



DEVOIR SURVEILLÉ 3 – PHYSIQUE-CHIMIE

D.Malka – MPSI 2017-2018 – Lycée Saint-Exupéry

18.11.2017

Durée de l'épreuve : 3h00

L'usage de la calculatrice est autorisé.

L'énoncé de ce devoir comporte 8 pages.

- Si, au cours de l'épreuve, vous repérez ce qui vous semble être une erreur d'énoncé, signalez le sur votre copie et poursuivez votre composition en expliquant les raisons des initiatives que vous êtes amené à prendre.
- Il ne faudra pas hésiter à formuler des commentaires. Le barème tiendra compte de ces initiatives ainsi que des qualités de rédaction de la copie.
- La numérotation des exercices doit être respectée. Les résultats doivent être systématiquement encadrés.
- Les pages doivent être numérotées de la façon suivante : n °page courante/nombre total de pages.

Exercice – Schémas de Lewis de quelques molécules

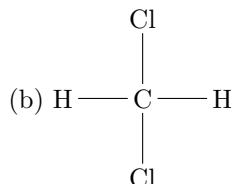
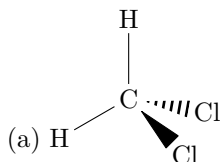
Proposer un schéma de Lewis pour les molécules et ions suivants :

1. le peroxyde d'hydrogène H_2O_2 ;
2. l'ion perchlorate ClO_4^- sachant que l'atome de chlore est central ;
3. le protoxyde d'azote N_2O (le fameux gaz relaxant très apprécié lorsqu'on ce fait réduire une luxation de l'épaule!) sachant que les deux atomes d'azote sont liés.

Problème 1 – Extraction de la caféine par le CO_2 supercritique

En vous appuyant sur vos connaissances et sur les documents 1,2 et 3 fournis, répondre aux questions suivantes :

1. Le dichlorométhane CH_2Cl_2 est un solvant très utilisé pour décaféiner les graines de café.
 - 1.1 Représenter la schéma de Lewis du dichlorométhane.
 - 1.2 On propose les deux géométries suivantes pour le dichlorométhane :



Laquelle vous paraît valide ? Justifier rigoureusement.

- 1.3 Comparer la valeur de la température de vaporisation du dichlorométhane à celle du difluorométhane CH_2F_2 ($-51,7^\circ C$). Expliquer.
- 1.4 Expliquer qualitativement pourquoi la caféine est très soluble dans le dichlorométhane et peu soluble dans l'eau.
2. Le CO_2 supercritique est un solvant alternatif au dichlorométhane de plus en plus utilisé dans l'industrie.
 - 2.1 Représenter le schéma de Lewis du dioxyde de carbone.
 - 2.2 Sachant que sa géométrie est linéaire, conclure quant à la polarité du dioxyde de carbone.
 - 2.3 Citer au moins trois avantages de l'extraction de la caféine par le CO_2 supercritique par rapport à l'extraction à l'aide d'un solvant organique usuel tel que le dichlorométhane.

2.4 La forte solubilité de la caféine dans le CO_2 supercritique est un objet de recherche actuel. Expliquer pourquoi elle reste inexploitable.

☞ **Document 1 – La caféine (extrait de l'encyclopédie Wikipédia)**

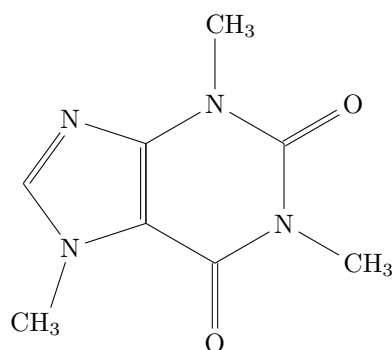
La caféine, aussi désignée sous les noms de théine, guaranine, 1,3,7-triméthylxanthine ou méthylthéobromine est un alcaloïde de la famille des méthylxanthines, présent dans de nombreux aliments.

La caféine, extraite des graines du caféier, est chimiquement identique à :

- la guaranine, extraite de graines de guarana,
- la matéine, contenu dans les infusions de feuilles de yerba maté,
- et la théine, contenu dans les infusions de feuilles et bourgeons de théier.

Elle agit comme stimulant psychotrope et comme léger diurétique. Chez l'homme, la caféine agit comme stimulant du système nerveux central et du système cardio-vasculaire, diminuant la somnolence et augmentant l'attention temporairement. Des boissons très populaires contiennent de la caféine : café ou thé, certains sodas et boissons énergisantes à base de dérivés de la noix de kola qui en contient de grandes quantités.

- Masse molaire : $M_{caf} = 194,19 \text{ g.mol}^{-1}$
- Formule brute : $C_8H_{10}N_4O_2$
- Formule développée :



- Densité : $1,23 \text{ kg.m}^{-3}$
- Moment dipolaire : $3,64 \text{ D}$
- Solubilité dans l'eau : 22 g.L^{-1} à 25°C , 444 g.L^{-1} à 65°C

Document 2 – Extrait de la fiche FT34 (le dichlorométhane) de l'INRS

Formule brute : CH_2Cl_2
Synonyme : Chlorure de méthylène
Numéro CAS : 75-09-2
Numéro CE (EINECS) : 200-838-9
Numéro Index : 602-004-00-3
Moment dipolaire : 1,14 D
Température de vaporisation : 40 °C

**Utilisation**

- Solvant d'extraction et de processus dans l'industrie pharmaceutique, solvant d'extraction dans l'industrie agroalimentaire et les cosmétiques.
- Constituant de décapants de peintures et vernis.
- Agent de nettoyage et de dégraissage des métaux.
- Composant de colles et adhésifs.
- Formulation d'aérosols.
- Agent d'expansion des mousses polyuréthanes, solvant de polymérisation (polycarbonates, etc.).
- Intermédiaire de synthèse.
- Autres utilisations : fabrication de fibres cellulosiques, formulation de peintures, industrie pétrolière, industrie du cuir, détachant textile, laboratoires d'analyses chimiques, etc.

Propriétés physiques

Le dichlorométhane est un liquide incolore, très volatil, d'odeur éthérée généralement détectable vers 200 – 300 ppm (dès 25 ppm ou seulement vers 600 ppm selon certaines sources). Il est peu soluble dans l'eau (13 à 20 g/l à 20 °C), mais miscible avec la plupart des solvants organiques. En outre, le dichlorométhane dissout de nombreux produits tels que graisses, huiles, résines, etc.

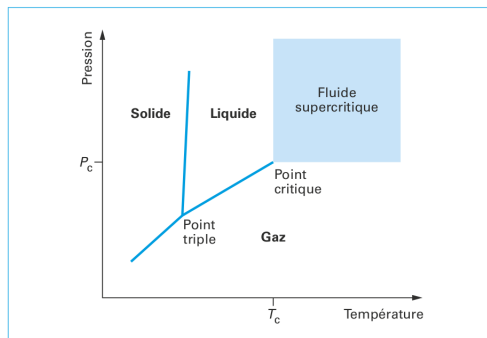
Précautions

En raison de ses effets néfastes sur la santé et de la grande volatilité du dichlorométhane, des mesures strictes de prévention devront être prises lors de son utilisation afin de réduire au minimum la diffusion de vapeurs dans l'atmosphère de travail. Lorsque cela est techniquement possible, sa substitution par un autre produit moins dangereux est recommandée.

Document 3 – Extrait de Techniques de l'Ingénieur – Le CO_2 supercritique appliqué à l'extraction végétale

Le fluide supercritique

Tout corps pur, se trouve, en fonction de trois paramètres thermodynamiques (pression P , température T et volume V) à l'état liquide, solide ou gazeux. La relation entre ces trois variables, connue sous le terme d'équation d'état, est représentée par la surface de la courbe en trois dimensions P , V , T . Les surfaces sous les courbes représentent les différents états physiques de la matière (solide, liquide et gazeux) qui correspondent à des valeurs particulières de pression et température. D'après la règle de phase, la pression d'équilibre à chaque état est fonction de température [1]. Les projections des équilibres de phases liquide-solide, gaz-solide et gaz-liquide sont représentés ci-dessous :



Dans la région supercritique, le fluide présente un comportement intermédiaire entre celui de l'état liquide et de l'état gazeux. Cela lui confère des propriétés particulières.

Propriétés physico-chimique du CO_2 supercritique

- Formule brute : CO_2
- masse molaire : $M = 44,01 \text{ g.mol}^{-1}$
- point critique : $\theta = 31,1^\circ C$, $P = 7,38 \text{ MPa}$
- masse volumique : $\rho = 469 \text{ g.L}^{-1}$

Utilisation comme solvant d'extraction

Le CO_2 est le fluide supercritique le plus utilisé car il présente des avantages notables : non toxique, non polluant, non inflammable, largement disponible à de très hauts degrés de pureté (jusqu'à 99,9999 %) et à des coûts modérés (de l'ordre de 1 euro par kg). De plus ses paramètres critiques sont faibles ($T_c = 31^\circ C$, $P_c = 73,8 \text{ bar}$) ce qui en fait un solvant « vert » ayant des applications industrielles tout à fait innovantes. Le principe de l'extraction végétale utilisant le dioxyde de carbone supercritique (CO_2 SC) repose sur la forte variation du pouvoir solvant du CO_2 en fonction des conditions opératoires (température et pression), ce qui permet d'extraire sélectivement les molécules selon leur nature chimique. Très faiblement polaire, le CO_2 se révèle être un excellent solvant des molécules apolaires ou peu polaires dans les conditions supercritiques. Partant de ce principe, une fois le composé désiré dissous dans le milieu CO_2 SC, il sera aisé d'obtenir l'extrait pur par une simple dépressurisation qui entraîne alors la séparation du CO_2 , redevenu gazeux, et de l'extrait, récupéré sous forme liquide ou solide. Les procédés supercritiques s'acquittent des opérations d'élimination des résidus de solvant (extraction, imprégnation, formulation), opérations indispensables lorsque ce solvant est un composé organique. De plus, les faibles températures mises en œuvre (en général de 40 à 60 °C) permettent de conserver l'intégrité chimique des molécules thermosensibles traitées et de minimiser les coûts opératoires. Ces propriétés font de l'extraction par fluides supercritiques une alternative, écologiquement et économiquement viable, aux procédés de distillation.

Problème 2 – Observation des anneaux de Saturne

Un astronome pointe sa lunette vers Saturne dans le ciel nocturne dégagé. Il espère distinguer les anneaux de la planète. Saturne est assimilée à une source ponctuelle de lumière très éloignée, notée A_∞ , et un point de l'anneau le plus brillant à une autre source ponctuelle notée B_∞ (fig.1). On note α la distance angulaire entre la planète et un point de l'anneau.

La lunette utilisée est afocale : deux rayons incidents parallèles émergent du système optique parallèlement. Elle est constituée de deux lentilles minces : la première, l'objectif, a pour centre O_1 et pour vergence $V_1 = 1/f'_1 = +1,0 \delta$; la seconde, l'oculaire, a pour centre O_2 et pour vergence $V_2 = 1/f'_2 = -5,0 \delta$; elles sont écartées de $\overline{O_1O_2} = +0,80 m$.

L'annexe en fin d'énoncé, complétée, sera rendue avec la copie. Les conditions de Gauss sont supposées vérifiées.

Données :

- relations de conjugaison et de grandissement des lentilles minces : voir document 4 ci-après.
- Distance Terre-Saturne : $D = 1,5 \cdot 10^{12} m$.
- Rayons des anneaux de Saturne : $R = 10^8 m$.

Document 4 – Relations de conjugaison et de grandissement pour une lentille mince

Dans l'approximation de Gauss, une lentille mince vérifie les relations suivantes :

- relation de conjugaison :

$$-\frac{1}{\overline{OA}} + \frac{1}{\overline{OA'}} = \frac{1}{f'} \quad \text{ou} \quad \overline{FA} \cdot \overline{F'A'} = -f'^2$$

- relation de grandissement :

$$\gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}} = \frac{f'}{\overline{FA}} = -\frac{\overline{F'A'}}{f'}$$

où A est un point-objet de l'axe optique, A' son image conjuguée par la lentille, f' la distance focale de la lentille, F et F' respectivement les foyers principaux objet et image de la lentille, O son centre optique.

1. Rappeler ce que recouvre l'approximation de l'optique géométrique. *On se place dans ce modèle par la suite.*
2. Rappeler ce que recouvre les conditions de Gauss et leur conséquence pour les lentilles minces. *Sauf mention contraire, on se place dans ce cadre par la suite.*
3. Calculer numériquement l'angle α .
4. Sur la figure 1 de l'annexe, construire l'image A_2B_2 de $A_\infty B_\infty$ par la lunette et représenter le diamètre apparent α' de A_2B_2 .
5. Exprimer la valeur absolue du grossissement $G = \frac{\alpha'}{\alpha}$ en fonction de f'_1 et f'_2 puis la calculer numériquement.
6. L'utilisation de la lunette permet-elle de distinguer les anneaux de Saturne ?
7. A présent, une caméra numérique est placée derrière la lunette. Elle est constituée d'une lentille convergente de vergence $V_3 = +50 \delta$ et d'un capteur tapissé de cellules photosensibles en nid d'abeille distantes de $1 \mu m$ placée dans le plan focal de la lentille. Sur la figure 2 de l'annexe, on a noirci les cellules recevant de la lumière venant de la planète Saturne elle-même (où il apparaît qu'elle n'est pas réellement ponctuelle car son image occupe plusieurs pixels).

Sur la figure 2, noircir les cellules qui recevront de la lumière venant de l'anneau (on suppose qu'il est vu de face et que sa largeur est faible). Justifier. Peut-on effectivement reconnaître la forme d'un anneau ?

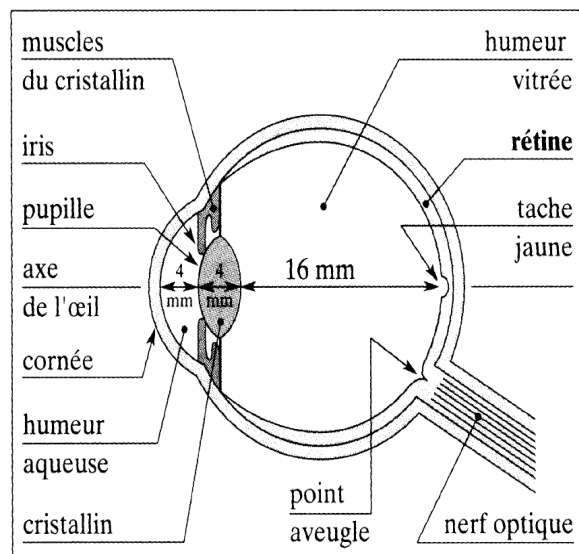
Problème 3 – L'œil « naturel » et L'œil artificiel

Dans ce problème, on s'intéresse à l'œil humain et aux rétines artificielles développées récemment qui visent à combler certaines formes de cécité.

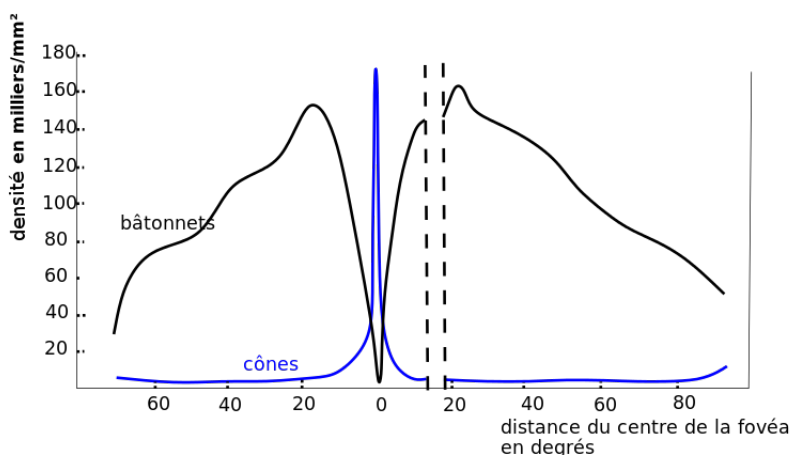
En s'appuyant sur les documents fournis ci-après, répondre aux questions suivantes :

1. Proposer une modélisation très simple de l'œil. Schématiser ce modèle. On indiquera toutes les valeurs numériques utiles.
2. Qu'appelle-t-on accommodation de l'œil? Rappeler la distance à l'œil au point le plus proche dont on peut former une image nette.
3. Rappeler l'ordre de grandeur de la résolution angulaire ε de l'œil.
4. A l'aide du document 6, estimer la taille moyenne d'une cellule rétinienne. Cette valeur est-elle cohérente avec la résolution angulaire de l'œil?
5. En déduire la profondeur de champ de l'œil au repos c'est-à-dire l'ensemble des points de l'axe optique qui peuvent être perçus nets simultanément sans accommoder.
6. Compte-tenu de la taille caractéristique de la pupille et en raisonnant suivant un modèle ondulatoire de la lumière, montrer que la taille caractéristique d'une cellule rétinienne constitue un optimum physiologique.
7. Par un calcul simple mais précis et détaillé, justifier l'affirmation suivante (doc.7) : « Les patients équipés de rétines artificielles sont capables de [...] lire le courrier. ».

Document 5 – Physiologie de l'œil humain



Document 6 – Densité de cellules sur la rétine



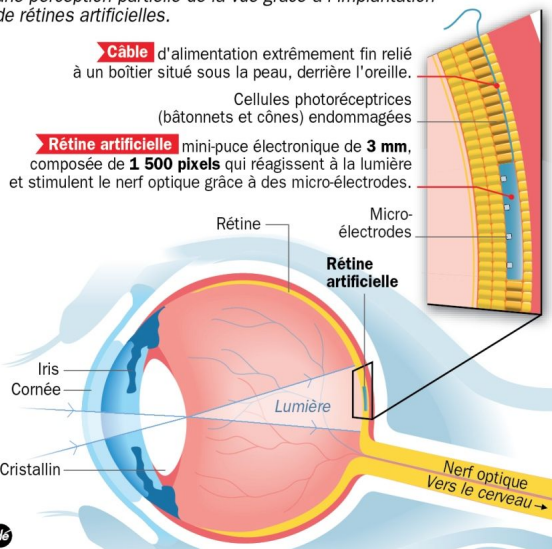
La rétine est constituée de cônes permettant la vision diurne et colorée ainsi que de bâtonnets permettant la vision crépusculaire et nocturne en noir et blanc.

Document 7 – La rétine artificielle Retina Implant AG

La rétine de l’œil est composée de cellules sensibles à la lumière, les photorécepteurs, et d’un réseau de neurones. Les premières transforment les signaux lumineux en signaux électriques et stimulent des neurones, notamment les cellules ganglionnaires, qui acheminent les messages jusqu’au cerveau via le nerf optique. La défaillance des photorécepteurs altère la vue et peut conduire à la cécité.

Une rétine artificielle testée avec succès

2 patients anglais, aveugles depuis plusieurs années, ont retrouvé une perception partielle de la vue grâce à l’implantation de rétines artificielles.



La rétine artificielle se substitue à ces cellules pour stimuler les neurones résiduels de la rétine et rendre en partie la vue à ces personnes. Il s’agit notamment d’un implant de 3 mm × 3 mm fixé sur ou sous la rétine et composé d’électrodes qui stimulent les neurones rétinien. Les premiers essais ont débuté dans les années 1990 avec des dispositifs incluant 16 à 20 électrodes. Ils en comportent actuellement jusqu’à 1 500.

La patients équipés de rétines artificielles sont capables de détecter des mouvements, repérer des obstacles mais aussi reconnaître des visages et lire le courrier.

ANNEXE

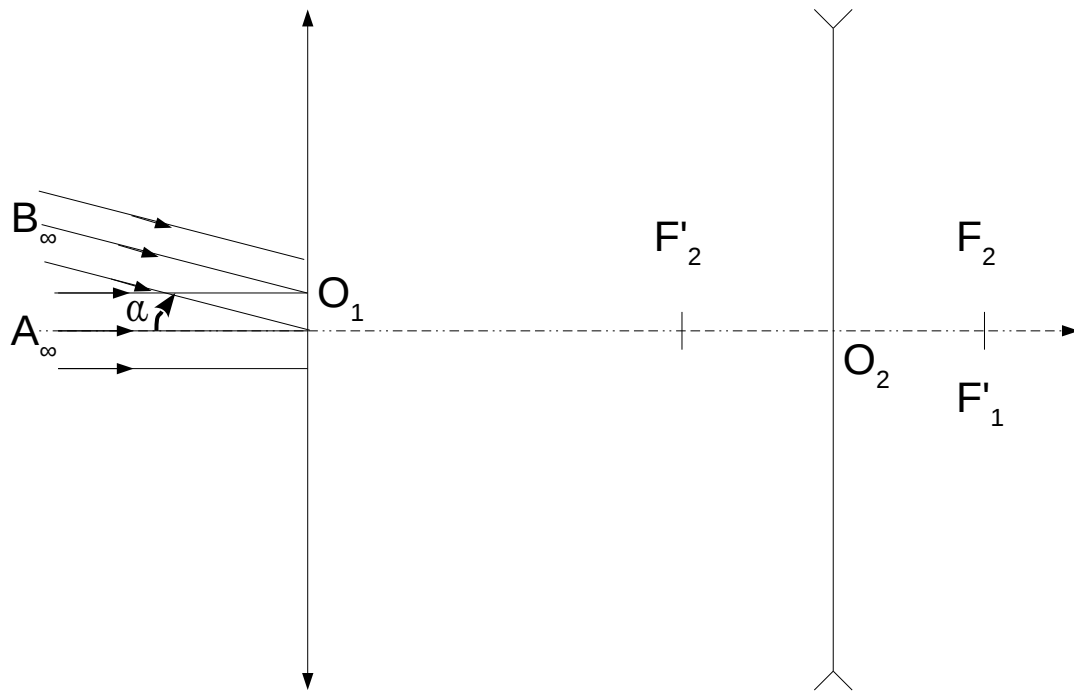


FIGURE 1 – Schéma de la lunette afocale. L'échelle sur l'axe est 1/10 et l'angle α est volontairement exagéré.

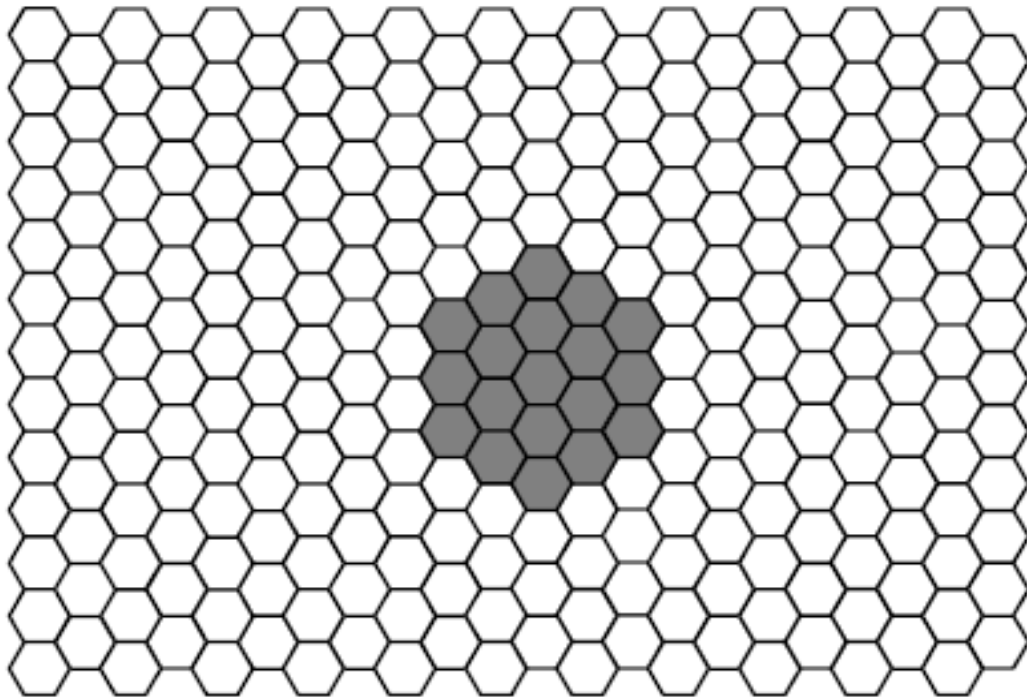


FIGURE 2 – Image numérique de Saturne (les 19 pixels de la tâche formée par Saturne ont été grisés)