

Margaux Roux
Gabrielle Laloy-Borgna
Lilian Guillemeney

CAPES

Réussir le CAPES de physique-chimie

Rappels de cours, méthodes
et annales corrigées

- Fiches de cours de Physique
- Fiches de cours de Chimie
- Annales corrigées des épreuves disciplinaires 2014 à 2021



DE LA CHIMIE ET DE LA PHYSIQUE AUTOUR DES CINQ SENS

Grâce à ses sens, l'Homme perçoit le monde qui l'entoure : les organes sensoriels fournissent des informations sur l'environnement. Ainsi, par exemple, il est possible d'échapper à certaines situations à risques en détectant une odeur de fumée, un bruit d'explosion ou le goût amer de certaines baies toxiques... La recherche scientifique a permis de quantifier ces « sensations » et de les analyser pour comprendre les phénomènes qui en sont responsables.

Ce sujet propose, à travers cinq parties totalement indépendantes, d'illustrer l'apport de la physique et la chimie dans la compréhension de ces mécanismes.

Partie A : La vue

Partie B : Le goût

Partie C : Le toucher

Partie D : L'odorat

Partie E : L'ouïe

Des données et des documents nécessaires à la résolution sont regroupés dans les annexes.

Il sera tenu compte dans la notation de la présentation, du soin accordé à la justification concise et rigoureuse des réponses, en particulier pour les questions « ouvertes », ainsi que de la maîtrise de la langue française.

PARTIE A - LA VUE

La perception visuelle du monde qui nous entoure n'est pas uniquement due à l'œil, présenté comme organe de la vision, elle est rendue possible grâce à l'activité d'une importante partie du cerveau. L'œil capte les rayons lumineux qui viennent de l'environnement et les transforme, au niveau de la rétine, en impulsions nerveuses qui vont se propager jusqu'au cerveau.

La rétine est constituée de deux types de photorécepteurs, les cônes et les bâtonnets, plus fortement concentrés dans une zone appelée fovéa, qui permet une vision très fine à l'endroit où est dirigé le regard.

À la sortie de la rétine, il n'existe plus de scène visuelle à proprement parler, les informations visuelles sont transmises sous forme d'influx électrique de l'œil au cerveau et c'est au niveau cérébral que la scène va être reconstruite en fonction des différentes informations portant sur la couleur, la forme, le mouvement, la localisation spatiale que les aires cérébrales vont analyser.

Dans le cerveau, les aires cérébrales visuelles représentent près d'un tiers du volume et sont chacune spécialisées dans un type de traitement particulier, du plus perceptif au plus cognitif, précisant de mieux en mieux la scène visuelle observée, jusqu'à aboutir à une représentation visuelle complète qui a du sens pour l'observateur.

Ce que nous voyons est donc une construction de notre cerveau et non une stricte photographie du monde extérieur que nos yeux auraient prise.

Cette partie est consacrée à quelques aspects de la vision en trois dimensions (3D).

I) L'ŒIL ET LA VISION DES OBJETS

Caractéristiques et schéma d'un œil représenté figure 1.

Cristallin au repos : épaisseur : $e = 4,0$ mm ; indice le long de l'axe oculaire :

$n_c = 1,420$; rayon de courbure de la face antérieure $R_1 = 10,0$ mm ; rayon de courbure de la face postérieure $R_2 = -6,0$ mm

Distance entre le centre optique du cristallin et la rétine : $d = 17,0$ mm

Indice de l'humeur aqueuse et de l'humeur vitrée : $n_h = 1,336$

Vergence (fixe) de la cornée : $V_{cor} = 42 \delta$

Persistance rétinienne : $\Delta t_{ret} = 50$ ms

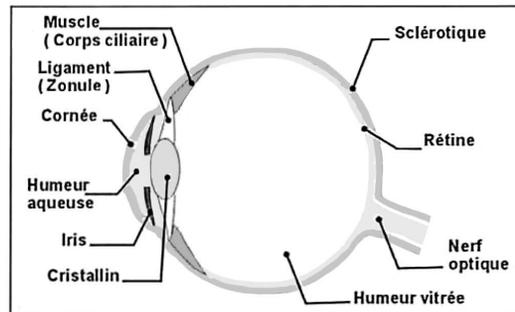


FIGURE 1

Q1) Expliquer, comme vous le feriez à un élève de Première S, qu'un œil normal permet à la fois la vision des objets proches et lointains. Cette explication (environ dix lignes) devra au moins utiliser les mots cristallin, iris et rétine et pourra s'appuyer sur un ou des schémas.

Le cristallin peut être modélisé soit par une lentille épaisse soit par une lentille mince. Dans le cas où il est modélisé par une lentille épaisse, la vergence V_{cr} du cristallin s'exprime :

$$V_{cr} = (n_c - n_h) \times \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right) + \frac{e(n_c - n_h)^2}{n_c R_1 R_2}$$

où R_1 et R_2 sont respectivement les rayons de courbure des faces antérieure et postérieure du cristallin, n_c l'indice du cristallin, e son épaisseur, n_h l'indice des humeurs aqueuse et vitrée.

Q2) Dans le cadre de ce modèle (lentille épaisse), calculer la vergence du cristallin au repos.

Q3) En déduire que modéliser le cristallin par une lentille mince (comme cela est fait en classe de Première S) peut se justifier.

Q4) Déterminer la vergence du système cornée-cristallin en considérant les deux systèmes (cornée et cristallin) comme des lentilles minces accolées.

Q5) Cet œil au repos voit-il net un objet situé à l'infini?

II) POLARISATION DE LA LUMIÈRE

Q6) Définir les différents types de lumière polarisée et les illustrer par des schémas.

Q7) Proposer une expérience permettant de montrer si une lumière est polarisée ou non et indiquer les observations faites selon le type de polarisation.

Q8) Indiquer deux méthodes d'obtention de lumière polarisée à partir de lumière naturelle.

III) LES FILMS POLARISANTS

Les films polarisants utilisés actuellement sont constitués d'une matrice polymère transparente dans laquelle sont insérées des particules conductrices en forme de bâtonnets. L'ensemble est étiré de façon à aligner les chaînes de polymère et les particules conductrices selon une direction privilégiée.

En 1852, un chercheur (William B. Herapath) découvre par hasard que les cristaux d'iodoquinine, obtenus par précipitation à partir d'une solution de quinine et d'eau iodée, possèdent des propriétés optiques intéressantes. Ils cristallisent sous forme d'aiguilles. Si deux de ces aiguilles sont superposées, on observe que l'intensité de la lumière transmise à travers cet empilement dépend de l'angle entre les axes des aiguilles ; cet empilement se comporte donc comme un ensemble polariseur-analyseur. On interprète l'anisotropie de ces cristaux par l'alignement d'ions triiodure I_3^- « conducteurs » entre les molécules de quinine.

Q9) Comment était obtenue la quinine utilisée par Herapath en 1852 ?

Q10) Proposer une formule de Lewis pour l'ion triiodure et justifier qu'elle soit compatible avec la forme de bâtonnet.

La substance reste une curiosité de laboratoire jusqu'en 1929, les cristaux obtenus étant trop petits pour être utilisés en optique. À cette date Edwin H. Land a l'idée de déposer les cristaux sur une feuille de nitrocellulose, substance étudiée entre temps pour ses propriétés explosives. Il obtient la « feuille J » qui possède les propriétés requises pour former un film polarisant.

En 1938, une amélioration est proposée, en remplaçant la nitrocellulose par l'alcool

polyvinyle. Celui-ci est préparé à partir du polyacétate de vinyle par une succession de réactions. Le polyacétate de vinyle est lui-même obtenu par polymérisation de l'acétate de vinyle $\text{H}_2\text{C}=\text{CH}-\text{O}-\text{CO}-\text{CH}_3$. Une des premières réactions de polymérisation mise en œuvre est décrite ci-dessous¹:

« L'acétate [de vinyle] est mis en flacons de verre de deux litres et exposé au soleil sur des étagères. Après quatre jours, la Mowilith (le polymère) est formée. La masse se dilate et les flacons cassent d'eux-mêmes. »

Q11) Quel type de polymérisation évoque ce protocole ? Représenter l'unité de répétition du polyacétate de vinyle.

Il faut ensuite obtenir l'alcool polyvinyle d'unité de répétition $-(\text{CH}_2-\text{CHOH})-$ à partir du polyacétate de vinyle.

Q12) Proposer une méthode classique pour réaliser cette transformation. Écrire l'équation de la réaction ainsi mise en œuvre sur une unité de répétition du polyacétate de vinyle.

Le polyacétate de vinyle étant soluble dans les alcools, la méthode choisie en 1938 consiste à le faire réagir dans du méthanol en présence de méthanolate de sodium (Na^+ , H_3CO^-). C'est une réaction de transestérification, nommée ici alcoolysé.

Q13) Identifier le sous-produit obtenu lors de cette alcoolysé.

La transformation du polyacétate de vinyle en alcool polyvinyle peut être contrôlée de façon à ne modifier qu'une partie des groupes $-\text{O}-\text{CO}-\text{CH}_3$ afin de conférer au produit les propriétés physiques souhaitées (viscosité, solubilité...). On obtient alors un copolymère de l'acétate de vinyle et de l'alcool vinylique.

Q14) Nommer et illustrer les trois types de copolymères que l'on peut obtenir avec deux unités de répétition notées A et B. Quel type va-t-on obtenir ici ? Justifier la réponse.

Q15) Expliquer pourquoi l'alcool polyvinyle ne peut pas être obtenu par polymérisation de l'alcool vinylique.

IV) UTILISATION DES FILMS POLARISANTS POUR LE CINÉMA EN RELIEF

La vision en relief est liée au fait que les images captées sur les rétines de l'œil gauche et de l'œil droit sont très légèrement différentes. Ceci est dû au fait que les centres des deux cornées sont séparés de 6,5 cm en moyenne. Le cerveau se charge ensuite de recréer le relief.

Sur un écran de cinéma, pour recréer la vision en trois dimensions (3D), on fait défiler

1. Rapport de la Société Chimique des Usines du Rhône, cité par Jean-Marie Michel dans *Contribution à l'histoire industrielle des polymères en France*, sur le site de la Société Chimique de France.

successivement une image pour l'œil gauche et une autre image, légèrement différente, pour l'œil droit. Plusieurs techniques sont utilisées actuellement dans le domaine de la 3D. Cette partie étudie une technique passive utilisant de la lumière polarisée dont le principe est décrit sur un site internet¹:

« Principe de fonctionnement d'un projecteur numérique pour le cinéma en relief.

Dans un premier temps, le serveur envoie vers le projecteur deux signaux vidéo, chacun à une fréquence de 24 images par seconde, l'un servant à élaborer les images pour l'œil droit et l'autre les images pour l'œil gauche. Le projecteur se charge de diviser chaque image originelle en trois afin de faire se succéder à l'écran une image pour l'œil droit puis une pour l'œil gauche et ainsi de suite, comme le montre la figure 2 ; on parle ici de triple flash.

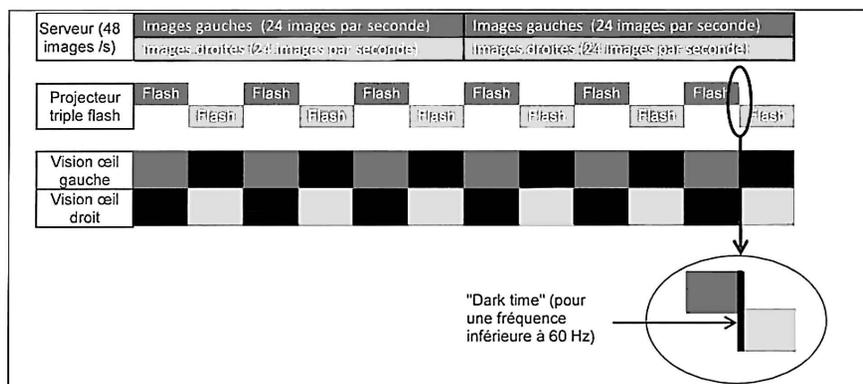


FIGURE 2

Ainsi, sur l'écran, chaque image subsiste pendant 7 ms. Pour que chaque œil reçoive sélectivement l'image qui lui est destinée, il suffit de polariser différemment les images pour l'œil droit et pour l'œil gauche et de fournir aux spectateurs des lunettes dont les verres sont constitués de polariseurs possédant des propriétés différentes pour chaque œil.

Pour réaliser une polarisation circulaire droite et gauche des images, un filtre à cristal liquide (Z-screen) est placé devant le projecteur et est synchronisé avec ce dernier. Les polariseurs des lunettes sont, quant à eux, des polariseurs circulaires droit et gauche qui, par exemple, transmettent la polarisation circulaire droite et stoppent la polarisation circulaire gauche pour l'œil droit et inversement pour l'œil gauche. On peut également travailler en polarisation rectiligne. »

Q16) Justifier le fait que le fonctionnement de ce projecteur amène chaque image à demeurer pendant 7 ms à l'écran.

1. D'après <http://www.volfoni.com/fr/technologies-3d/comment-ca-marche>

Q17) Expliquer, éventuellement en vous appuyant sur un schéma, pourquoi le spectateur muni de ses lunettes voit effectivement le film en relief.

Q18) À la fin du texte précédent, il est indiqué qu'il est possible de « *travailler en polarisation rectiligne* ». Citer un défaut lié à l'utilisation de lumière polarisée rectilignement dans ce cas.

PARTIE B - LE GOÛT

Le goût est le sens par lequel on perçoit les saveurs à l'aide des papilles situées sur la langue. Le goût des aliments et leur perception sont un moteur puissant de notre comportement alimentaire, ce qui explique pourquoi les scientifiques et les industriels cherchent à comprendre les mécanismes du goût pour améliorer la qualité de nos aliments.

On reconnaît aujourd'hui cinq saveurs de base : acide, salé, amer, sucré et *umami*, « le cinquième goût ». Celui-ci est associé aux glutamates et a été découvert en 1908 par un chercheur japonais, Kikunae Ikeda.

Dans cette partie, on s'intéresse à quelques aspects des saveurs *umami* et sucrée.

I) LE GOÛT *umami*

Les glutamates dérivent de l'acide glutamique dont le nom officiel est « acide 2- aminopentanedioïque ». On trouve dans les tables trois valeurs de pK_a pour les couples dérivant de l'acide glutamique : $pK_{a1} = 2,16$, $pK_{a2} = 4,15$ et $pK_{a3} = 9,58$.

Q19) Sur un axe gradué en pH, représenter explicitement la forme acido-basique prédominante dérivée de l'acide glutamique dans les différents intervalles de pH. Justifier la réponse comme vous le feriez auprès d'un élève de Terminale S.

La cuisine asiatique fait grand usage du glutamate de sodium (GMS, glutamate monosodique, exhausteur de goût portant le code E 621) parfois suspecté de provoquer des troubles de la santé, notamment des migraines.

Q20) Dessiner la structure du GMS et justifier le fait que ce soit la forme acido-basique présente dans la cuisine asiatique.

On trouve l'extrait suivant sur un site internet couramment consulté par les élèves et les enseignants scientifiques¹:

« ... De nombreux aliments utilisés dans la cuisine occidentale sont riches en glutamate déshydrogénase (à ne pas confondre avec le glutamate monosodique, qui lui n'est pas naturel et fabriqué industriellement à partir de produit dont on ignore toute provenance) comme l'asperge verte (106 mg/100 g), la coquille Saint-Jacques

1. http://fr.wikipedia.org/wiki/Acide_glutamique (Avril 2013) et <http://dictionnaire.sensagent.com/Acide%20glutamique/fr-fr/>

(140 mg/100 g) et la tomate (246 mg/100 g), ils ne déclenchent aucune migraine ou autre maladie car le glutamate déshydrogénase présent dans ces aliments est naturel. En revanche des études sérieuses ont démontré que le glutamate monosodique pouvait avoir un effet désastreux sur des souris ... »

Q21) Repérer dans cet extrait deux idées susceptibles d'amorcer une discussion en classe et préciser à quelle conclusion vous souhaiteriez faire aboutir cette discussion. (10 lignes maximum pour l'ensemble de la question)

II) LE GOÛT SUCRÉ

Pour sucrer les aliments, on peut utiliser le sucre blanc traditionnel, qui présente comme inconvénient de favoriser, entre autres, l'obésité et les caries dentaires.

Q22) Indiquer le nom scientifique de ce sucre.

Il est possible de remplacer le sucre blanc par des polyols moins caloriques et peu cariogènes. Le sucre de bouleau, ou xylitol (E 967) est présent naturellement dans certains aliments comme les framboises. Il est obtenu industriellement par réduction du xylose, lui-même extrait de l'écorce de bouleau. Le xylose est un stéréoisomère de configuration du 2,3,4,5-tétrahydroxypentanal.

Q23) Représenter les formules semi-développées ou topologiques du xylose et du xylitol en indiquant les centres stéréogènes dans ces molécules.

Q24) La molécule de xylitol n'est pas chirale. Que peut-on en déduire sur les descripteurs stéréochimiques (configurations) de certains de ses centres stéréogènes ? Justifier.

Il existe des produits sucrants totalement synthétiques. L'aspartame (E 951), dont la structure est donnée figure 3, possède un pouvoir sucrant plus de cent fois supérieur à celui du sucre blanc. Cet édulcorant est hydrolysé dans l'estomac, on se propose d'étudier expérimentalement cette hydrolyse acide.

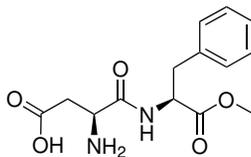


FIGURE 3 – Aspartame

On trouve dans la littérature¹ le protocole d'hydrolyse de l'aspartame suivant :

« Deux « sucrettes » d'aspartame Nutrasweet® sont broyées dans un mortier et solubilisées dans 25 mL d'acide chlorhydrique concentré (12 mol.L⁻¹). Le milieu est porté au reflux deux heures, puis refroidi dans un bain de glace. Environ 1 mL de la solution est prélevé et neutralisé par une solution saturée d'hydrogénocarbonate de sodium jusqu'à disparition du dégagement gazeux de dioxyde de carbone lors de l'addition. »

Q25) Dresser la liste exhaustive du matériel à demander aux techniciens de laboratoire pour mettre en œuvre le protocole de chauffage au reflux au lycée.

Q26) Proposer une méthode d'identification des produits obtenus et décrire succinctement les résultats attendus.

Q27) En quoi cette hydrolyse dans l'estomac présente-t-elle des dangers pour la santé ?

PARTIE C - LE TOUCHER

Toute la surface de la peau est pourvue de récepteurs sensoriels et, avec 2 000 terminaisons nerveuses par millimètre carré, c'est l'extrémité des doigts qui est la plus sensible au toucher. Les sollicitations appliquées sur la peau sont transformées par divers « mécanorécepteurs » (corpuscules de Pacini, de Meissner) en signal électrique transmis au cerveau.

La peau contient de nombreux « thermorécepteurs », terminaisons nerveuses sensibles au froid ou au chaud qui rendent compte de la température cutanée.

Cette partie étudie un dispositif qui, dans un environnement très froid, permet de réchauffer les mains par contact : une chaufferette de poche.

Une chaufferette de poche est une pochette étanche en matière plastique contenant un liquide incolore visqueux, noté L et une lamelle métallique. Quand on plie la lamelle métallique, le liquide L se transforme en quelques secondes en un solide blanc, noté S . La température de la chaufferette augmente alors spontanément et rapidement pour atteindre environ 50°C, valeur suffisante pour se réchauffer les mains. On peut ramener la chaufferette dans son état initial en l'immergeant pendant une durée suffisante dans l'eau bouillante, puis en la laissant refroidir sans toucher à la lamelle.

I) FABRICATION D'UNE CHAUFFERETTE

On peut trouver le mode opératoire de fabrication d'une chaufferette artisanale :

Ingrédients: 35 g de bicarbonate de soude, 0,50 L de vinaigre blanc à 8° (solution aqueuse d'acide acétique de fraction massique 0,08 et de densité environ égale à 1)

1. *Le Bup*, n°847, Octobre 2002, « L'aspartame, un édulcorant intense », par Prévost V., Langrand, C., Vidal, J.