer la distance. La station est constituée d'un laser pulsé, d'un dispositif de détection et de datation, et d'un télescope. Le laser émet des impulsions lumineuses très brèves (20 picosecondes), d'une puissance instantanée fantastique. La plupart d'entre eux émettent une impulsion tous les dixièmes de seconde, soit une cadence de tir de 10 hertz, mais certaines atteignent des cadences de tir de quelques kilohertz.

La date de départ de l'impulsion est déterminée avec précision. La cible, équipée d'un réflecteur, renvoie le faisceau en direction de la station, laquelle détecte et date le faisceau de retour. La distance est déduite des différences entre les dates de départ et de retour des impulsions émises par la station et réfléchies par la cible. »

D'après Pour la Science, dossier n°53, octobre-décembre 2006, Arpenter l'espace à l'aide de lasers, Étienne SAMAIN ingénieur CNRS, Observatoire de la Côte d'Azur.

L'exercice aborde quelques problématiques en lien avec le travail réalisé par les ingénieurs et chercheurs de l'Observatoire de la Côte d'Azur (OCA), situé sur le plateau de Calern, près de Grasse dans les Alpes-Maritimes.

Les documents utiles à la résolution sont rassemblés ci-dessous :

Document 1

Le laser utilisé à l'OCA est un laser à Nd:YAG, constitué de cristaux de Grenat artificiels d'Yttrium et d'Aluminium ($Y_3^{3+}Al_5^{3+}O_{12}^{2-}$) dopés par des ions Néodyme. L'inversion de population, réalisée par pompage optique, concerne ces derniers ions.

Ce laser émet une radiation lumineuse de longueur d'onde 1064 nm. Mais un dispositif permet de doubler la fréquence, de sorte qu'il émet à la sortie du télescope, une radiation de longueur d'onde $\lambda = 532$ nm dans le vide. La fréquence ν d'une radiation lumineuse et sa longueur d'onde λ étant liées par la relation $c = \lambda \cdot \nu$ où c , est la célérité de la lumière.

Un tir laser émet une centaine d'impulsions pendant une dizaine de secondes, chacune durant 20 ps. Chaque impulsion émet une énergie $E = 200$ mJ.

Document 2

A l'aide d'une horloge d'une très grande précision ($\Delta t = 1\text{ps}$; $1\text{ps} = 10^{-12}\text{ s}$), la durée d'un aller-retour d'une impulsion émise par le laser, peut être enregistrée et la distance Terre-Lune d_{T-L} est alors calculée automatiquement.

Cinq réflecteurs, dont la surface réfléchissante est de l'ordre de $s = 0,5\text{ m}^2$, ont été déposés, en différents points de la surface de la Lune, par les missions américaines (Apollo) et russes (Lunokhod) entre 1969 et 1973.

Le tableau de mesures suivant, résume les données obtenues pour chaque impulsion reçue lors de tirs effectués entre le 27 et le 30 novembre 2002.

La célérité de la lumière utilisée pour le traitement des données, est celle dans le vide : $c = 299\,792\,458\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

Date	Heure en h:min:ns	Durée aller-retour en 10^{-13} s	Distance Terre-Lune d_{T-L} en km
27/11/2002	04:43:406393142	24648468652614	369471,25017
27/11/2002	04:54:289976746	24644665715165	369414,24557
27/11/2002	05:10:458205105	24640099593537	369345,80113
27/11/2002	05:22:292939394	24637681983003	369309,56206
27/11/2002	05:41:648936000	24635344034116	369274,51708
27/11/2002	05:50:391634635	24634858791318	369267,24348
27/11/2002	06:01:311809190	24634892052296	369267,74205
28/11/2002	04:54:343574407	24406472646587	365843,82129
29/11/2002	03:34:435933600	24286275303864	364042,10845
29/11/2002	04:43:255837213	24216009976909	362988,85770
29/11/2002	05:03:362399138	24199488939775	362741,21358
29/11/2002	05:59:835258680	24164440511979	?
29/11/2002	06:10:435854710	24159439560814	362140,88849
30/11/2002	04:23:300384145	24096826051427	361202,33560
30/11/2002	04:41:140039925	24077636963451	360914,69841
30/11/2002	04:57:401860390	24061517343433	360673,07138
30/11/2002	06:20:598907318	23994576785410	359669,65766
30/11/2002	06:35:333161641	23986483783787	359548,34662
30/11/2002	06:49:141460898	23979897636289	359449,62275

Origine : tableau de l'Observatoire de Côte d'Azur, <https://www.oca.eu>

Document 3

Tout faisceau lumineux diverge. À son départ, le faisceau laser a un diamètre D de deux mètres (...). La diffraction provoque donc une faible divergence, de un millionième de radian, soit un élargissement du faisceau de l'ordre du micromètre par mètre parcouru. Mais comme la distance Terre-Lune mesure la bagatelle d'environ 400 000 kilomètres, l'effet à l'arrivée est important.

La diffraction se produisant de la même façon pour le faisceau retour, on ne détecte qu'une infime partie de cette lumière réfléchi : environ 2×10^{-18} millijoule par impulsion envoyée.

D'après Pour la Science, dossier n°53, octobre-décembre 2006, La lumière, c'est combien de photons ?
Jean-Michel COURTY et Nicolas TREPS, Université Pierre et Marie Curie, Paris.

A l'aide de vos connaissances et des documents fournis, rédiger des réponses argumentées aux situations suivantes.

1. À propos du laser.

1.1. Montrer en utilisant la relation $c = \lambda \cdot \nu$ que doubler la fréquence permet de diviser par deux la longueur d'onde émise initialement par le laser.

1.2.

1.2.1. Indiquer une propriété particulière du laser pulsé.

1.2.2. Justifier l'affirmation d'Étienne SAMAIN : le laser émet des impulsions de puissance instantanée fantastique.

Données : La puissance p d'une impulsion est reliée à l'énergie E émise pendant la durée Δt d'une impulsion : $p = \frac{E}{\Delta t}$

1.3. Estimer le nombre de photons émis à chaque impulsion en direction de la Lune.

L'utilisation des valeurs numériques des grandeurs mises en jeu pour ce calcul n'est pas nécessaire ; une estimation à l'aide des ordres de grandeur de celles-ci sera privilégiée.

Données : L'énergie d'un photon est donnée par la relation :

$$e = h \cdot \frac{c}{\lambda}$$

où λ est la longueur d'onde de la radiation, c la célérité de la lumière dans le vide et h la constante de Planck ($h = 6,63 \times 10^{-34}$ J.s).

1.4.

1.4.1. A partir des informations fournies dans **le document 3**, calculer le rayon de la tache lumineuse obtenue sur la Lune. Il est conseillé de schématiser la situation.

1.4.2. Commenter les propos de Jean-Michel COURTY et Nicolas TREPS, quand ils écrivent que même si le faisceau émis possède une faible divergence, l'effet sur la Lune est important, en comparant le diamètre de la tache obtenue sur la Lune au diamètre initial D du faisceau laser.

2. À propos de la mesure de la distance Terre-Lune.

2.1.

2.1.1 Par quel calcul sont obtenues les distances Terre-Lune de la dernière colonne du tableau ? Expliciter celui manquant dans le tableau de mesures, puis calculer sa valeur, en se contentant de la précision de la calculatrice.

2.1.2 D'après le nombre de chiffres significatifs fournis par l'OCA dans ses fichiers de données, avec quelle précision la distance Terre-Lune est-elle mesurée actuellement ?

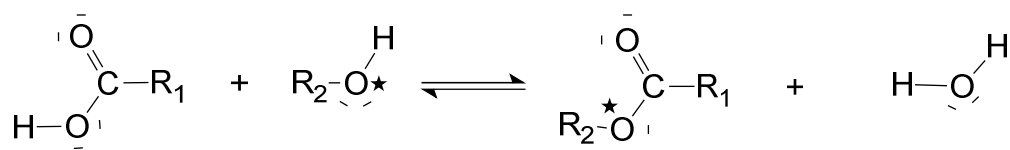
2.1.3 A votre avis, quel type d'horloge peut permettre d'atteindre une telle précision sur les durées de parcours des impulsions ?

2.2. Proposer deux hypothèses à considérer pour tenter d'expliquer les écarts observés sur la mesure de la distance Terre-Lune.

Exercice II – L'estérification (8 points)

Les esters sont des composés organiques, souvent à l'origine de l'arôme naturel des fruits. À côté de leur production naturelle, ils sont aussi synthétisés pour satisfaire les besoins de l'industrie agroalimentaire, de la parfumerie et d'autres secteurs industriels. Le butanoate d'éthyle est par exemple, un ester à l'odeur d'ananas, l'éthanoate de propyle rappelle l'odeur de la poire ...

L'estérification est une transformation chimique au cours de laquelle un ester, de formule générale $R_1 - \text{COO} - R_2$, est obtenu par réaction entre un acide carboxylique $R_1 - \text{COOH}$ et un alcool $R_2 - \text{OH}$. Il se forme aussi de l'eau selon l'équation :



L'oxygène marqué O^* de l'alcool est celui qu'on retrouve généralement dans l'ester.

Cet exercice aborde l'étude du mécanisme de la synthèse de l'éthanoate de butyle, celle de sa synthèse expérimentale puis de son identification.

1. Mécanisme.

Aspect macroscopique

- 1.1. Nommer et donner la formule semi-développée des deux réactifs de la réaction ci-dessus, conduisant à la formation de l'éthanoate de butyle.
- 1.2. Indiquer si la réaction d'estérification est une réaction de substitution, d'addition ou d'élimination. Justifier.




Aspect microscopique

Données : L'électronégativité traduit la capacité d'un atome à attirer à lui les électrons d'une liaison dans laquelle il est engagé. L'atome d'oxygène O est beaucoup plus électronégatif que l'atome de carbone C. Les électronégativités du carbone et de l'hydrogène H sont en revanche, voisines.

- 1.3. Identifier pour chacun des réactifs un site donneur ou un site accepteur de doublet d'électrons puis proposer une première étape pour le mécanisme de formation de l'ester.

2. Synthèse.

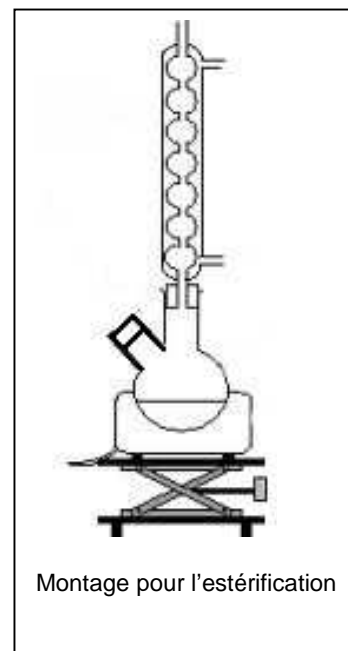
Données :

Composé	Acide utilisé	Alcool utilisé	Ester obtenu
Masse volumique (g.mL ⁻¹)	1,05	0,81	0,89
Propriété	Acide	Acidité quasi nulle	Acidité nulle
Masse molaire (g.mol ⁻¹)	60	74	102
Miscibilité dans l'eau	importante	faible	Très faible
Miscibilité dans le dichlorométhane	importante	importante	importante
Pictogramme			

L'éthanoate de butyle peut être synthétisé dans un laboratoire de lycée en suivant le protocole expérimental décrit ci-après. **Les étapes du contrôle cinétique sont également exposées.**

Étape 1 :

- Au regard des pictogrammes des différentes espèces chimiques à manipuler, prendre les précautions nécessaires.
- Placer deux flacons, l'un contenant l'acide et l'autre l'alcool, dans un bain d'eau froide. Préparer le montage ci-contre. Réaliser le mélange en versant 28 mL d'acide, 44,8 mL d'alcool et quelques grains de pierre ponce dans le ballon bicol. Placer ce ballon dans un bain d'eau froide.
- Remplir une burette graduée avec une solution d'hydroxyde de sodium ($\text{Na}^+_{(\text{aq})} + \text{HO}^-_{(\text{aq})}$).
- Placer sept béchers dans un bain d'eau glacée, y introduire 30 mL d'eau distillée et quelques gouttes de phénolphtaléine.



Étape 2 :

- Retirer le ballon du bain d'eau froide, l'essuyer, et y ajouter avec précautions, quelques gouttes d'une solution d'acide sulfurique ($2\text{H}_3\text{O}^+(\text{aq}) + \text{SO}_4^{2-}(\text{aq})$).
- Insérer le ballon dans le montage et fixer la température de chauffage à $\theta = 20^\circ\text{C}$.
- Déclencher le chronomètre, prélever aussitôt 5 mL du mélange réactionnel, refermer le bicol, placer ce prélèvement dans un des béchers situés dans le bain d'eau glacée.

Étape 3 :

- Réaliser le titrage du prélèvement par la solution aqueuse d'hydroxyde de sodium, jusqu'au virage de la phénolphtaléine. Noter le volume de solution aqueuse d'hydroxyde de sodium versée.

Étape 4 :

- Faire six autres prélèvements et dosages successifs aux dates $t = 3$ min, puis 6 min, 12 min, 25 min, 60 min et 90 min.

Étape 5 :

- Reproduire les étapes 1, 2, 3 et 4 selon les variantes 1, 3, 4 et 5 décrites ci-dessous.
 - variante 1 : $\theta = 20^\circ\text{C}$ (pas de chauffage) sans ajout d'acide sulfurique,
 - variante 2 : $\theta = 20^\circ\text{C}$ (pas de chauffage) et ajout d'une solution d'acide sulfurique,
 - variante 3 : $\theta = 50^\circ\text{C}$ (thermostat 5) sans ajout d'une solution d'acide sulfurique,
 - variante 4 : $\theta = 50^\circ\text{C}$ (thermostat 5) avec ajout d'une solution d'acide sulfurique,
 - variante 5 : $\theta = 50^\circ\text{C}$ (thermostat 5) avec ajout d'une solution d'acide sulfurique et excès de butan-1-ol ($V = 80$ mL).

Analyse du protocole

- 2.1.** Justifier la constitution du montage utilisé pour réaliser l'estérification.
- 2.2.** Proposer une explication justifiant l'utilisation de bains d'eau froide et d'eau glacée.
- 2.3.** À partir du mélange initial, déterminer la quantité maximale d'ester que l'on pourrait obtenir si la réaction était totale.

Titration des prélèvements

Données :

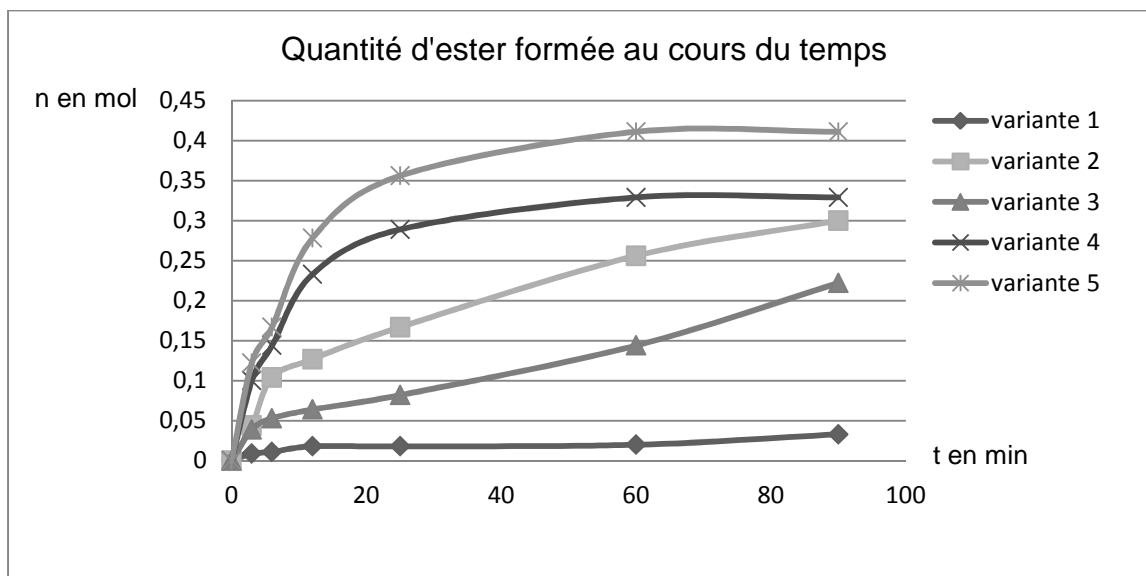
- Couples acide/base mis en jeu :
 $\text{CH}_3\text{CO}_2\text{H}_{(\text{aq})} / \text{CH}_3\text{COO}^-_{(\text{aq})}$; $\text{H}_3\text{O}^+_{(\text{aq})} / \text{H}_2\text{O}$; $\text{H}_2\text{O} / \text{HO}^-_{(\text{aq})}$
- La phénolphtaléine est un indicateur coloré acido-basique de fin de réaction utilisé pour tout titrage d'un acide avec les ions hydroxyde HO^- , l'équivalence correspond au virage de l'indicateur (passage de l'incolore à une coloration rose).
- Pour les variantes 2, 4 et 5, on considérera que la quantité d'acide sulfurique présent dans le prélèvement est négligeable devant celle de l'acide éthanoïque.

2.4. Expliquer de manière concise les deux affirmations suivantes (aucune valeur n'est attendue) :

- La solution d'hydroxyde de sodium permet de doser l'acide éthanoïque.
- Le titrage de l'acide éthanoïque par la solution d'hydroxyde de sodium permet de déterminer la quantité d'ester formée.

Exploitation des résultats

Les résultats expérimentaux obtenus sont représentés sur le graphique suivant :



2.5. À la lecture du graphique, quels arguments permettent de justifier les affirmations suivantes ?

- la température influence l'évolution temporelle d'une réaction chimique,
- un catalyseur influence aussi cette évolution,
- l'excès d'un réactif permet d'obtenir davantage d'ester.

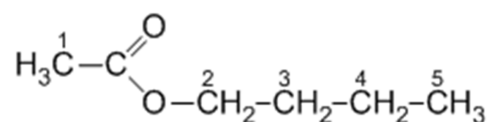
3. Extraction, purification et identification

Le reste du mélange réactionnel contenu dans le ballon est versé dans une ampoule à décanter, puis lavé par différentes solutions aqueuses. On récupère la phase organique.

Des techniques de rectification et de purification, non décrites ici, permettent d'obtenir un **titre en ester** dans la phase organique finale, proche de **99%**.

L'analyse par spectroscopie RMN du proton d'un échantillon préparé selon le protocole précédent, permet d'accéder à sa formule développée.

En analysant l'environnement chimique de chaque groupe de protons équivalents de la molécule, indiquer la multiplicité des signaux provenant des atomes d'hydrogène portés par les différents atomes de carbone.



Formule semi-développée de l'éthanoate de butyle

EXERCICE III : « Ça farte ! » (5 points)

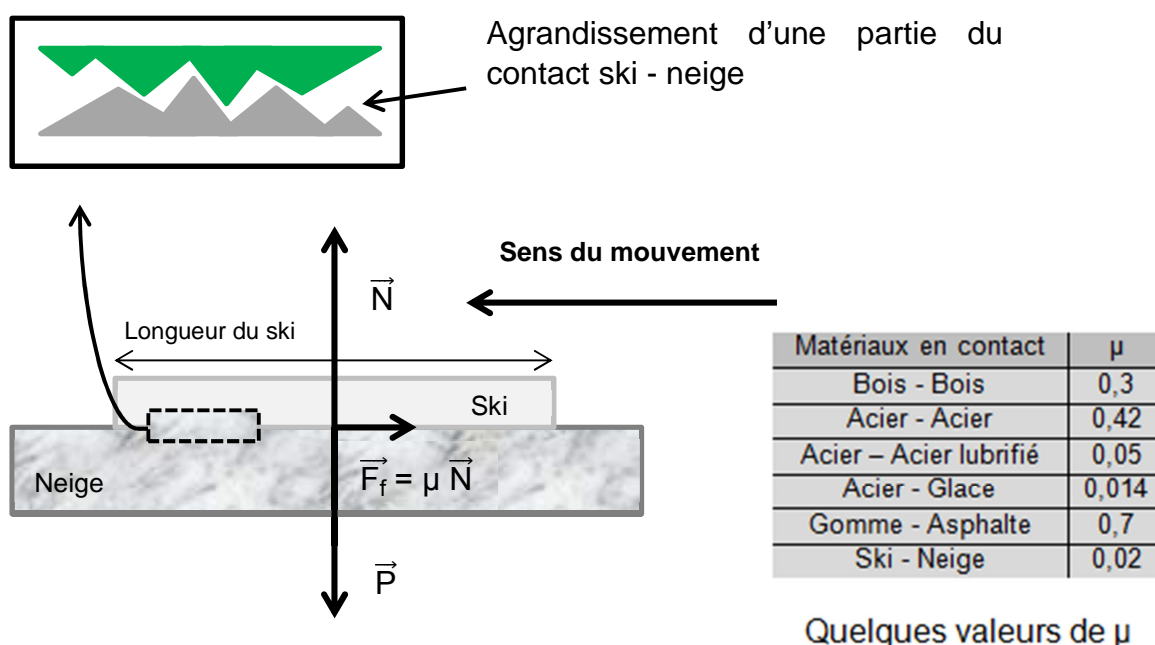
Le **fart** est un revêtement spécifique appliqué sous les skis ou les planches à neige avant usage. Il permet d'améliorer soit le glissement, soit l'adhérence sur la neige et de protéger la semelle (partie en contact avec la neige). [...] La branche de la physico-chimie, nommée tribologie, a contribué à introduire l'art du fartage dans le domaine de la haute technologie.

D'après <http://fr.wikipedia.org/wiki/Fart>

Les documents suivants apportent quelques informations relatives à la technique du fartage.

Document 1

Contact ski-neige



Pour comprendre la fonction du fart, il faut commencer par étudier les phénomènes qui entrent en jeu quand le ski est en contact avec la neige. Lorsqu'un corps glisse sur un plan, il se crée un frottement de glissement. Cette force dépend des aspérités des deux surfaces en contact (figure ci-dessus), mais aussi du type de lien chimique existant entre les atomes des deux surfaces. La force de frottement s'exerce dans la direction opposée à la vitesse du corps. **Son intensité dépend du poids du corps, de l'inclinaison du plan et de la nature des corps en contact.** Cet effet est traduit par un paramètre μ , appelé coefficient de frottement. Il varie en fonction des matériaux (voir tableau « Quelques valeurs de μ ») et de la rugosité de la superficie.

Pendant la durée du glissement, la force de frottement dissipe de l'énergie cinétique en la transformant en chaleur, comme nous le constatons lorsque nous nous frottons les mains pour les réchauffer. Dans le cas du ski, cet effet a une conséquence très importante : la chaleur fait fondre la neige, et une pellicule d'eau s'interpose entre le ski et la neige.

D'après Sportifs high tech Nunzio Lanotte - Sophie Lem Collection Belin : Pour la science

Document 2

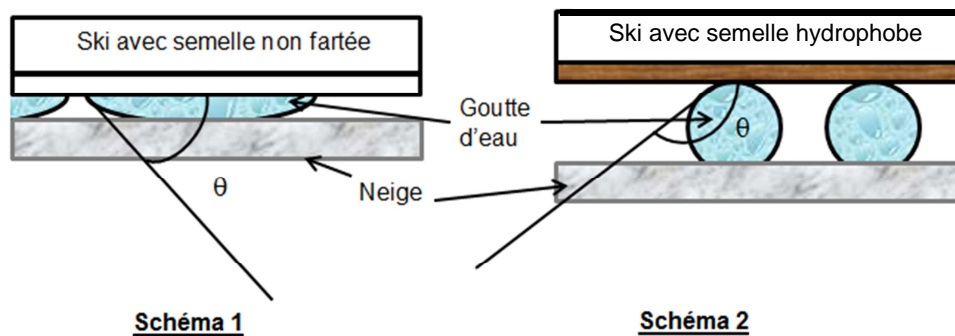
Le fart s'interpose entre le ski et la neige et a pour fonction d'optimiser les conditions de l'interface. Pour atteindre cet objectif, on utilise principalement des substances qui appartiennent à deux familles de composés : les hydrocarbures et les fluorocarbures. [...] Les fluorocarbures sont des substances fortement hydrophobes, ce qui les rend particulièrement intéressantes pour le fartage. [...]

Toutefois les fluorocarbures présentent des inconvénients. Ils peuvent être nocifs pour la santé et pour l'environnement et coûtent très cher. C'est la raison pour laquelle on les associe généralement à de la paraffine ainsi qu'à d'autres hydrocarbures solides à longue chaîne carbonée.

Document 3

Les schémas ci-dessous montrent une représentation modélisante d'un contact ski-neige.

Lors de la glisse, des gouttes d'eau se forment à l'interface ski-neige. Lorsqu'une goutte s'établit au contact d'un solide, elle adopte une configuration particulière qui traduit les interactions entre le solide et le liquide. L'angle θ , représenté sur les schémas ci-dessous, caractérise ces interactions.



1. La figure du **document 1** est schématisée partiellement en **annexe page 13**, mais cette fois le contact ski-neige se fait sur une pente, inclinée d'un angle α par rapport à l'horizontale.

1.1 Représenter sur **l'annexe page 13**, à rendre avec la copie, les forces extérieures appliquées au centre d'inertie G du système considéré, en supposant le mouvement rectiligne uniformément accéléré. On apportera un soin particulier à la longueur relative des vecteurs, sans toutefois choisir d'échelle particulière. L'action due à l'air ne sera pas prise en compte.

1.2 Rédiger une légende explicative du schéma proposé.

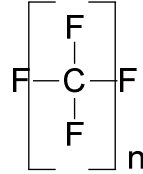
2. Décrire en quelques lignes, les transferts d'énergie mis en jeu dans la situation évoquée à la question 1.

3. Expliquer pourquoi les fluorocarbures sont particulièrement intéressants pour le fartage.

4. Les électronégativités des éléments hydrogène, carbone et fluor sont respectivement 2,1 ; 2,6 et 4,0.

4.1. Les hydrocarbures solides à longue chaîne carbonée utilisés pour le fartage des skis, ont pour formule générale C_nH_{2n+2} (avec $n \geq 18$). En quoi ces hydrocarbures sont-ils également intéressants pour le fartage ?

4.2. Les fluorocarbures sont des polymères de formule semi-développée suivante :



4.2.1 Mettre en évidence le caractère polaire d'une liaison C – F.

4.2.2 Pourquoi, selon vous, les molécules de fluorocarbure sont cependant hydrophobes ?

Annexe de l'exercice III à rendre avec la copie

Document 1

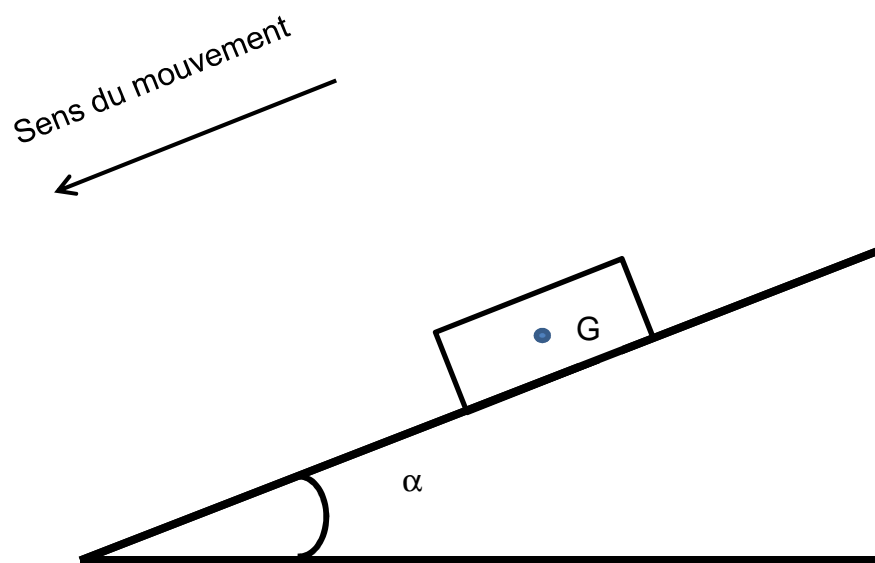


Schéma du contact ski-neige sur une pente, inclinée d'un angle α par rapport à l'horizontale