MINISTÈRE
DE L'ÉDUCATION
NATIONALE,
DE LA JEUNESSE
ET DES SPORTS

Liberté
Égalité
Fraternité

Rapport du jury

Concours : Agrégation Interne

Section : Physique Chimie

Session 2020

Rapport de jury présenté par : Marie HOUSSIN, Présidente du jury

RAPPORT DU JURY DES CONCOURS DE L'AGRÉGATION INTERNE ET D'ACCÈS à l'ECHELLE de RÉMUNÉRATION DES PROFESSEURS AGRÉGÉS (CAERPA) DE PHYSIQUE - CHIMIE

SESSION 2020

1. Avant-propos du président 3

2. Informations statistiques 5

3. Épreuves écrites, questions disciplinaires et pédagogiques : attentes et évaluations 8

3.1. Rapport relatif à la composition de physique 9

3.2. Rapport relatif à la composition de chimie 13

4. Épreuves et programmes 2021 19

5. Annexes 24

5.1. Proposition de solution de la composition de physique 2020 24

5.2. Proposition de solution de la composition de chimie 2020 24

1. Avant-propos du président

Le rapport du jury de la session 2020 du concours de l'agrégation interne de physique-chimie et du concours d'accès à l'échelle de rémunération des professeurs agrégés (CAERPA) de physique-chimie est disponible sous forme numérique sur le site du ministère de l'Éducation nationale à l'adresse : https://www.devenirenseignant.gouv.fr/cid148653/sujets-rapports-des-jurys-agregation-2020.html

La situation sanitaire liée au Covid-19 a fortement perturbé l'organisation du concours dont les épreuves orales initialement prévues du 5 au 13 avril 2020 ont été annulées. Les épreuves écrites ont eu lieu les 30 et 31 janvier 2020 et conformément à l'arrêté du 10 juin 2020 portant adaptation des épreuves de certaines sections du concours interne, c'est sur la base des résultats à ces épreuves écrites que les 45 postes offerts pour l'agrégation interne et les 12 postes offerts pour le concours d'accès à l'échelle de rémunération des professeurs agrégés (CAERPA) ont été pourvus maintenant une sélectivité très forte des deux concours.
Une liste complémentaire de 28 candidats pour l'agrégation interne et de 4 candidats pour le CAERPA a été établie.

En plus de quelques données statistiques, ce présent rapport, dont l'objectif est de permettre aux nouveaux candidats de se préparer efficacement aux épreuves des sessions à venir, se concentre, en l'absence d'oraux, sur les rapports d'écrits des deux épreuves de chimie et physique, donne des propositions de solutions et présente le programme de la session 2021 à associer, pour la préparation aux épreuves orales, à une lecture du rapport de la session 2019.

Les épreuves écrites permettent en premier lieu d'apprécier le degré de maîtrise scientifique de la discipline physique-chimie à un niveau post-baccalauréat, la capacité à poser clairement les problèmes et à les résoudre avec des outils mathématiques maîtrisés, ainsi que la culture scientifique du candidat. Le niveau post-baccalauréat des sujets est en accord avec l'accès au corps des agrégés pour les professeurs exerçant dans l'enseignement public ou à l'échelle de rémunération des professeurs agrégés pour ceux qui relèvent de l'enseignement privé sous contrat. Un travail scientifique spécifique en physique et en chimie ainsi que sur les outils mathématiques associés est donc indispensable pour réussir le concours.

Les épreuves écrites sont aussi conçues pour permettre aux candidats de faire la preuve de leur expertise professionnelle acquise, d'une part, au cours de leur pratique quotidienne et, d'autre part, lors des différentes formations proposées par exemple dans le cadre des plans académiques de formation. En effet, il est indispensable que les professeurs confortent leur expertise en matière d'analyse de leur pratique professionnelle sur les plans pédagogique et didactique. Ces compétences sont évaluées à l'aide de questions dites "pédagogiques" qui comptent pour environ 20 % des points attribuables.

Lors de cette session, les correcteurs ont pu apprécier d'excellentes copies attestant de connaissances solides et d'un réel recul sur la discipline et son enseignement.

Concernant la session 2021, le programme est un peu différent du programme de celle de 2020. Il s'appuie notamment sur les nouveaux programmes de lycée des classes de terminale générale et technologiques détaillés dans le BO spécial n°8 du 25 juillet 2019.

Par ailleurs, à l'oral, la répartition du temps dédié aux différentes parties de l'épreuve d'exposé, consistant en une présentation d'un concept et son exploitation pédagogique, évolue. En effet, afin de donner à la présentation du concept proposé une dimension didactique, de donner au candidat plus de temps pour attester de sa maîtrise disciplinaire et de l'inciter à apporter une meilleure cohérence entre les parties pédagogiques au niveau collège-lycée et la partie développement au niveau post-bac du concept proposé, les deux parties de l'exposé, d'importance équivalente, deviennent :

- une partie relative au concept scientifique du sujet proposé incluant un développement pédagogique et didactique ;
- une partie développée à un niveau post-baccalauréat relative au concept.

Lors de cette session 2020, l'ensemble des postes mis au concours a été pourvu et le jury tient à féliciter les lauréats. Le jury espère vivement que la session 2021 se déroulera sereinement, permettant de rendre aux épreuves orales leur place essentielle dans l'évaluation des compétences pédagogiques et didactiques des candidats, la précision, la rigueur et la qualité de l'expression orale étant au cœur du métier d'enseignant.

2. Informations statistiques

Au titre de la session 2020, 45 places ont été mises au concours de l'agrégation interne de physique-chimie, et 12 au CAERPA de physique-chimie.

Les tableaux ci-dessous donnent les informations générales relatives aux candidats du concours 2020 et les comparent aux données correspondantes des dix dernières sessions.

Agrégation interne

Année	Postes	Inscrits	Présents	Taux de présence	Admissibles	Admis
2011	35	1685	895	53,1%	71	35
2012	35	1546	975	63,1%	72	35
2013	40	1407	886	63,0%	83	40
2014	35	1472	983	66,8%	78	35
2015	40	1442	946	65,6%	93	40
2016	42	1481	979	66,1%	91	42
2017	44	1424	943	66,2%	90	44
2018	44	1377	880	63,9%	90	44
2019	42	1356	876	64,6%	93	42
2020	45	1149	775	67,4%	90	45

CAERPA

Année	Postes	Inscrits	Présents	Taux de présence	Admissibles	Admis
2011	8	365	175	47,7%	13	8
2012	9	269	178	66,2%	12	7
2013	11	272	180	66,2%	13	9
2014	12	289	184	63,7%	18	12
2015	18	269	174	64,7%	15	8
2016	11	279	184	65,9%	17	8
2017	10	279	175	62,7%	18	10
2018	11	271	169	62,4%	18	9
2019	12	280	179	63,9%	14	6
2020	12	256	149	58,2%	18	12

Épreuves écrites

Ce tableau présente les moyennes et les écarts-types des notes des candidats présents et admissibles ainsi que les barres d'admissibilité, d'admission et de la liste complémentaire pour chacun des concours, agrégation interne et CAERPA.

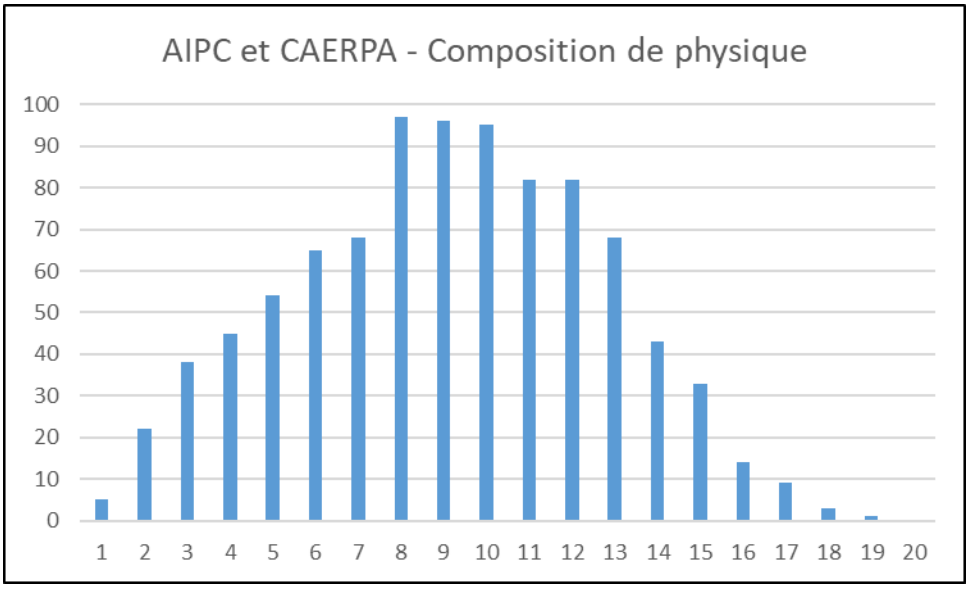
	Agrégation interne	CAERPA
Composition sur la physique (/20) :		
Moyenne	8,81	8,32
Écart-type	3,58	3,42
Note maximale	18,8	16,1
Moyenne des candidats admissibles	13,68	12,9
Écart-type des candidats admissibles	2,00	1,54
Composition sur la chimie (/20) :		
Moyenne	8,97	9,29
Écart-type	3,89	4,17
Note maximale	20	18,8
Moyenne des candidats admissibles	14,73	15,94
Écart-type des admissibles	2,06	2,07
Barre d'admissibilité (/40)	25,9	25,9
Nombre d'admissibles	90	18
Barre d'admission (/40)	27,9	27,8
Nombre d'admis	45	12
Barre de la liste complémentaire (/40)	26,8	26,8
Nombre de candidats en liste complémentaire	28	4

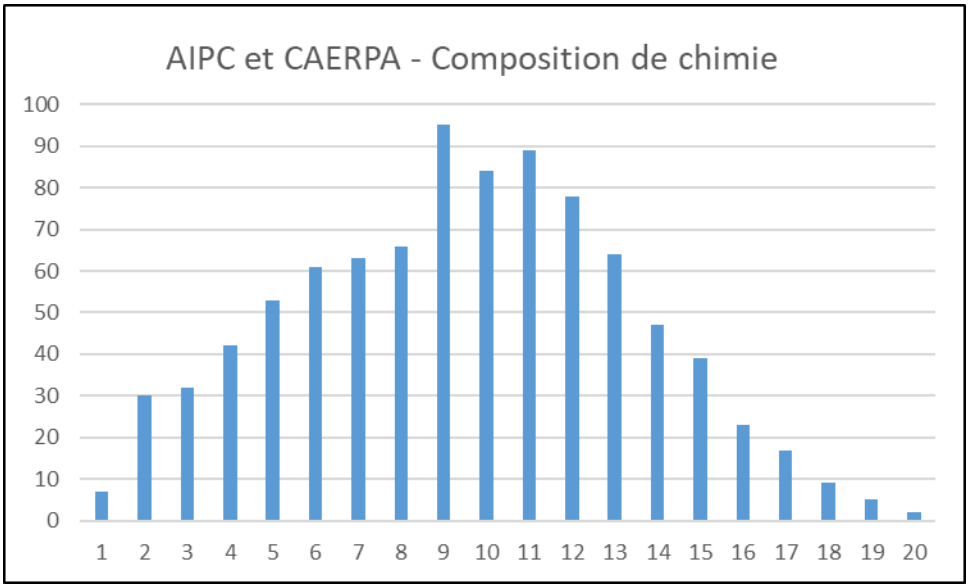
Sur l'ensemble des 2 concours, le pourcentage de femmes présentes aux épreuves écrites est de 37 %, de femmes admissibles de 41 % et de femmes admises de 40 %.

L'âge moyen des candidats admissibles est de 42 ans, de même que l'âge des candidats reçus à l'agrégation interne et au CAERPA. Pour le concours de l'agrégation interne, l'âge des candidats admissibles s'échelonne de 29 à 59 ans, celui des admis de 31 à 52 ans. Pour le CAERPA, les candidats admissibles, de même que les candidats admis ont entre 31 et 52 ans.

En plus d'enseignants certifiés exerçant dans l'enseignement secondaire, sont reçus à l'agrégation interne en 2020, un professeur agrégé d'une autre discipline, deux professeurs de lycée professionnel, un professeur certifié détaché dans l'enseignement supérieur et un personnel enseignant titulaire de la fonction publique.

Les notes des compositions de physique et de chimie des deux concours « agrégation interne » et CAERPA confondus se répartissent selon les deux graphiques suivants :





3. Épreuves écrites, questions disciplinaires et pédagogiques : attentes et évaluations

Les attentes

Un professeur de physique-chimie agrégé ou promu à l'échelle de rémunération des professeurs agrégés doit maîtriser sa discipline à un niveau post-baccalauréat. L'ensemble des questions permet d'évaluer le niveau d'appropriation des concepts de la discipline, la capacité à modéliser et mettre en équation les phénomènes physiques ou chimiques étudiés, la maîtrise des outils mathématiques ou numériques nécessaires, la compréhension qualitative des phénomènes, leur contexte historique et la connaissance des ordres de grandeur. Au moins une question concerne la connaissance du langage Python : lecture, modification ou correction d'un petit programme.

Le concours s'adressant à des professeurs en exercice au collège et au lycée, des questions pédagogiques, s'articulant avec les questions relevant de la physique ou de la chimie, permettent de mettre en évidence les liens entre les notions de science abordées et l'enseignement de ces notions. Les questions pédagogiques portent sur l'ensemble des programmes d'enseignement concernés par la composition et comptent pour typiquement 20 % du barème.
Concernant les questions pédagogiques, un corpus de documents supports ou de bibliographie est en général fourni en annexe du sujet, ainsi que des extraits de programmes officiels. Cependant, on attend d'un professeur candidat au concours de l'agrégation interne qu'il connaisse suffisamment les objectifs des programmes tant sur le plan des concepts étudiés que des compétences à développer chez les élèves, des modalités pédagogiques et des enjeux didactiques de l'enseignement de la physique et de la chimie.
La préparation du candidat à ce type de question relève de l'exercice de sa pratique quotidienne d'enseignant et de son travail personnel d'analyse de pratique.

L'évaluation

La justesse, la clarté, la concision, la qualité de l'argumentation et la rigueur scientifique des réponses sont évaluées.

Pour les questions pédagogiques, selon leur nature, sont évalués entre autres :

- la qualité scientifique de la réponse ;
- la concision et la pertinence de la réponse ;
- l'adéquation de la proposition avec les objectifs des programmes concernés ;
- la capacité à identifier les compétences mobilisées par les élèves dans une activité ;
- le réalisme de la proposition en termes de scénario pédagogique et de mise en œuvre en classe au niveau concerné ;
- la capacité d'analyse des objectifs d'apprentissage d'une activité ;
- la capacité d'analyse des difficultés présentes dans une activité ;
- la capacité d'évaluation d'une production d'élève (y compris l'usage rigoureux de la langue française et des langages scientifiques) ;
- la bonne articulation entre notion(s) scientifique(s) concernée(s) et proposition pédagogique ;
- l'esprit critique, la finesse de l'analyse ainsi que l'efficacité et la qualité de l'argumentation.

3.1. Rapport relatif à la composition de physique

Commentaires généraux.

Le sujet porte sur différentes méthodes de réalisation d'images notamment dans le domaine médical. Il permet d'aborder divers domaines de la physique : optique, ondes acoustiques, radioactivité, numérisation de signaux.

Sur l'ensemble des copies, toutes les questions sont abordées. Cependant, la première partie est la plus largement traitée. Le jury souligne l'existence de plusieurs très bonnes copies rédigées avec concision et rigueur. Des réponses courtes, réfléchies, structurées appuyées sur des schémas témoignent de véritables qualités scientifiques et pédagogiques.

Concernant les questions de nature pédagogique (QP), elles sont généralement rédigées avec un effort de concision. Cependant, certains candidats proposent des réponses sous forme d'un long texte sans paragraphe, où les arguments sont mélangés et répétés ; ceci atteste d'un manque d'organisation et conduit à une note faible pour ces questions. L'un des attendus pour ces questions est un ancrage dans la pratique professionnelle habituelle d'un professeur de physique-chimie. Par exemple, pour la QP3 dans laquelle une remédiation était demandée, une réponse concrète et une mise en situation sont attendus et non de simples banalités qui ne témoignent pas d'une réelle expertise pédagogique.

Du point de vue disciplinaire, de nombreuses copies sont rendues sans traitement des questions d'un niveau post-bac alors que les lauréats du concours de l'agrégation interne doivent attester d'un haut niveau scientifique. Le jury note aussi trop souvent un manque de culture générale scientifique ce qui induit un recul insuffisant sur les résultats trouvés. Par exemple, certains candidats obtiennent une valeur de la vitesse de l'électron supérieure à celle de la vitesse de la lumière et consignent ce résultat sans commentaire. Un résultat aberrant doit être commenté surtout si le candidat ne trouve pas la source de son erreur. Enfin, le jury attend d'un candidat qu'il fasse preuve d'honnêteté scientifique et qu'il ne cherche pas à dissimuler des erreurs pour retrouver un résultat donné dans l'énoncé.

Notons par ailleurs que l'outil mathématique est souvent mal maîtrisé que ce soit lors de la modélisation d'un système physique ou dans la conduite des calculs. Dans plusieurs copies, toutes les questions nécessitant un minimum de calculs sont systématiquement non traitées ou mal traitées. Cela a été particulièrement flagrant pour les questions utilisant le modèle de la goutte liquide de Bethe-Weizsäcker. La physique n'est pas seulement descriptive mais aussi prédictive, il faut donc maîtriser *a minima* l'outil mathématique. Certaines questions demandent des interprétations ou des commentaires. Dans ce cas, des comparaisons numériques valent souvent mieux que des comparaisons qualitatives hasardeuses. Le jury invite enfin les candidats à proposer davantage de schémas pour étayer leurs réponses, les rendre plus claires et plus précises.

Commentaires par question.

La première partie porte essentiellement sur l'optique géométrique. Elle est abordée par l'ensemble des candidats. Le jury tient à attirer l'attention sur certains points :

- des calculs d'optique géométrique menés sans construction géométrique sont souvent erronés ;
- un seul rayon lumineux ne permet pas de construire l'image d'un objet à travers un système optique ;
- les tracés au crayon papier manquent de contraste et sont parfois difficilement visibles.

QP1 : Certains candidats confondent prérequis ou « connaissances initialement acquises » et conceptions initiales. Le jury note que fermer les yeux et ne plus voir d'image ne permet pas de démonter la fausse conception suivant laquelle l'œil émet de la lumière pour voir. La déconstruction d'une conception initiale

erronée ne peut se résumer à un argument d'autorité : « La théorie dit que ». Elle doit être fondée sur la mise en place d'expériences, une approche épistémologique ou historique.

QP2 : En masquant la moitié d'une lentille, on n'observe pas la disparition de la moitié de l'image : c'est justement une conception présente chez la plupart des élèves qu'il faut déconstruire. La notion d'image réelle et d'image virtuelle pose problème à certains candidats. La définition attendue est de nature physique et non géométrique (à gauche ou à droite de la lentille !). Une approche expérimentale, un dessin soigneux sont à privilégier par rapport à de simples arguments d'autorité. Dans plusieurs copies, le sens de la question de ce qu'on observe avec son œil lorsqu'on retire le cache et l'écran n'est pas compris. Le jury rappelle qu'il est possible de voir des images réelles avec l'œil et sans écran. Pour cela, il ne faut pas mettre son œil à l'endroit où se trouvait l'écran auparavant. À cet endroit, il est garanti de ne pas la voir.

QP3 : La notion d'implicite échappe à certains candidats. La sémiologie, la modulation des registres de langage sont importants dans la transmission des connaissances. Des phrases malheureuses en début de séance induisent souvent de lourdes incompréhensions chez les élèves. La solution à un problème de rédaction n'est pas de le contourner en évitant de rédiger des phrases ou en se défaussant sur le collègue de français. Pour une bonne remédiation, la correction de la langue et des reformulations plus simples jusqu'à aboutir à la formulation scientifique sont à privilégier. Cela permet d'expliquer les différences entre le langage scientifique et le vocabulaire usuel de la conversation courante.

Q4 : Le modèle de l'œil réduit comporte trois éléments : le diaphragme, souvent oublié dans les copies, la lentille convergente et l'écran.

Q5 : Des candidats semblent ignorer qu'un objet à l'infini est un objet situé à une distance grande devant la distance focale de la lentille. Son image se forme donc dans le plan focal image de la lentille.

Q6 : L'algébrisation des relations de conjugaison semble poser problème à certains candidats.

QP7 : La multiplication de schémas clairs permet de bien argumenter la réponse. Le caractère virtuel du Punctum Remotum (PR) est ignoré par de nombreux candidats.

Q8-9-10 : Ces questions sont traitées par un grand nombre de candidats. Pour la question 8, de nombreuses copies indiquent le bon résultat algébrique, mais sur la base d'un raisonnement faux : le schéma fait souvent intervenir un objet étendu, alors qu'on demandait de représenter les rayons issus d'un objet *ponctuel* à la distance *L* de l'œil. Pour ces questions, des constructions insuffisamment réfléchies conduisent à des calculs inextricables et ne permettent pas de conclure. De plus, un commentaire ne saurait se résumer à une paraphrase du calcul.
Q11 : Il y a souvent confusion entre sources cohérentes et sources en phase.

Q12 : La définition de la diffraction est rarement isolée des conditions de son observation qui sont souvent mal comprises. Pour trop de candidats, la taille de l'ouverture diffractante doit être petite devant la longueur d'onde ou du même ordre de grandeur pour observer de la diffraction. Or dès lors qu'il y a une ouverture, la diffraction est présente.

Q13 : Le jury rappelle que plusieurs sous-questions dans une même question sont liées. L'expression de « x » est utile pour déterminer l'ordre de grandeur du rayon de la tache de diffraction et conclure.

Q14 : Quelques candidats connaissent mal les conditions de l'approximation de Gauss alors qu'il s'agit d'une connaissance de base d'optique géométrique.

Q16 : Le soin apporté à la construction est valorisé. Un microscope n'est pas fait pour observer un objet à l'infini.

Q17 : Une schématisation des deux situations d'observation (à l'œil nu et avec la lentille) permet de répondre à cette question.

Q19 : Souvent, le grossissement commercial est donné sans justification.

Q20 : La question est souvent mal traitée. Quelques connaissances élémentaires sur la qualité des objectifs d'un microscope sont bienvenues. L'utilisation d'un diaphragme est insuffisante dans ce cas.

Q22 : Il est insuffisant de dire que le microscope sert à voir des objets trop petits pour être observés à l'œil nu, sans éléments quantitatifs.

Q23 : La microscopie par immersion est trop peu connue.

Q24 : L'utilisation de la seconde loi de Newton est parfois maladroite. Un raisonnement énergétique s'impose. Certains candidats obtiennent une vitesse de l'électron supérieure à la vitesse de la lumière et écrivent ce résultat sans commentaire.

Q25 : Une comparaison suppose un élément de comparaison. Il est par exemple improbable que la résolution du microscope optique soit supérieure à celle du microscope électronique.

La seconde partie a pour thème l'échographie. Elle est abordée par une grande majorité des candidats.

Q26 : Certains candidats pensent aux contraintes de cisaillement par viscosité.

Q27 : Cette question est très mal traitée. Certains candidats confondent les termes isentropique et isotrope. Le jury attend une comparaison entre deux durées.

Q28 : Cette question est bien traitée. Davantage de rigueur mathématique est attendue à ce niveau de concours. Le jury note une confusion entre dérivée partielle et différentielle.

Q29 : Les ordres de grandeur sont à connaître.

Q30 : Une dérivée logarithmique s'impose. L'ordre de grandeur doit être connu.

Q31 : Des erreurs sur la valeur de la vitesse conduisent à des longueurs d'onde fausses.

Q32 : Cette question est bien traitée. En notation complexe, le résultat est immédiat.

Q33 : Certains candidats choisissent mal dans le tableau les impédances des milieux. Les arguments sont souvent confus. On attend le terme d'adaptation d'impédance pour l'utilisation du gel échographique. La partie "échographie du cerveau" n'est quasiment jamais réussie.

Q34 : La piézoélectricité est assez mal connue et les frères Curie sont rarement cités.

Q36/37 : Le retard est un décalage temporel, pas un temps d'arrivée. Le théorème de Pythagore doit intervenir.

QP40 : Les réponses données aux étudiants doivent être rédigées dans un français précis et utiliser des termes scientifiques appropriés. Pour expliciter les étapes de la démarche de résolution, plutôt que de décomposer le problème, plusieurs candidats utilisent la moyenne arithmétique des vitesses ou choisissent uniquement la vitesse dans l'humeur vitrée. Cette méthode aboutit à un résultat proche de celui obtenu en

décomposant le problème comme attendu, mais ne peut être considérée comme correcte vu le contexte et la question précédente.

Q41/42 : De nombreux candidats donnent le résultat de mémoire, sans démonstration. L'effet Doppler peut être facilement traité en écrivant les lois horaires de l'émetteur, du récepteur et des bips émis. C'est la méthode la plus efficace. L'utilisation de lois de composition vitesse/célérité donne des résultats erronés.

Q44 : Cette question est peu traitée alors qu'il suffit de multiplier les deux signaux et d'interpréter le résultat.

Q45 : Un filtre du premier ordre a deux paramètres : son atténuation en basse fréquence et sa bande passante.

La troisième partie, sur la tomographie par émission de positons est peu abordée par les candidats.

Q47 : Les réponses sont souvent incomplètes. Le mot antiparticule est attendu.

Q49/50 : Le modèle de la goutte liquide de Bethe-Weizsäcker pose beaucoup de problèmes techniques aux candidats. Les réponses sont floues ou approximatives.

Q51 : Le neutrino et l'anti-neutrino, cruciaux pour l'interprétation du spectre énergétique continu des désintégrations de type β, ne semblent pas connus de la majorité des candidats.

Q52/53/54 : La méthode de détermination de la position du point émetteur est différente de la triangulation, les photons étant émis dans la même direction, en sens contraires.

La dernière partie est abordée par une majorité de candidats.

Q55 : Cette question est plutôt bien traitée. Comme pour les questions Q11, Q12 et Q34, certains candidats ont des difficultés à donner une définition claire d'un phénomène physique.

Q56 : Les connaissances élémentaires sur les semi-conducteurs sont rarement maîtrisées.

Q57 : Les réponses sont souvent peu justifiées. Les calculs réalisés ne sont pas expliqués.

Q59/60/61 : La lecture de la figure de diffraction pose problème. Les questions sont peu abordées alors qu'il s'agit d'un travail qui peut être réalisé dans le secondaire.

Q62/63/64 : Ces questions sont bien traitées par quelques candidats. Le programme Python est ignoré par la quasi-totalité des candidats. Trop peu de candidats se préparent à la partie informatique du concours qui fait pourtant partie des compétences exigibles et qui est désormais inscrite dans les programmes du lycée.

3.2. Rapport relatif à la composition de chimie

Commentaires généraux

Le sujet porte sur l'étude de « l'utilisation et la valorisation des ressources aquatiques ». En effet, en ces temps d'évolution des modes de consommation et de production veillant à préserver la planète, les océans et les mers peuvent présenter une alternative pour produire des ressources alimentaires, énergétiques et médicales tout en offrant une approche respectueuse de l'environnement. Ce sujet aborde différents domaines de la chimie, couvrant des notions de chimie organique (stéréochimie, chiralité, écriture de mécanismes réactionnels et exploitation d'effets électroniques), de chimie des solutions (oxydo-réduction, réactions acido-basiques, de précipitation et de complexation), de cristallographie, de thermochimie ainsi que de spectroscopies RMN, IR ou encore UV-Visible.

Ce sujet comporte cinq parties distinctes. La première étudie l'utilisation des algues comme la spiruline en complément alimentaire et les alginates dans la cuisine moléculaire. La deuxième partie aborde la production d'eau de Javel pour lutter contre les bio-salissures. La troisième partie décrit comment le lithium présent dans les saumures peut être valorisé comme purificateur d'air dans les sous-marins. Quant à la quatrième partie, elle présente la valorisation d'un déchet conchylicole. Enfin, la cinquième partie est la synthèse organique d'un métabolite marin antipaludique. Quatre questions pédagogiques (QP6, QP13, QP16, QP23) nécessitant des développements substantiels complètent les questions disciplinaires. Sur l'ensemble des copies, presque toutes les questions sont abordées. Le rapport met l'accent sur les erreurs commises ou les points perfectibles. Concernant la forme, les copies sont dans l'ensemble bien présentées à l'exception de quelques-unes peu soignées dans lesquelles l'écriture est illisible. Il convient de soigner la rédaction de toutes les questions, qu'elles soient pédagogiques ou disciplinaires : des réponses concises, précises et argumentées sont souhaitées. En effet, beaucoup de candidats ne parviennent pas à rédiger de façon synthétique et proposent des réponses trop longues ou se perdent dans des considérations inutiles. Du point de vue scientifique, le jury attend des candidats à l'agrégation qu'ils disposent également d'une culture approfondie et qu'ils soient en capacité de mener des calculs avec rigueur, en établissant d'abord une expression littérale complète puis en procédant aux éventuelles applications numériques. Concernant ces dernières, une réflexion sur le nombre de chiffres significatifs est indispensable avant l'écriture du résultat final, accompagnée des unités adéquates ainsi que la rédaction, le cas échéant, d'un commentaire sur la pertinence de la valeur obtenue. Le jury tient à souligner la grande qualité de certaines copies qui révèlent une préparation sérieuse et de réelles compétences scientifiques.

Remarques ponctuelles

Q1. Les conditions d'applications de la loi de Beer-Lambert sont souvent limitées à la concentration alors qu'il faudrait donner les limites de l'appareil sur l'absorbance. Les autres conditions (pas de fluorescence, absence de précipité, rayonnement monochromatique) ne sont que très rarement évoquées. Le choix de la longueur d'onde de travail et le mode opératoire sont le plus souvent correctement décrits mais beaucoup de candidats oublient d'expliquer « le blanc » ou utilisent un vocabulaire imprécis.

Q2. Le calcul du pH n'est pas souvent mené correctement, et rarement à son terme. La majorité des candidats oublie l'une ou l'autre des deux dilutions et le pourcentage de pureté de la solution d'acide chlorhydrique. Dans certains cas, la masse volumique de la solution n'est pas prise en compte. Cela conduit à une détermination approximative du pH. La condition de non précipitation est vérifiée par différentes méthodes : comparaison du quotient de réaction et de la constante d'équilibre ou recherche du pH limite de précipitation après calcul de la concentration en ions Fe(III) libres.

Q3. Très peu de déterminations correctes sont proposées. Même si le principe est compris, le bilan de matière de la complexation est souvent erroné. Il est en particulier établi en quantités de matière qui reportées dans l'expression de la constante d'équilibre conduisent à une valeur incorrecte. La pile de concentration est rarement bien traitée. Certains candidats rencontrent des difficultés dans l'écriture du potentiel et confondent les potentiels d'électrodes avec les potentiels standard. D'autres, après avoir correctement écrit l'expression de la force électromotrice de la pile, confondent les concentrations en ions Fe(III) dans les compartiments 1 et 2 et proposent une expression erronée de la constante d'équilibre K.

Q4. De nombreux candidats ont bien compris que le ligand devait être en excès pour déplacer l'équilibre mais ne s'appuient que rarement sur des calculs précis de quantité de matière ou de concentration dans les tubes à essais. Encore une fois, la dilution est rarement prise en compte, lorsqu'un calcul est proposé.

Q5. L'analyse est souvent correcte même si parfois imprécise. La courbe est souvent décrite mais en employant un vocabulaire approximatif : « la courbe stagne » ou « on note un maximum », par exemple ; c'est la première partie de la réponse attendue, il fallait aussi l'analyser.

QP6. Les réponses sont le plus souvent évasives. Les points du programme doivent être clairement indiqués. Les candidats ont souvent proposé un protocole mais sans forcément le justifier en s'appuyant sur les objectifs du programme ainsi que sur leurs aspects pédagogiques. Les aspects pratiques liés à la séance sont rarement évoqués (contexte, matériel, travail en groupe ou non, documents fournis, trace écrite ou non). Souvent, les initiatives laissées aux élèves se limitent à trouver les volumes pour la dilution, ou alors lorsqu'ils sont fournis, à trouver comment en déduire la concentration. La capacité numérique n'est pas toujours suffisamment explicitée et les incertitudes sont très rarement abordées. Les candidats ne s'appuient pas assez sur les capacités du programme à travailler pour décrire l'activité à mener avec les élèves. Souvent, les réponses consistent en des descriptions des phases menées par les élèves sans réelles réflexions pédagogiques et didactiques. La problématisation de l'activité n'est pas mentionnée, les prérequis non plus ou alors très rarement. La description précise des tâches accomplies par les élèves, leurs liens et les productions qui leur sont demandées sont aussi trop peu décrits. D'une manière générale, la part d'initiative laissée aux élèves n'est pas envisagée ni décrite de façon réaliste par des dispositifs d'aides et d'encadrement de l'activité pertinents.

Q7. Peu de bonnes réponses, car il y a confusion avec le pouvoir rotatoire. Beaucoup de candidats pensent que le D-mannose est dextrogyre.

Q8. L'hémiacétalisation n'est quasiment jamais identifiée. Les candidats évoquent des cyclisations, des aldolisations, des acétalisations. La stabilité de la forme alpha en contradiction avec les situations classiques des substituants en positions équatoriales sème le trouble. Les candidats, parfois déroutés, avancent des arguments qui ne sont pas valables mais ne citent quasiment jamais l'effet anomère.

Q9. Les deux conformations chaises sont rarement bien représentées notamment concernant la représentation des liaisons équatoriales. La relation de stéréochimie entre le D-mannuronique et le L-guluronique est souvent fausse ou alors très mal justifiée.

Q10. La définition du copolymère est très peu connue. Quasiment aucun candidat n'identifie les deux enchaînements.

Q11. Si beaucoup de candidats savent que la stabilisation d'une base augmente l'acidité de son acide, peu trouvent l'atome d'hydrogène à caractère acide et les formes limites de résonance de la base. La structure de la base conjuguée de la vitamine C est souvent erronée : certains candidats déprotonent l'un des atomes de carbone ou l'atome d'oxygène d'un des deux autres groupes hydroxyle, et cherchent à écrire des formes limites de résonance qui se révèlent très souvent impropres.

Q12. Les calculs des masses sont le plus souvent bien menés mais les chiffres significatifs parfois peu cohérents. Certains candidats ne lisent pas la définition de la teneur et donnent le résultat en g/L. Les erreurs sont souvent dues à des approximations mal effectuées. L'effet des billes d'alginate est bien identifié.

QP13. Il fallait présenter la question sous la forme d'un tableau, consigne qui a parfois été oubliée. Les protocoles sont parfois inadaptés au programme. Dans de trop nombreuses copies, on constate que la phrase « mesurer des masses pour étudier la variabilité du volume mesuré par une pièce de verrerie » est mal comprise. De nombreux candidats ne proposent pas d'étude statistique des mesures effectuées alors qu'il s'agit d'une activité explicitement au programme, tout comme l'utilisation du tableur ou l'incertitude-type. Beaucoup de candidats proposent de mener un travail avec la solution de chlorure de sodium (NaCl) fabriquée en introduisant la masse de sel avant le volume d'eau pour lequel on évalue l'incertitude. Connaître le volume versé par une mesure de masse est alors impossible puisque l'on ne connaît pas précisément la masse volumique de la solution, qui dépend du volume versé. La pertinence scientifique de l'étude est alors nécessairement discutable. Nous constatons que la définition des objectifs pédagogiques de chacune des étapes de la séance est trop souvent insuffisamment énoncée.

Q14. L'équation de la réaction est le plus souvent bien écrite et le calcul de la concentration bien mené. L'étude statistique est souvent bien réussie, mais peu de candidats aboutissent sans encombre au résultat final, en tenant compte de la dilution de la solution initiale. Le calcul de l'incertitude-type est souvent donné avec plusieurs chiffres significatifs.

Q15. Le rôle du chromate est connu mais ne s'appuie que rarement sur des calculs de solubilité corrects. La solubilité des précipités ne peut pas s'interpréter par une simple comparaison des produits de solubilité compte-tenu de la stœchiométrie des ions $Ag^+(aq)$.

QP16. Il fallait présenter la question sous la forme d'un tableau. Les éléments de réponse sont précisés de façon assez satisfaisante excepté dans les cas de lecture trop rapide de l'énoncé. Un nombre non négligeable de candidats n'a pas compris la formulation « niveau de réussite » et a compris « difficulté des questions ». Lorsque la problématique est correctement interprétée, la différentiation des niveaux de réussite est souvent peu précise, parfois peu pertinente. De nombreux critères de réussites sont souvent oubliés dans la présentation des descripteurs et parfois le critère de niveau 4 est au-delà des attendus (par exemple, faire un rapport des énergies dans la question 3 ou une conversion en h, min, s dans la question 2c alors que la consigne de la question ne le demande pas).

Q17. Beaucoup de candidats donnent la structure de Lewis de l'anion ClO^- en cherchant l'angle entre deux atomes. Il manque parfois des doublets non liants sur la structure de la molécule HClO. La valeur de l'angle est parfois incorrecte ou alors maladroitement justifiée. Certains comparent l'angle fourni à 120° au lieu de 109,47°. Les candidats évoquent la présence de doublets non liants pour expliquer l'angle de 102° mais commettent des erreurs ou des imprécisions en justifiant par l'interaction des doublets non liants de l'atome d'oxygène avec ceux de l'atome de chlore ou en développant uniquement les arguments qui expliquent une entité coudée.

Q18. Il manque parfois des réactions en particulier l'oxydation ou la réduction du solvant. Certains évoquent la réduction du dioxygène.

Q19. La prise en compte de l'aspect thermodynamique uniquement pose des problèmes à de nombreux candidats. Peu évoquent l'électrolyse de l'eau et cherchent à faire intervenir le couple du chlore. Ces difficultés montrent une certaine méconnaissance des différences entre les raisonnements thermodynamiques et cinétiques associées aux processus aux électrodes.

Q20. Le gaz est bien identifié mais les courbes courant-potentiel ne sont pas souvent bien tracées. Il ne fallait pas oublier la surtension anodique. Certains candidats placent l'oxydation dans la zone des valeurs d'intensité négative et la réduction dans la zone des valeurs d'intensité positive.

Q21. Si l'équation est souvent trouvée, la réponse est rarement justifiée à l'aide de la composition de l'eau de Javel.

Q22. Lorsqu'il est commencé, le calcul est souvent bien conduit malgré des erreurs de conversion dans l'équation des gaz parfaits et des oublis sur le coefficient stœchiométrique. La différence entre quantité d'électrons échangés et quantité de matière de dihydrogène recueilli est parfois mal exploitée. Certains candidats ont mené des raisonnements énergétiques.

QP23. Cette question a souvent été mal traitée car le programme n'est pas connu de manière assez approfondie par beaucoup de candidats. Rares sont ceux qui ont compris le but de cette question. Afin d'aborder « l'évolution des quantités de matière lors d'une transformation », l'évaluation diagnostique attendue est une évaluation avec des questions simples et rapides sur les attendus du programme de seconde. Il n'était donc pas attendu une réalisation d'un tableau d'avancement qui – justement – est abordée en classe de 1ère (voir les extraits de programmes) à l'issue de la séance concernée, ainsi que les réactions d'oxydo-réduction (voir extraits également). Quant à ceux qui proposent de comprendre les nombres stœchiométriques avec des vélos, des sandwichs ou des porte-documents, ils se placent dans le cadre de l'apprentissage des nombres stœchiométriques et pas sur l'évaluation de leur acquisition. Beaucoup de professeurs proposent des QCM avec divers outils numériques, ce qui est pertinent dans ce cadre. Les obstacles sont généralement mal identifiés et mal décrits. Beaucoup de candidats se focalisent sur des calculs de quantité de matière et très peu évoquent la signification des coefficients stœchiométriques ou la différence entre transformation et réaction chimiques. Les questions sont parfois trop générales ou restent à l'état d'intention sans proposition concrète.

Q24. Le nombre d'oxydation de l'élément ruthénium dans le composé RuO_2 est correct mais le raisonnement n'est pas clairement détaillé. La structure électronique est souvent fausse car les électrons 5s, étant les plus externes, sont retirés en premier pour former l'ion.

Q25. Les deux équations sont souvent correctement écrites même si beaucoup d'ions spectateurs ne sont pas éliminés de l'écriture finale. Les phases dans lesquelles se trouvent les réactifs ont posé de nombreux soucis aux candidats.

Q26. La structure cristallographique est correcte la plupart du temps mais les conditions de tangence et de non tangence sont souvent fausses ou incomplètes.

Q27. Peu de bonnes réponses sont proposées. Une justification quantitative est attendue et pas uniquement une comparaison des rayons.

Q28. La réponse est souvent une affirmation sans s'appuyer sur les réponses aux questions précédentes.

Q29. Lorsque les calculs d'enthalpie et d'entropie de réaction sont justes, l'interprétation de leur signe est très souvent erronée. Cependant, on note parfois dans certaines copies que ces grandeurs sont notées comme des variations d'enthalpie et d'entropie, soient $\Delta H°$ et $\Delta S°$, à la place de $\Delta_r H°$ et $\Delta_r S°$, ce qui représente une confusion grave à ce niveau. Le signe de l'entropie standard de réaction pose problème à nombre de candidats, qui n'imaginent pas qu'il était prévisible.

Q30. L'ajustement de l'équation révèle encore des difficultés liées à la gestion des espèces spectatrices et des phases dans lesquelles se trouvent les réactifs et produits : présence d'ions Cl^- des deux côtés de l'équation, HCl en solution noté HCl(aq) et CO_3^{2-} en présence du côté des réactifs. Les calculs sont corrects, malgré des problèmes d'arrondis qui faussent l'évaluation du rendement final.

Q31. Le motif est souvent correct mais l'indice « n » ne doit pas figurer. La notion de tacticité est mal connue et rarement reliée à la stéréochimie, ce qui donne lieu à peu de bonnes réponses pour l'illustrer sur le polystyrène.

Q32. On note des erreurs sur la fonction active de la résine. Il ne faut pas oublier le proton sur la fonction réactive. Des équations laissent apparaître des espèces spectatrices. La nature de la liaison entre le groupe sulfonate et l'ion sodium pose problème à de nombreux candidats.

Q33. Peu de candidats sont capables de calculer les quantités ioniques d'ions calcium, Ca^{2+}, et magnésium, Mg^{2+}, au pH considéré pour comparer quantitativement la sélectivité de la précipitation. Souvent un calcul de solubilité est proposé sans tenir compte de la valeur du pH de la solution.

Q34. Les configurations doivent être justifiées précisément et de manière succincte par les règles Cahn-Ingold-Prelog. Certains candidats attribuent même un stéréodescripteur à la double liaison située à l'extrémité de la molécule dont un des atomes de carbone éthyléniques porte deux groupes méthyles.

Q35. La fonction aldéhyde est souvent identifiée mais la spectroscopie Infra-Rouge caractérise une liaison et non une fonction. Il ne faut pas non plus oublier les unités des nombres d'onde. Peu de candidats citent le pic autour de 2800 cm^{-1} pour la liaison C-H.

Q36. Rares sont les candidats capables de trouver la bonne molécule (erreur sur la nomenclature), avec les trois stéréodescripteurs justes et justifiés.

Q37. Il ne faut pas oublier le dihydrogène dans les réactifs. Certaines chaises sont mal représentées : liaisons non parallèles et groupement mal positionnées par rapport au plan moyen. Dans la grande majorité des cas, les substituants encombrants sont bien mis en position équatoriale même si on voit souvent l'énantiomère représenté.

Q38. Le montage d'hydrodistillation est souvent confondu avec la distillation fractionnée ou l'entraînement à la vapeur. Il s'agit d'un montage de distillation simple sans colonne Vigreux. Peu de candidats proposent un système d'homogénéisation du mélange (agitation magnétique ou pierre ponce). Quelques réfrigérants sont inclinés vers le haut et non vers le bas permettant une réception certaine et sereine du distillat. Certains candidats positionnent à la place de la tête de colonne, un réfrigérant… comment espérer récupérer un distillat ? Beaucoup oublient également qu'on extrait généralement un hétéroazéotrope et que la température ne dépasse pas 200°C ! La synthèse totale organique leur apparaît moins énergivore que l'hydrodistillation.

Q39. Il faut justifier la relation stéréochimique entre les molécules. Le terme « diastéréoisomère » n'a pas l'air connu de tous, et lorsqu'il l'est, il est souvent donné sans justification.

Q40. Il serait bon que les candidats lisent la totalité des questions car lorsque certains donnent la bonne formule pour la molécule B, souvent ils oublient de préciser les fonctions. Le mécanisme est rarement correct : des oublis de flèches et des étapes (addition élimination) mal identifiées. Il faut faire attention aux conditions opératoires pour fournir un mécanisme cohérent. On note aussi des confusions avec la réaction d'estérification et l'activation de l'atome de carbone nucléophile et des étapes concertées ''inappropriées''. La prototropie est généralement bien écrite.

Q41. Comme déjà mentionné précédemment pour l'IR, il est important de bien préciser la liaison et non la fonction. L'intensité de la bande liée à la variation du moment dipolaire est méconnue et la justification de la largeur de la bande OH par l'existence de liaisons hydrogène est rarement fournie.

Q42. La formule est souvent correcte mais le rôle de la présence de gaz en sous-produit est rarement évoqué pour expliquer le déplacement d'équilibre.

Q43. Peu de voies de synthèse cohérentes sont proposées.

Q44. Les propriétés du solvant pour la synthèse magnésienne sont souvent incomplètes. Si la qualité aprotique du tétrahydrofurane (THF) est souvent connue, beaucoup de candidats pensent qu'il est seulement

anhydre, ce que l'on espère pour un liquide acheté « pur ». Sa propriété de base de Lewis est rarement citée, encore moins sa capacité à stabiliser l'organomagnésien. La structure proposée est généralement juste.

Q45. Si beaucoup de candidats voient qu'il s'agit d'une réaction d'oxydation, les calculs des nombres d'oxydation sont souvent erronés, en particulier celui de l'atome de carbone fonctionnel, souvent égal à +I. Cette erreur est certainement due à l'oubli des liaisons carbone-hydrogène en écriture topologique. La structure de la molécule F est juste.

Q46. Les réponses sont souvent imprécises. Le nom de la fonction formée au cours de la réaction est généralement méconnu, mais le reste est assez bien traité. Certains candidats perdent du temps à représenter le montage Dean-Stark alors que le dessin n'est pas demandé dans la question. On ne peut que rappeler aux candidats l'intérêt de lire avec attention l'énoncé.

Q47. Les candidats répondent peu à cette question mais dans ce cas, la structure est alors souvent juste.

Q48. La réaction de Wittig est souvent citée mais les conditions opératoires de la formation de l'ylure de phosphore sont généralement méconnues. La présence d'une base forte est indispensable dans ces conditions.

Q49. La structure représentée est souvent correcte.

Q50. La catalyse « hétérogène » est parfois citée. Mais on lit souvent des réponses incomplètes : « hydrogénation catalytique » ou seulement « catalyse ». Par ailleurs, il fallait aussi justifier la nature de la catalyse par la présence du catalyseur et des réactifs dans des phases différentes.

Q51. Les candidats proposent en général de bonnes réponses.

Q52. Les réponses sont correctes le plus souvent, malgré quelques erreurs sur la chaîne carbonée.

Q53. Le nombre d'atomes de carbone asymétriques est souvent correct mais on note des erreurs sur le nombre de stéréoisomères.

Q54. Le nom de la technique est connu mais les solubilités à chaud et à froid du produit et des impuretés sont rarement données. Il est indispensable de préciser le montage à réaliser (montage à reflux) et ne pas se contenter de mentionner un simple chauffage.

Q55. Un certain nombre de candidats proposent des techniques générales sans tenir compte de l'état physique de la molécule.

4. Épreuves et programmes 2021

Épreuves écrites d'admissibilité

Ces épreuves sont envisagées au niveau le plus élevé et au sens le plus large du programme défini ci-dessous.

1. Composition sur la physique et le traitement automatisé de l'information (5 heures)

Cette épreuve porte sur :

a) les enseignements en relation avec la physique des programmes suivants appliqués à la rentrée scolaire de l'année d'inscription au concours :

- programme de sciences et technologie du cycle 3 et de physique-chimie du cycle 4 (BO spécial N°11 du 26 novembre 2015) ;
- programme de physique-chimie de seconde générale et technologique (BO spécial N°1 du 22 janvier 2019) ;
- programme d'enseignement scientifique de première générale (BO spécial N°1 du 22 janvier 2019) ;
- programme d'enseignement de spécialité de physique-chimie de première générale (BO spécial N°1 du 22 janvier 2019) ;
- programme de physique-chimie et mathématiques de première STI2D (BO spécial N°1 du 22 janvier 2019) ;
- programme de physique-chimie et mathématiques de première STL (BO spécial N°1 du 22 janvier 2019) ;
- programme de sciences physiques et chimiques en laboratoire de première STL (BO spécial N°1 du 22 janvier 2019) ;
- programme de physique-chimie pour la santé de première ST2S (BO spécial N°1 du 22 janvier 2019) ;
- programme d'enseignement scientifique de terminale générale (BO spécial n°8 du 25 juillet 2019) ;
- programme de physique-chimie de terminale générale (BO spécial n°8 du 25 juillet 2019) ;
- programme de sciences physiques, complément des sciences de l'ingénieur de terminale générale (BO spécial n°8 du 25 juillet 2019) ;
- programme de physique-chimie et mathématiques de terminale STI2D (BO spécial n°8 du 25 juillet 2019) ;
- programme de physique-chimie et mathématiques de terminale STL (BO spécial n°8 du 25 juillet 2019) ;
- programme de sciences physiques et chimiques en laboratoire de terminale STL (BO spécial n°8 du 25 juillet 2019) ;
- programme de chimie, biologie et physiopathologie humaines de terminale ST2S (BO spécial n°8 du 25 juillet 2019).

b) les enseignements de physique des programmes des classes préparatoires scientifiques aux grandes écoles : PCSI, MPSI, MP, PC, PSI, BCPST 1ère et 2ème année.

2. Composition sur la chimie et le traitement automatisé de l'information (5 heures)

Cette épreuve porte sur :

a) les enseignements en relation avec la chimie des programmes suivants appliqués à la rentrée scolaire de l'année d'inscription au concours :

- programme de sciences et technologie du cycle 3 et de physique-chimie du cycle 4 (BO spécial N°11 du 26 novembre 2015) ;
- programme de physique-chimie de seconde générale et technologique (BO spécial N°1 du 22 janvier 2019) ;
- programme d'enseignement scientifique de première générale (BO spécial N°1 du 22 janvier 2019) ;
- programme d'enseignement de spécialité de physique-chimie de première générale (BO spécial N°1 du 22 janvier 2019) ;

- programme de physique-chimie et mathématiques de première STI2D (BO spécial N°1 du 22 janvier 2019) ;
- programme de physique-chimie et mathématiques de première STL (BO spécial N°1 du 22 janvier 2019) ;
- programme de sciences physiques et chimiques en laboratoire de première STL (BO spécial N°1 du 22 janvier 2019) ;
- programme de physique-chimie pour la santé de première ST2S (BO spécial N°1 du 22 janvier 2019) ;
- programme d'enseignement scientifique de terminale générale (BO spécial n°8 du 25 juillet 2019) ;
- programme de physique-chimie de terminale générale (BO spécial n°8 du 25 juillet 2019) ;
- programme de sciences physiques, complément des sciences de l'ingénieur de terminale générale (BO spécial n°8 du 25 juillet 2019) ;
- programme de physique-chimie et mathématiques de terminale STI2D (BO spécial n°8 du 25 juillet 2019) ;
- programme de physique-chimie et mathématiques de terminale STL (BO spécial n°8 du 25 juillet 2019) ;
- programme de sciences physiques et chimiques en laboratoire de terminale STL (BO spécial n°8 du 25 juillet 2019) ;
- programme de chimie, biologie et physiopathologie humaines de terminale ST2S (BO spécial n°8 du 25 juillet 2019).

b) les enseignements de chimie des programmes des classes préparatoires scientifiques aux grandes écoles : PCSI, MPSI, MP, PC, PSI, BCPST 1ère et 2ème année.

Épreuves orales d'admission

Chacune des deux épreuves orales d'admission, l'une d'exposé et l'autre de montage, a lieu après quatre heures de préparation surveillée.
Le tirage au sort conduit le candidat à traiter :
- soit un exposé de physique et un montage de chimie ;
- soit un exposé de chimie et un montage de physique.

Exposé consistant en une présentation d'un concept et son exploitation pédagogique (1h20)

Dans le cas d'un exposé de physique, le programme est celui de la première épreuve écrite d'admissibilité (composition sur la physique et le traitement automatisé de l'information). Dans le cas d'un exposé de chimie, le programme est celui de la seconde épreuve écrite d'admissibilité (composition sur la chimie et le traitement automatisé de l'information).

Structure de l'épreuve : l'épreuve est constituée d'un exposé par le candidat, d'une durée maximum de 50 minutes, et d'un entretien avec le jury, d'une durée maximum de 30 minutes.

L'exposé du candidat comporte deux parties successives, d'importance équivalente, qui lui permettent de mettre en valeur ses compétences professionnelles :
- une partie relative au concept scientifique du sujet proposé incluant un développement pédagogique et didactique relatif à son enseignement au collège ou au lycée ;
- une partie développée à un niveau post-baccalauréat d'une ou plusieurs notions relatives à ce concept.

L'ordre de présentation de ces deux parties est laissé au choix du candidat.
L'illustration expérimentale est naturellement possible dans chacune des parties.
Le candidat doit être en mesure d'apporter des éclaircissements sur l'ensemble des points abordés dans son exposé.

Partie relative au concept scientifique incluant un développement pédagogique et didactique
Dans cette partie, le candidat met en valeur son expertise scientifique, pédagogique et didactique en présentant sa vision d'ensemble du concept et un développement relatif à l'enseignement de ce concept au niveau du collège ou du lycée.
La présentation de la vision d'ensemble du concept permet de situer la thématique scientifique et d'en aborder divers aspects, du fondamental aux applications.
Concernant le développement relatif à l'enseignement de ce concept, une analyse des aspects scientifiques est attendue et une consigne complète le sujet en proposant au candidat deux axes possibles de traitement pédagogique ou didactique ; le candidat choisi un axe parmi les deux proposés.
Ces axes peuvent porter sur :
- les difficultés d'apprentissage liées au concept ;
- la progressivité des apprentissages liés au concept ;
- la place de la modélisation ;
- la différenciation ;
- la diversification et les stratégies d'apprentissage ;
- l'évaluation ;
- la remédiation ;
- la construction de l'autonomie ;
- …

Le candidat s'appuie sur des éléments concrets relatifs à des situations d'enseignement.

Partie développée à un niveau post-baccalauréat relative au concept
Dans cette partie, le candidat met en valeur son expertise disciplinaire en développant, à un niveau post-baccalauréat, un ou plusieurs points de son choix relatifs au concept. .
Cette présentation permet au candidat d'attester de sa maitrise scientifique du concept et de sa capacité à en présenter ses aspects fondamentaux et appliqués.

L'entretien porte sur les deux parties ; il vise à la fois à compléter l'évaluation des qualités pédagogiques et didactiques, de la maîtrise des connaissances scientifiques et de la culture scientifique et technologique du candidat.

Montage et traitement informatisé de l'information (1h20)

Le niveau est celui des classes post-baccalauréat des lycées. Le candidat traite un sujet parmi deux sujets proposés.

Structure de l'épreuve : l'épreuve est constituée d'une présentation par le candidat, d'une durée maximum de 50 minutes, et d'un entretien avec le jury, d'une durée maximum de 30 minutes.

Au cours de l'épreuve, les candidats présentent, réalisent et exploitent qualitativement et quantitativement quelques expériences qui illustrent le sujet retenu.

Liste des sujets des exposés et des montages de physique et de chimie tirés au sort lors des épreuves orales

a) Physique

Aux sujets communs aux épreuves d'exposé et de montage s'ajoutent des sujets spécifiques à chacune de ces épreuves.

Sujets communs aux épreuves d'exposé et de montage
1. Dynamique newtonienne
2. Ondes acoustiques
3. Spectrométrie optique, couleur
4. Vision et image
5. Propagation libre et guidée
6. Interférences
7. Diffraction
8. Oscillateurs
9. Champs magnétiques
10. Capteurs
11. Transferts thermiques
12. États de la matière
13. Grandeurs électriques
14. Fluides
15. Résonance
16. Signal analogique et signal numérique
17. Conversion de puissance
18. Temps – fréquence
19. Transferts quantiques d'énergie
20. Frottements
21. Transmission de l'information
22. Ondes stationnaires

Sujets d'exposé spécifiques
23e. Cohésion du noyau, stabilité, réactions nucléaires
24e. Gravitation et mouvements képlériens
25e. Énergie interne
26e. Rayonnement d'équilibre et corps noir
27e. Dualité onde – particule
28e. Référentiels géocentrique et terrestre

Sujets de montage spécifiques
23m. Filtrage et analyse spectrale
24m. Amplification
25m. Couplages
26m. Régimes transitoires
27m. Induction
28m. Polarisation de la lumière

b) Chimie

Aux sujets communs aux épreuves d'exposé et de montage s'ajoutent des sujets spécifiques à chacune de ces épreuves.

Sujets communs aux épreuves d'exposé et de montage
1. Séparation
2. Liaisons
3. Caractérisations
4. Stéréoisomérie
5. Solvants
6. Solutions
7. Solubilité
8. Conductivité
9. Mélanges binaires
10. Proportions et stœchiométrie
11. Équilibre chimique
12. Évolution d'un système chimique
13. Conversion d'énergie lors des transformations chimiques
14. Oxydo-réduction
15. Dispositifs électrochimiques
16. Solides
17. Métaux
18. Acidité
19. Complexes
20. Polymères
21. Cinétique chimique
22. Catalyse
23. Mécanismes réactionnels
24. Électrophilie et nucléophilie
25. Couleur
26. Modification de groupes fonctionnels
27. Modification de chaîne carbonée

Sujet d'exposé spécifique
28e. Classification périodique

Sujet de montage spécifique
28m. Spectroscopies

5. Annexes

5.1. Proposition de solution de la composition de physique 2020

5.2. Proposition de solution de la composition de chimie 2020

Les sujets associés aux deux propositions de solutions qui suivent sont disponibles sur le site du ministère de l'Éducation nationale, de l'Enseignement supérieur et de la Recherche à l'adresse suivante : https://www.devenirenseignant.gouv.fr/cid148653/sujets-rapports-des-jurys-agregation-2020.html

Les solutions des épreuves écrites proposées en annexe visent uniquement à aider les futurs candidats à se préparer au concours de l'agrégation interne de physique-chimie. Elles constituent simplement une proposition. Concernant notamment les questions pédagogiques, d'autres approches sont possibles et ont été pleinement valorisées par le jury. **Les solutions proposées n'ont donc aucune visée normative.**

Proposition d'éléments de correction de la composition de physique

Les images

Partie I. Œil et microscope

1) L'œil : Récepteur ou source de lumière ?

QP1. Principales conceptions initiales que l'on peut rencontrer chez les élèves en classe de seconde générale et technologique à propos de la vision humaine :

- l'image « voyageuse » : l'objet « émet » son image et cette dernière subit des modifications au cours de sa propagation et des systèmes optiques rencontrés. L'image est ainsi observable partout dans sa direction de propagation ;
- pour observer une image, il faut utiliser un écran. Sans écran, il n'est pas possible de voir l'image ;
- si on forme l'image d'un objet sur un écran avec une lentille et qu'on retire la lentille, on continue à voir une image. ;
- l'œil émet un rayon lumineux qui explore l'objet ;
- le rayon lumineux est visible de n'importe où.

Pour faire émerger ces conceptions initiales, le professeur de physique-chimie pose des questions telles que :

- à votre avis, quel est le mécanisme de la vision ?
- selon vous, pourquoi ne voit-on pas la nuit ?
- peut-on voir un faisceau laser dans le vide ?
- …

Le professeur peut également recourir à des expériences simples qui déconstruisent ces conceptions : observer sur un écran une image formée à l'aide d'une lentille et retirer la lentille ou déplacer l'écran, observer une image formée à l'aide d'une lentille sans écran en se mettant en face, montrer que la poussière permet de visualiser les rayons lumineux…

QP2. On observe toujours l'image sur l'écran mais cette dernière est moins lumineuse. L'image n'est pas altérée ni dans sa taille ni dans sa forme.
Dans le cours relatif à la notion « Image réelle d'un objet réel à travers une lentille mince convergente », le professeur utilise toujours les deux ou trois rayons lumineux aux propriétés spécifiques pour construire l'image d'un point objet à travers une lentille mince. Si le cache sur la lentille, intercepte ces rayons, l'élève peut croire que l'image du point considéré ne sera pas présente sur l'écran. Il est donc important de rajouter d'autres rayons.

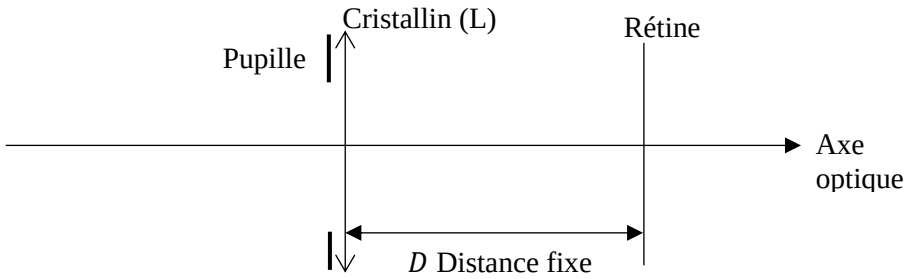
Le professeur retire ensuite le cache. Il est possible de voir l'image sans écran, il suffit de mettre l'œil derrière l'image et d'accommoder sur cette dernière.
Cette manipulation permet de déconstruire l'adhérence écran-image.

QP3. La question posée par le professeur porte sur la différence entre une étoile et une planète en ce qui concerne l'émission de lumière. Il existe bien d'autres différences qui ne relève pas du chapitre "signaux lumineux". Le contexte du chapitre est donc important.
L'élève a de grandes difficultés en vocabulaire, en grammaire et en orthographe. La logique de la phrase fait également défaut, néanmoins elle laisse à penser que l'élève a compris, ce qui atteste de l'importance pour le professeur de physique-chimie de prendre en charge ce type de problèmes. Du fait de ses difficultés liées à la maitrise de la langue, l'élève utilise des expressions imprécises d'un point de vue scientifique comme « émettre de la chaleur ». La remédiation peut passer par un échange individuel avec l'élève ou un travail conjoint avec le professeur de français. Il est possible d'aider l'élève en s'aidant d'un dessin, en imposant des phrases courtes (sujet/verbe/complément), en conduisant un travail spécifique sur le vocabulaire.

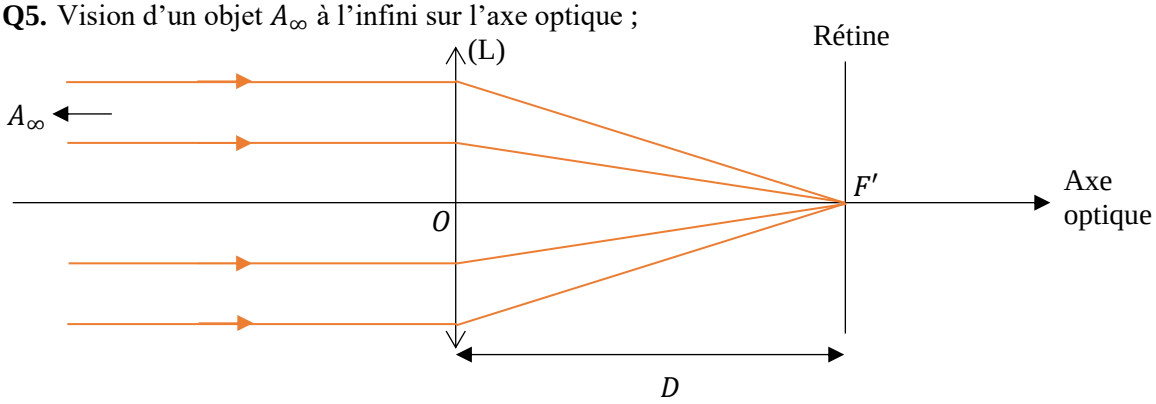
Q4. Le modèle de l'œil réduit est composé de trois éléments :

- Un **diaphragme** (qui correspond à la pupille) ;
- Une **lentille convergente** (qui correspond au cristallin) ;
- Un **écran** (qui correspond à la rétine de l'œil réel).

La distance cristallin-rétine est fixe.



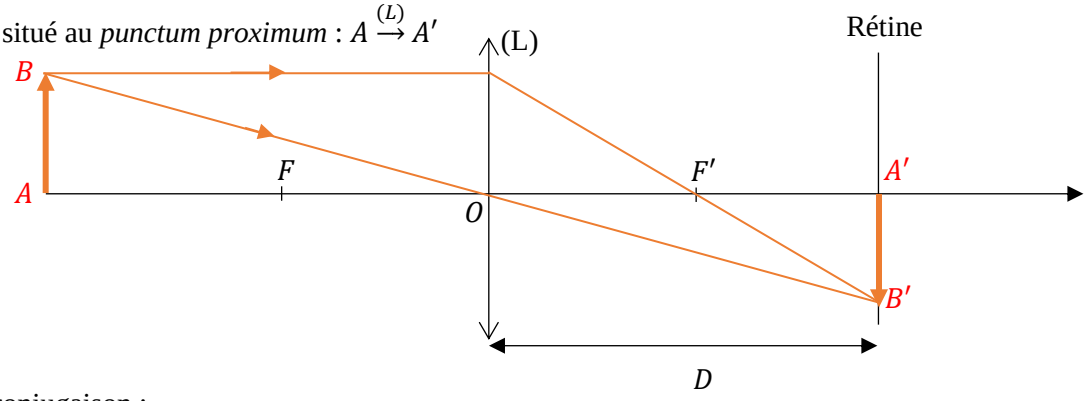
Q5. Vision d'un objet A_∞ à l'infini sur l'axe optique ;



$$A_\infty \xrightarrow{(L)} F'(foyer\ principal\ image)$$

Distance focale de l'œil réduit : $\boxed{f'_\infty = D = 1{,}5\ cm}$

Q6. Objet A situé au *punctum proximum* : $A \xrightarrow{(L)} A'$



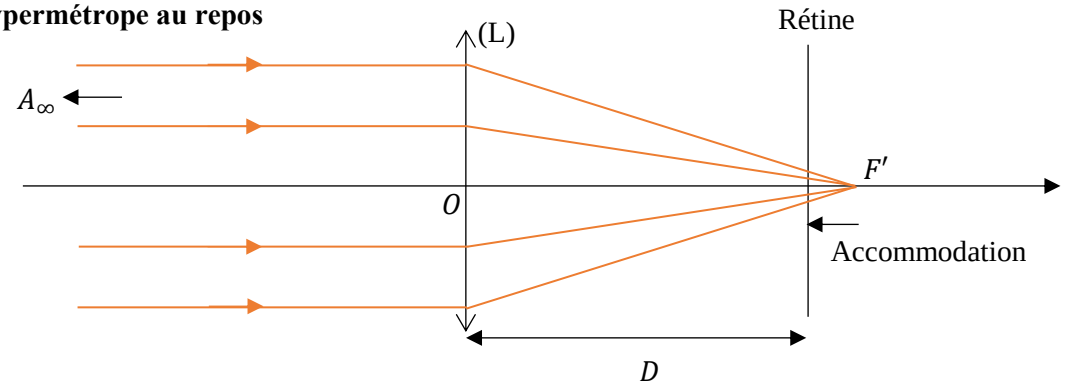
Relation de conjugaison :

$$\frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA}} = \frac{1}{f'_{PP}} \qquad avec\ \overline{OA} = -25\ cm\ et\ \overline{OA'} = D$$

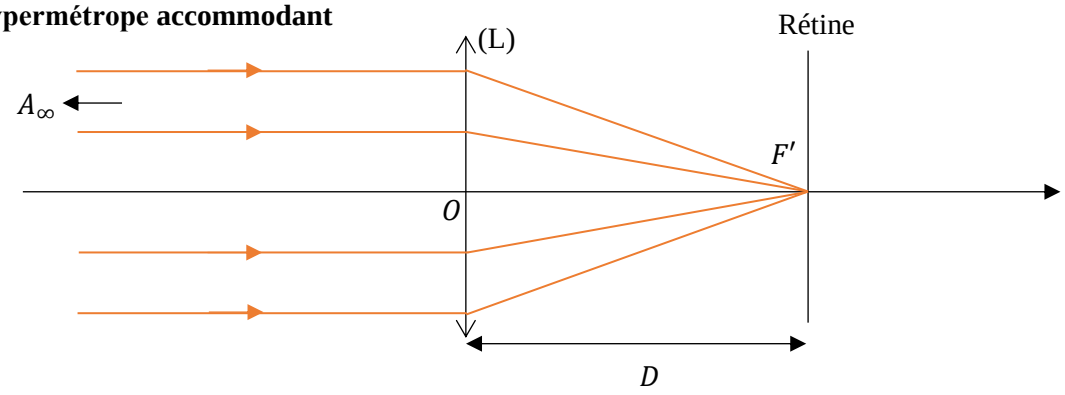
$$\boxed{f'_{PP} = \frac{\overline{OA}.D}{\overline{OA} - D} = 1{,}4\ cm}$$

QP7. Un œil hypermétrope au repos donne d'un objet à l'infini une image située derrière la rétine. L'œil a accommode alors afin de former l'image sur la rétine, il fait un effort musculaire pour contracter le cristallin. Un œil hypermétrope n'est donc jamais au repos ce qui entraine une fatigue oculaire allant jusqu'à causer des maux de têtes.

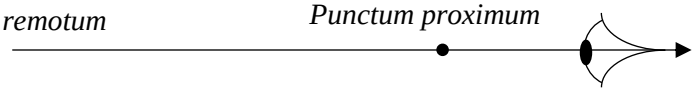
Œil hypermétrope au repos



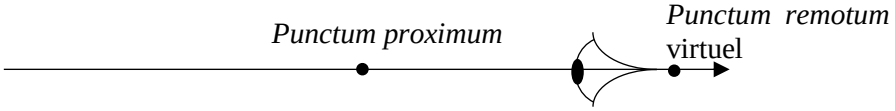
Œil hypermétrope accommodant



Œil normal : *Punctum remotum* à l'infini — *Punctum proximum*

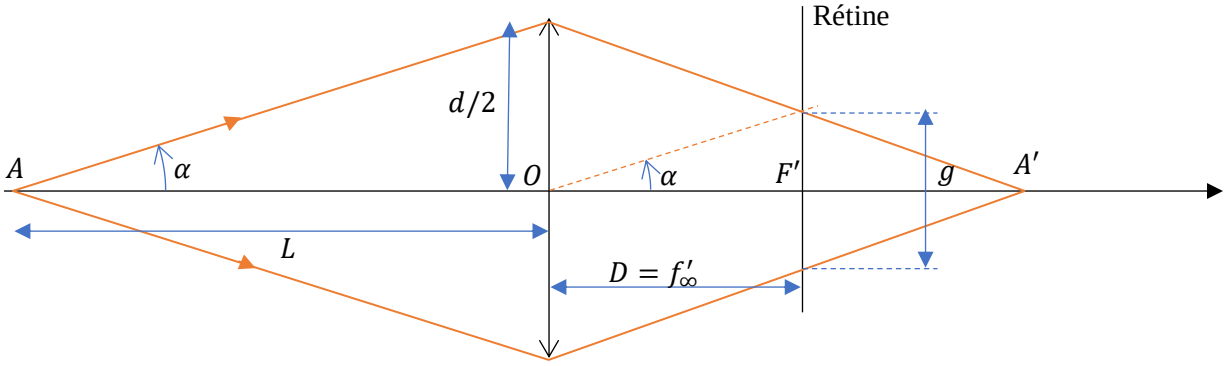


Œil hypermétrope : *Punctum proximum* — *Punctum remotum* virtuel



Le *punctum remotum* de l'œil hypermétrope est virtuel, c'est le point qui donne une image sur la rétine lorsque l'œil n'accommode pas. Le punctum proximum de l'œil hypermétrope est plus éloigné de l'œil que celui d'un œil normal.

Q8. Œil normal au repos regardant un objet ponctuel situé à la distance L de l'œil :



On note g la taille de la tache sur le récepteur correspondant au point objet A :

$$\tan\alpha = \frac{d}{2L} = \frac{g}{2f'_\infty} \quad \Rightarrow \quad \boxed{g = \frac{df'_\infty}{L}}$$

On dit que l'image sur la rétine est nette si $g \leq r$ (taille de la cellule photosensible)

$$\Rightarrow \boxed{L \geq \frac{f'_\infty d}{r} = L_0}$$

Profondeur de champ de l'œil au repos : $\overline{OA} \in]-\infty; -L_0]$

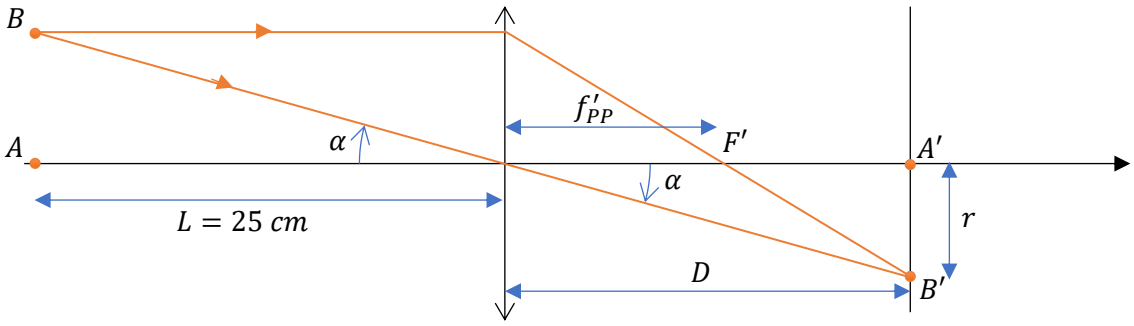
Lorsque d diminue alors L_0 diminue aussi. La profondeur de champ de l'œil « augmente ». Plus la pupille de l'œil possède un diamètre faible, plus l'intervalle des positions des objets donnant des images nettes sur la rétine est étendu.

Q9. Applications numériques :

$$\boxed{\begin{array}{lll} d = 2\ mm & \Rightarrow & L_0 = 12\ m \\ d = 8\ mm & \Rightarrow & L_0 = 48\ m \end{array}}$$

Pour pouvoir voir net des objets situés dans une gamme de positions plus importante plutôt que de continuer à diaphragmer et à recevoir de moins en moins de lumière, l'œil accommode.

Q10. On schématise la situation où l'œil est en accommodation maximale et regarde deux points objet A et B donnant deux images A' et B' stimulant deux cellules photosensibles voisines.



$$\tan\alpha = \frac{AB}{L} = \frac{r}{D}$$

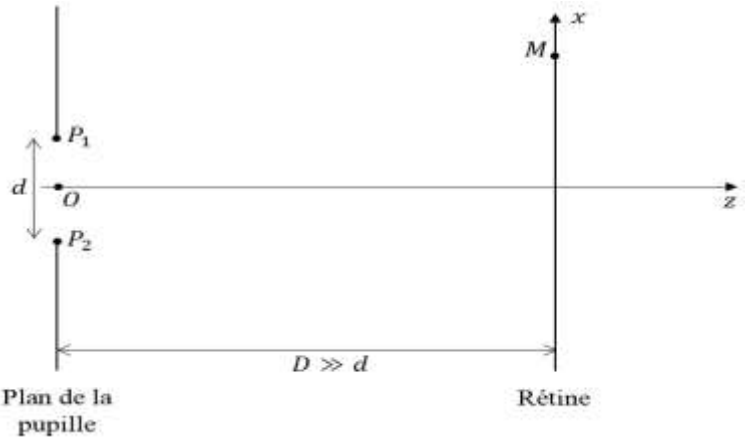
Distance minimale entre deux objets que l'œil peut distinguer :

$$\Rightarrow \boxed{AB = \frac{rL}{D} = 41\ \mu m}$$

Q11. Deux sources ponctuelles sont cohérentes si et seulement si elles sont capables d'interférer.

Q12. La diffraction ne peut pas être décrite par l'optique géométrique. Elle se manifeste par la modification de la trajectoire des rayons lumineux à la rencontre d'un obstacle. C'est un phénomène dû au caractère ondulatoire de la lumière.

Q13. La pupille étant à symétrie de révolution autour de l'axe Oz, la tache de diffraction est également à symétrie de révolution autour de l'axe Oz. La tâche de diffraction est composée d'un disque lumineux entouré d'anneaux concentriques.



Coordonnées :

$$O\begin{vmatrix}0\\0\\0\end{vmatrix} \qquad M\begin{vmatrix}x\\y\\D\end{vmatrix}$$

$$P_1\begin{vmatrix}d/2\\0\\0\end{vmatrix} \qquad P_2\begin{vmatrix}-d/2\\0\\0\end{vmatrix}$$

$$P_1M^2 = \left(\overrightarrow{P_1O} + \overrightarrow{OM}\right)^2 = P_1O^2 + OM^2 + 2\,\overrightarrow{P_1O}.\overrightarrow{OM} = \frac{d^2}{4} + x^2 + y^2 + D^2 - 2\frac{d}{2}x$$

$$P_2M^2 = \left(\overrightarrow{P_2O} + \overrightarrow{OM}\right)^2 = P_2O^2 + OM^2 + 2\,\overrightarrow{P_2O}.\overrightarrow{OM} = \frac{d^2}{4} + x^2 + y^2 + D^2 + 2\frac{d}{2}x$$

M est sur la tache centrale de diffraction donc $x \ll D$ et $y \ll D$.

A l'ordre 1, on a :

$$P_1M \sim D\left(1 + \frac{(x - d/2)^2 + y^2}{2D^2}\right)$$

$$P_2M \sim D\left(1 + \frac{(x + d/2)^2 + y^2}{2D^2}\right)$$

Différence de marche :

$$\delta(M) = (P_2M) - (P_1M) = n(P_2M - P_1M)$$

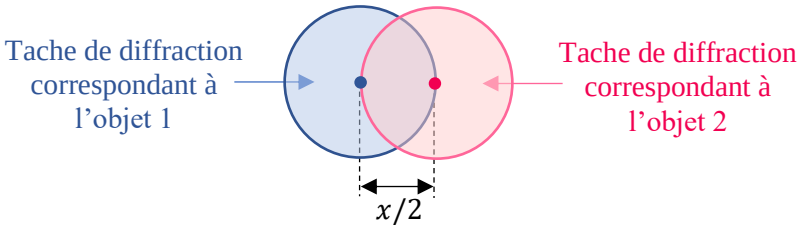
$$\Rightarrow \quad \delta(M) = \frac{ndx}{D}$$

Au bord de la tache de diffraction $\delta(M) = \lambda$.

Ordre de grandeur du rayon de la tache de diffraction :

$$\boxed{x = \frac{\lambda D}{nd} = 2{,}8\ \mu m \quad avec\ \lambda = 500\ nm\ et\ n = 1{,}34}$$

Critère de Rayleigh : on peut séparer les images de 2 objets ponctuels si on est dans la configuration suivante :



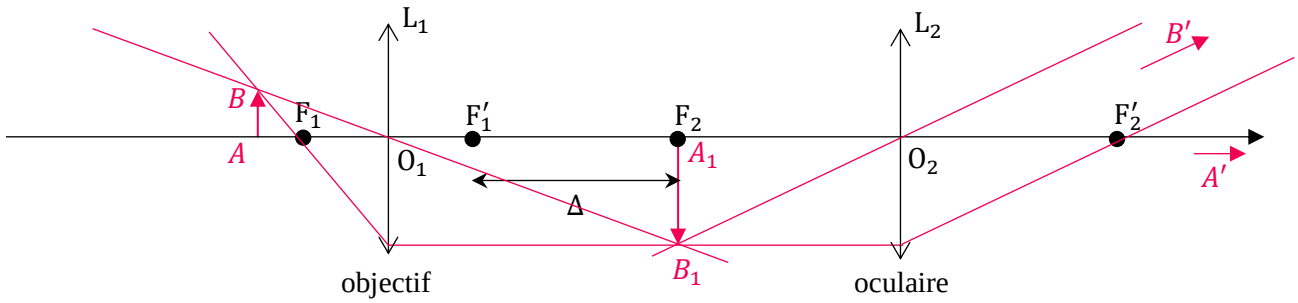
La tache centrale de diffraction a une taille comparable à celle des cellules photo-réceptrices de la rétine. Il y a adéquation entre la limite de résolution de l'œil imposée par la diffraction et celle imposée par la structure de l'œil (taille des récepteurs).

2) Le microscope

Q14. Approximation de Gauss : on étudie des systèmes centrés, on limite latéralement le faisceau pour ne conserver que les rayons paraxiaux (proches de l'axe optique et faiblement inclinés par rapport à ce dernier).

Q15. L'œil peut regarder sans accommoder et ne fatigue pas.

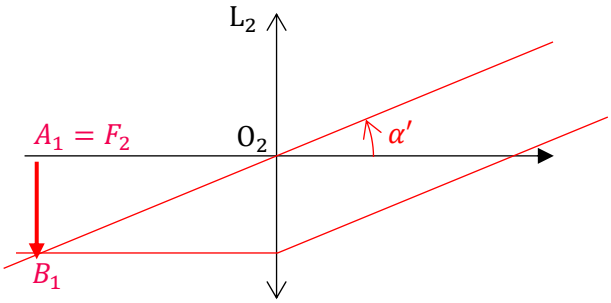
Q16.



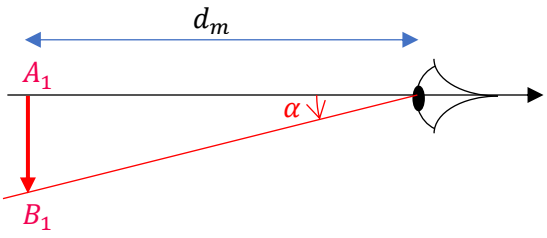
Q17. L'image finale étant à l'infini, la notion de grandissement n'a plus de sens. Ce qui compte, c'est l'angle sous lequel on voit l'image. Avec le grossissement, on peut comparer la vision à l'œil nu au maximum d'accommodation et celle avec l'instrument d'optique.

On note d_m la distance entre l'œil et son punctum proximum.

Vision avec l'oculaire :



Vision à l'œil nu au punctum proximum :



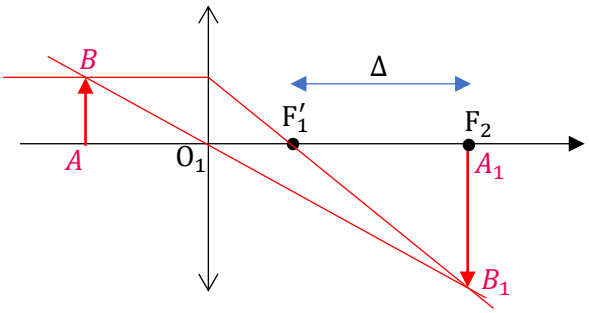
Grossissement commercial de l'oculaire :

$$G_{oc} = \frac{\alpha'}{\alpha} = \frac{A_1B_1}{f'_2} . \frac{d_m}{A_1B_1}$$

On a utilisé les conditions de Gauss : $\sin\alpha \sim \tan\alpha \sim \alpha$

$$\Rightarrow \boxed{f'_2 = \frac{d_m}{G_{oc}} = 2{,}5\ cm}$$

Q18.



Grandissement (dans les conditions de Gauss) :

$$\gamma = \frac{A_1B_1}{AB} = \frac{F_1'A_1}{F_1'O_1} = \frac{\Delta}{f_1'}$$

$$\Rightarrow \boxed{f_1' = \frac{\Delta}{\gamma} = 4{,}25\ mm}$$

Q19. Grossissement commercial :

$$G_c = \frac{\alpha'}{\alpha} = \frac{A_1B_1}{f_2'}.\frac{d_m}{AB} \qquad \Rightarrow \boxed{G_c = \gamma G_{oc} = 400}$$

Q20. Ouverture numérique : $ON = 0{,}75$ et $n = 1$

$$\Rightarrow \ \alpha = 49°$$

Nous ne sommes pas dans les conditions de Gauss. En pratique l'objectif est composé d'une succession de lentilles utilisées sous incidence voisine de la normale. Chacune dévie donc peu les rayons lumineux.

Q21. Ordre de grandeur de la résolution spatiale :
On prend $\lambda = 500\ nm$.

$$\Rightarrow \boxed{\varphi = 0{,}4\ \mu m}$$

Q22. A la question 10, on a trouvé que la distance minimale entre 2 points de l'objet discernables à l'œil nu était de l'ordre de 40 µm. Le microscope fait 100 fois mieux.

Q23. Pour un objet considéré, la valeur de $\sin\alpha$ est fixée. Par conséquent, on a

$$ON_{air} < ON_{huile}$$

$$\Rightarrow \ \varphi_{air} > \varphi_{huile}$$

On peut donc voir des détails plus petits avec un objectif immergé dans l'huile.

Q24. L'expression de l'énergie cinétique E de l'électron sous la différence de potentiel ΔV s'écrit :

$$E = \frac{1}{2}m_e v^2 = e\Delta V \qquad \Rightarrow \boxed{v = \sqrt{\frac{2e\Delta V}{m_e}} = 8{,}4.10^7\ m\cdot s^{-1}}$$

v est proche de c : les électrons sont relativistes.
Longueur d'onde de de Broglie :

$$\boxed{\lambda_B = \frac{h}{m_e v} = 8{,}7\ pm}$$

Q25. Résolution spatiale :

$$\boxed{\varphi = \frac{0{,}61\lambda_B}{ON} = 5{,}2.10^{-10}\ m}$$

La résolution spatiale est bien meilleure que celle du microscope optique car la longueur d'onde utilisée est beaucoup plus petite. En pratique, la résolution spatiale est plutôt de l'ordre du nanomètre. De nombreux défauts limitent les performances des lentilles et la formation des images.

Partie II. Échographie

1) Équation d'onde

Q26. Le fluide est décrit par l'équation d'Euler. Il est donc parfait. Dans le cadre de ce modèle, il n'y a pas de forces de cisaillement dans ce fluide et donc pas d'onde de cisaillement.

Q27. Le fluide étant parfait, il n'y a pas de pertes.
La durée caractéristique de diffusion thermique sur une longueur d'onde est plus grand que la période du signal. On peut considérer les transformations adiabatiques.
La propagation de l'onde peut être considérée comme un phénomène isentropique.

Q28. Equation d'Euler :

$$(\rho_O + \rho_1(M,t))\left[\frac{\partial \vec{v}_1(M,t)}{\partial t} + \left(\vec{v}_1(M,t).\overrightarrow{grad}\right)\vec{v}_1(M,t)\right] = -\overrightarrow{grad}\,(p_0 + p_1(M,t))$$

$$\rho_O \frac{\partial \vec{v}_1(M,t)}{\partial t} + \rho_1(M,t)\frac{\partial \vec{v}_1(M,t)}{\partial t} + \rho_O\left(\vec{v}_1(M,t).\overrightarrow{grad}\right)\vec{v}_1(M,t) + \rho_1(M,t)\left(\vec{v}_1(M,t).\overrightarrow{grad}\right)\vec{v}_1(M,t) = -\overrightarrow{grad}\,(p_1(M,t))$$

En se limitant à l'ordre 1, on obtient :

$$\boxed{\rho_O \frac{\partial \vec{v}_1(M,t)}{\partial t} = -\overrightarrow{grad}\,(p_1(M,t)) \quad (1)}$$

Equation locale de la conservation de la masse :

$$\frac{\partial\left(\rho_O + \rho_1(M,t)\right)}{\partial t} + div\left[\left(\rho_O + \rho_1(M,t)\right)\vec{v}_1(M,t)\right] = 0$$

$$\frac{\partial \rho_1}{\partial t}(M,t) + \rho_O div\left(\vec{v}_1(M,t)\right) + div\left(\rho_1(M,t)\vec{v}_1(M,t)\right) = 0$$

En se limitant à l'ordre 1, on obtient :

$$\boxed{\frac{\partial \rho_1}{\partial t}(M,t) + \rho_O div\left(\vec{v}_1(M,t)\right) = 0 \quad (2)}$$

Coefficient de compressibilité isentropique :

$$\chi_S = \frac{1}{\mu}\left(\frac{\partial \mu}{\partial P}\right)_S \sim \frac{1}{\rho_O + \rho_1(M,t)}\frac{\rho(M,t) - \rho_O}{p(M,t) - p_O}$$

$$\chi_S \sim \frac{1}{\rho_O}\frac{\rho_1(M,t)}{p_1(M,t)}$$

$$\boxed{\rho_1(M,t) \sim \chi_S \rho_O p_1(M,t) \quad (3)}$$

Il faut résoudre le système constitué des trois équations précédentes.

$$\begin{cases} \chi_S \dfrac{\partial p_1}{\partial t}(M,t) + div\left(\vec{v}_1(M,t)\right) = 0 \quad (2') \\ \rho_O \dfrac{\partial div\,\vec{v}_1(M,t)}{\partial t} = -div\,\overrightarrow{grad}\left(p_1(M,t)\right) \quad (1') \end{cases}$$

$$\Leftrightarrow \begin{cases} \chi_S \dfrac{\partial p_1}{\partial t}(M,t) = -div\left(\vec{v}_1(M,t)\right) \\ -\rho_O \chi_S \dfrac{\partial^2 p_1}{\partial t^2}(M,t) = -\Delta\left(p_1(M,t)\right) \end{cases}$$

Le champ de pression vérifie l'équation de d'Alembert :

$$\boxed{\Delta\left(p_1(M,t)\right) - \rho_O \chi_S \frac{\partial^2 p_1}{\partial t^2}(M,t) = 0}$$

Q29. On obtient une équation de d'Alembert de la forme :

$$\Delta\left(p_1(M,t)\right) - \frac{1}{c^2}\frac{\partial^2 p_1}{\partial t^2}(M,t) = 0$$

Célérité des ondes sonores dans le fluide (par identification) :

$$\boxed{c = \frac{1}{\sqrt{\rho_O \chi_S}} = 1{,}4.10^3\ m \cdot s^{-1}}$$

Q30. Gaz parfait : $pV = nRT$
Evolution isentropique : $pV^\gamma = cte$ (loi de Laplace)

$$\Rightarrow \frac{dp}{p} + \gamma \frac{dV}{V} = 0$$

$$\chi_S = \frac{1}{\rho}\left(\frac{\partial \rho}{\partial p}\right)_S = -\frac{1}{V}\left(\frac{\partial V}{\partial p}\right)_S$$

$$\Rightarrow \boxed{\chi_S = \frac{1}{\gamma p}}$$

Célérité : $c = \sqrt{\frac{\gamma p}{\rho_O}}$ avec $\rho_O = \frac{pM_{air}}{RT}$

$$\Rightarrow \boxed{c = \sqrt{\frac{\gamma RT}{M_{air}}} = 343\ m \cdot s^{-1}}$$

2) Principe de l'échographie

Q31. Gamme de fréquences : $f \in [2\ MHz\ ;\ 20\ MHz]$
Gamme de longueurs d'onde : $\boxed{\lambda \in [7.10^{-5}m\ ;\ 7.10^{-4}m]}$

Q32. Équation (1) projetée sur l'axe (Ox) :

$$\rho_O \frac{\partial v_1}{\partial t} = -\frac{\partial p_1}{\partial x}$$

$$\Rightarrow \frac{\partial v_1}{\partial t} = -\frac{\omega}{\rho_O c} p_m \sin\left(\omega(t - \frac{x}{c})\right)$$

$$\Rightarrow v_1 = \frac{1}{\rho_O c} p_m \cos\left(\omega(t - \frac{x}{c})\right) = \frac{1}{\rho_O c} p_1$$

Impédance acoustique : $\boxed{Z = \rho_O c}$

Q33. On a $Z_{tissus\ mous} \sim 10^6\ kg \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$ et $Z_{air} = 0{,}4.10^3\ kg \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$
Coefficient de réflexion à l'interface tissus mous-air : $\boxed{R \sim 1}$

$Z_{tissus\ mous} \sim 10^6\ kg \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$ et $Z_{os} \sim 8.10^6\ kg \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$
Coefficient de réflexion à l'interface tissus mous-os : $\boxed{R \sim 0{,}6}$

Sans gel échographique, l'onde émise par la sonde se propage de l'air vers le corps humain. Or le coefficient de réflexion est de l'ordre de 1 donc aucune énergie ne pénètre dans le corps humain. Il est alors impossible de réaliser une image. On utilise le gel pour faire une adaptation d'impédance. Ainsi de l'énergie acoustique pénètre dans le corps. Les échos reçus permettent de construire une image.

Le coefficient de réflexion à l'interface tissus mous-os est grand donc l'énergie associée au signal transmis de la peau à l'os est faible. Ensuite le signal doit passer de l'os au cerveau avec, à nouveau, un coefficient de réflexion grand. Par conséquent, l'énergie associée au signal qui arrive dans le cerveau est également faible. Il faut ensuite que le signal revienne vers la sonde échographique à nouveau avec des coefficients de réflexion grands. En conclusion, l'énergie du signal de retour sur la sonde est très faible, il est donc impossible de réaliser des images échographiques du cerveau.

Q34. Lorsqu'on soumet un matériau piézoélectrique à une contrainte, il se polarise électriquement. Réciproquement, sous l'action d'un champ électrique, le matériau se déforme.
L'effet piézoélectrique a été découvert par les frères Curie à la fin du XIX^{ème} siècle.

Q35. Les impulsions ont une durée de l'ordre de la microseconde et la fréquence des ondes est de l'ordre de quelques mégahertz. L'impulsion contient donc quelques périodes.

Q36. Distance entre le capteur $i > 0$ (et $-i$) et le point F :

$$d_i = \sqrt{\left(|i| - \frac{1}{2}\right)^2 \Delta x^2 + D^2}$$

Décalage temporel :

$$\tau_{i,-i} = \frac{\sqrt{\left(|i| - \frac{1}{2}\right)^2 \Delta x^2 + D^2}}{c} - \frac{D}{c}$$

Q37. Décalage temporel maximal à appliquer ($i = 64$) :

$$\tau_{64,-64} = 1{,}8.10^{-5}\ s$$

Q38. Temps d'aller-retour pour une profondeur L = 10 cm :

$$\Delta t = \frac{2L}{c} = 133\ \mu s$$

Q39. Il faut faire 128 acquisitions pour réaliser une image. Le temps minimal de réalisation de l'image est donc :

$$\Delta T = 128.\Delta t = 17\ ms$$

Nombre maximal d'images par seconde :

$$N = \frac{1}{\Delta T} = 58\ images \cdot s^{-1}$$

L'échographe fait donc de l'imagerie en temps réel.

QP40. Sujet zéro relatif aux épreuves communes de contrôle continu pour l'enseignement de spécialité physique-chimie de la classe de première de la voie générale.

- Commentaires du professeur : sur la copie de l'élève, le professeur indique que la caractéristique de la source est sa fréquence qui est la même dans tous les milieux traversés. Par contre, la valeur de la célérité dépend du milieu. Par conséquent, la longueur d'onde dépend aussi du milieu.
- Évaluation par le professeur : deux éléments sont à prendre en compte dans l'évaluation de cette réponse d'élève : la réponse finale est erronée car fondée sur l'invariance de la valeur de la longueur d'onde selon le milieu, par contre, sans détailler son calcul, l'élève calcule correctement la valeur de la longueur d'onde dans la cornée, ce qui atteste qu'il connaît et sait exploiter la relation entre longueur d'onde, célérité et fréquence Quelle que soit la nature de l'évaluation (diagnostique, formative ou sommative), l'élève atteste à la fois qu'il maîtrise certaines capacités en lien avec la situation étudiée et mais qu'une propriété essentielle des ondes est soit inconnue soit n'a pas su être remobilisée dans ce contexte.
- Utilité de la question 3.3 : cette question permet à l'élève d'identifier différentes zones de l'œil associées à différentes valeurs de la célérité. Elle donne l'idée à l'élève de déterminer l'épaisseur de chaque zone de l'œil traversée par l'onde ultrasonore. Elle l'incite également à schématiser la situation.
- Proposition d'étapes d'une démarche pour répondre à la question 3.4 :

→Détermination de l'épaisseur de chaque zone traversée (compétence Analyser) :
Utilisation la relation entre la durée, la célérité et la distance. Ne pas oublier de tenir compte de l'aller-retour (compétence Réaliser) ;
Epaisseur de la cornée : $1620 \times 0{,}6.10^{-6}/2 = 4{,}86.10^{-4}\ m$
Epaisseur de l'humeur aqueuse : $1532 \times (3{,}6 - 0{,}6).10^{-6}/2 = 2{,}30.10^{-3}\ m$
Epaisseur du cristallin : $1641 \times (9{,}2 - 3{,}6).10^{-6}/2 = 4{,}59.10^{-3}\ m$
Epaisseur de l'humeur vitrée : $1532 \times (27{,}0 - 9{,}2).10^{-6}/2 = 1{,}36.10^{-2}\ m$
(compétence Réaliser)

→Détermination de la longueur axiale de l'œil et conclusion :
Longueur axiale de l'œil : $4{,}86.10^{-4} + 2{,}30.10^{-3} + 4{,}59.10^{-3} + 1{,}36.10^{-2} = 21.10^{-3} = 21{,}0\ mm$
(compétence Réaliser)

Conclusion : l'œil est trop court, il est hypermétrope. (Compétence Valider).

3) Échographie Doppler

Q41. Le récepteur se rapproche de l'émetteur. On a $\vec{v} = -v\,\vec{u_x}$ avec v >0.

Le signal émis à l'instant t_0 est reçu à l'instant t_0' à la distance $l = c\,(t_0' - t_0)$
Le signal émis une période plus tard à $t_1 = t_0 + T_{em}$ est reçu à l'instant t_1' à une distance plus courte $l' = c\,(t_1' - t_1) = l - v\,(t_1' - t_0')$, le récepteur s'étant rapproché.

La période du signal vu par le récepteur est $T_{rec} = t_1' - t_0'$
On calcule $T_{rec} = t_1' - t_0' = \frac{l}{v} - \frac{c}{v}\,(t_1' - t_1) = \frac{c}{v}\,(t_0' - t_0 - t_1' + t_1) = \frac{c}{v}\,(T_{em} - T_{rec})$
Qui donne $T_{rec}\left(1 + \frac{v}{c}\right) = T_{em}$
La fréquence reçue est donc $f_{rec} = f_{em}\left(1 + \frac{v}{c}\right)$

$$\Rightarrow \boxed{\Delta f = f_{rec} - f_{em} = f_{em}\frac{v}{c}}$$

Q42. On retrouve la même expression pour f_{rec}, si c'est l'émetteur qui se rapproche du récepteur.
On a donc, en posant f_r la fréquence du signal réfléchi par les globules,

$$f_{rec} = f_r\left(1 + \frac{v}{c}\right) = f_{em}\left(1 + \frac{v}{c}\right)\left(1 + \frac{v}{c}\right) \approx f_{em}\left(1 + \frac{2v}{c}\right) \text{ à l'ordre 1 en } \frac{v}{c} \ll 1$$

$$\Rightarrow \boxed{\Delta f_{tot} = f_{em}\frac{2v}{c} \quad \text{à } l'ordre\ 1\ en\ \frac{v}{c} \ll 1}$$

Q43. Pour le cas considéré, on a $\Delta f_{tot} = 133\ Hz$.
Pour l'acquisition du signal avec l'oscilloscope, il faut respecter le critère de Nyquist-Shannon :

$$f_{ech} > 2f_{max} = 4\ MHz$$

où f_{ech} est la fréquence d'échantillonnage et f_{max} la fréquence maximale présente dans le signal à numériser.
On choisit la fréquence d'échantillonnage minimale : $f_{ech,min} = 4\ MHz$.
Dans l'annexe 5, on constate que l'oscilloscope utilise $N = 2500$ points d'enregistrement sur chaque voie.
L'écart de fréquence minimal que l'on peut mesurer avec la transformée de Fourier réalisée par l'oscilloscope est donc :

$$\Delta f_{min} = \frac{f_{ech,min}}{N} = 1600\ Hz$$

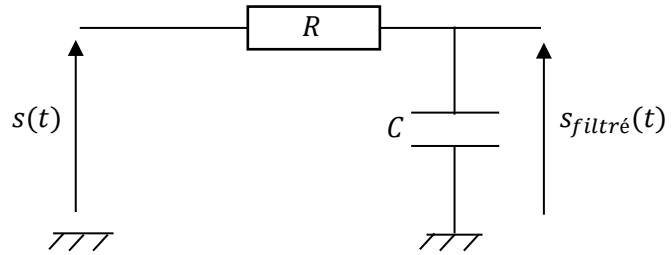
Il n'est donc pas possible de réaliser la mesure de Δf_{tot} avec cet oscilloscope. On ne peut donc pas en déduire la valeur de la vitesse du réflecteur.

Q44. Signal émis : $A\cos(2\pi f_{em}t)$
Signal reçu : $A\cos(2\pi(f_{em} + \Delta f)t + \varphi)$
Signal sortant : $s(t) = k_m A^2 \cos(2\pi f_{em}t)\cos(2\pi(f_{em} + \Delta f_{tot})t + \varphi)$

$$\Rightarrow \quad s(t) = k_m\frac{A^2}{2}[\cos(2\pi\Delta f_{tot}t + \varphi) + \cos(2\pi(2f_{em} + \Delta f_{tot})t + \varphi)]$$

Le spectre du signal comporte deux raies :
- la première de fréquence Δf_{tot} et d'amplitude $k_m\frac{A^2}{2}$
- la seconde de fréquence $2f_{em} + \Delta f_{tot}$ et d'amplitude $k_m\frac{A^2}{2}$.

Q45. Extraire l'information nécessaire à la mesure de v revient à mesurer Δf_{tot}. Par conséquent, il faut extraire du signal $s(t)$ la composante de fréquence Δf_{tot} (composante basse fréquence). Il faut donc utiliser un filtre passe-bas comme représenté ci-dessous :



Exemple de valeurs de composants :

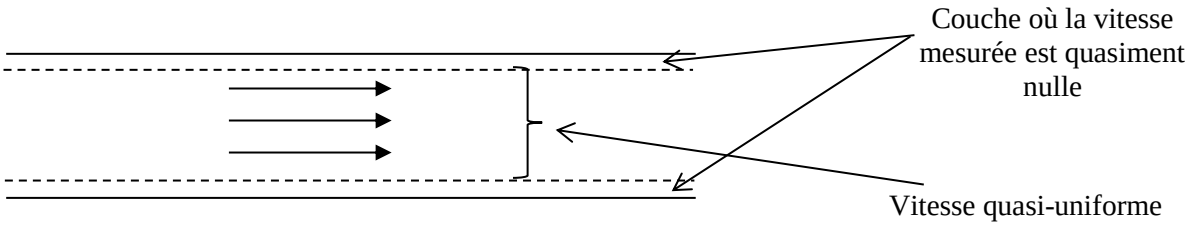
$$R = 100\ \Omega$$
$$C = 1\ \mu F$$

Fréquence de coupure :

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC} = 1{,}6\ kHz \gg \Delta f_{tot}$$

et $f_c \ll 2f_{em}$.

Q46. Au voisinage des parois des veines et des artères, la vitesse du sang est nulle. En dehors de cette couche, la vitesse est quasiment uniforme aux alentours de $20\ cm.s^{-1}$.



Partie III. Tomographie par émission de positons

1) Traceurs radioactifs

Q47. Le positon est l'antiparticule associée à l'électron. Elle possède la même masse que l'électron et une charge de $+e$.

Q48. En excluant les noyaux légers, on constate que $\frac{E_{liaison}}{A} \sim constante$. Par conséquent, l'énergie de liaison est proportionnelle à A. Cela signifie qu'un nucléon n'interagit qu'avec ses plus proches voisins et non avec tous les constituants du noyau. Il y a donc une saturation de l'énergie de liaison.
S'il s'agissait d'interactions nucléaires à deux corps à longue portée, l'énergie de liaison serait proportionnelle au nombre de paires de nucléons, c'est-à-dire à $A(A-1)$. Ce n'est pas ce qu'on observe sur la courbe de la figure 7. Il s'agit donc d'interactions nucléaires à courte portée.

Q49. L'énergie de l'atome est égale au produit de sa masse par c_0^2. Par conséquent, minimiser l'énergie de l'atome pour A impair fixé revient à minimiser sa masse.

$$M_{atome} = Z(m_p + m_e) + (A-Z)m_n + \frac{1}{c_0^2}\left[-a_v A + a_{surf}A^{\frac{2}{3}} + a_c\frac{Z^2}{A^{\frac{1}{3}}} + a_{sym}\frac{(A-2Z)^2}{A}\right]$$

$$\left.\frac{\partial M_{atome}}{\partial Z}\right|_A = m_p + m_e - m_n + \frac{1}{c_0^2}\left[2a_c\frac{Z}{A^{\frac{1}{3}}} - 4a_{sym}\frac{A-2Z}{A}\right] = 0$$

$$\Rightarrow \quad Z = \frac{A}{2}\frac{4a_{sym} + (m_p + m_e - m_n)c_0^2}{a_c A^{2/3} + 4a_{sym}}$$

Ordres de grandeur :

$$(m_p + m_e - m_n)c_0^2 \sim 0{,}78\ MeV \ll 4a_{sym} \sim 89{,}6\ MeV$$

Pour le noyau le plus stable, on obtient :

$$\boxed{Z \sim \frac{A}{2}\frac{1}{1 + \frac{a_c A^{2/3}}{4a_{sym}}}}$$

Q50. Sur la figure 8, on constate que pour les A faibles, les noyaux stables sont pratiquement ceux pour lesquels $N = Z$ (c'est-à-dire $Z = \frac{A}{2}$). En considérant la formule de Q49, on obtient :

$$Z_{stable} \xrightarrow[A\ faible]{} \frac{A}{2}$$

La formule de Q49 est donc en accord avec la courbe.

Pour les noyaux plus lourds, la figure 8 montrent que les noyaux stables ont un excès de neutrons de plus en plus important lorsque Z augmente. En considérant la formule de Q49, on obtient :

$$Z_{stable} = \frac{A}{2}\frac{1}{1+\frac{a_c A^{2/3}}{4a_{sym}}} < \frac{A}{2}$$

On retrouve bien un excès de neutrons pour le noyau stable.

Q51. On a $A = 125$. Avec la formule de Q49, on trouve :

$$Z_{stable} = 52$$

Le noyau le plus stable est donc $\boxed{^{125}_{52}Te.}$

Désintégration radioactive de type β^+ : $\boxed{^{125}_{55}Cs \rightarrow {}^{125}_{54}Xe + {}^{0}_{1}e + \nu}$
Désintégration radioactive de type β^- : $\boxed{^{125}_{51}Sb \rightarrow {}^{125}_{52}Te + {}^{0}_{-1}e^- + \overline{\nu}}$

2) Formation de l'image

Q52. Au moment de l'annihilation, la quantité de mouvement du système {positon+électron} est nulle. La quantité de mouvement devant être conservée, il faut au minimum deux photons émis dans la même direction et en sens contraires.

Conservation de l'énergie : $2E_{photon} = 2m_e c_0^2$

$$\Rightarrow \boxed{E_{photon} = 511\ keV}$$

Q53. Longueur d'onde des photons émis :

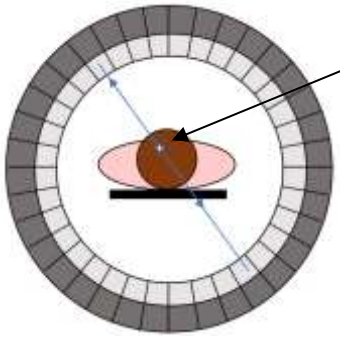
$$\lambda = \frac{hc_0}{E_{photon}} = 2{,}43.10^{-12}\ m$$

Les photomultiplicateurs étant sensibles dans le visible, il faut utiliser des cristaux scintillateurs pour convertir le rayonnement émis après annihilation en rayonnement visible.

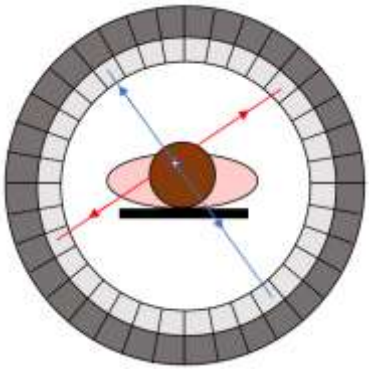
Pour simplifier, on considère un seul point émetteur dans le corps humain. Un dispositif électronique appelé corrélateur permet d'identifier les photomultiplicateurs détectant des photons émis simultanément. La détection est dite simultanée si les photons sont enregistrés dans un intervalle de temps de l'ordre de 10 ns.

Q54. La détection de deux photons émis « simultanément » permet théoriquement de retrouver la droite sur laquelle se trouve le point émetteur (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**). Si le système permet de mesurer la différence de temps d'arrivée des deux photons, on peut retrouver la position du point émetteur sur la droite. Cependant, le temps de réponse des détecteurs étant de l'ordre de grandeur de 10 ns, la précision sur la position du point émetteur est de l'ordre de $L = 10.10^{-9} \times 3.10^{8} = 3\ m$ (distance parcourue par les photons pendant 10 ns). L étant plus grand que la taille du corps humain, on pourrait penser que ne peut pas retrouver cette position. En utilisant, par exemple deux annihilations provenant du même point émetteur, on peut retrouver ce dernier qui est à l'intersection des deux droites de direction des paires de photons émis (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**).

Les annihilations au niveau de ce point émetteur étant très nombreuses, on peut utiliser un traitement statistique et des algorithmes de reconstruction d'images qui permettent d'atteindre une résolution de l'ordre de 5 mm.



Émission de deux photons résultant de l'annihilation d'un positon avec un électron de la matière.



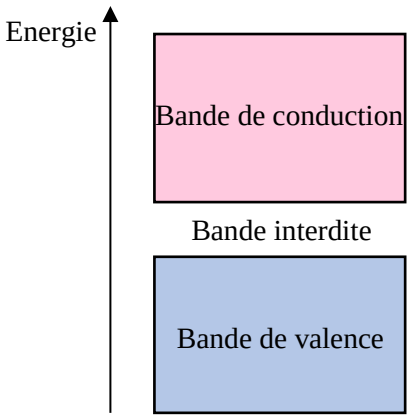
Utilisation de plusieurs annihilations

Partie IV. Imagerie numérique

1) Le capteur

Q55. Effet photoélectrique : émission d'électrons par un matériau sous l'action d'une onde électromagnétique. Il existe une fréquence seuil à partir de laquelle l'effet photoélectrique se produit. Cette fréquence seuil dépend du matériau considéré.
Albert Einstein en proposa la première explication en 1905.

Q56. Diagramme énergétique du semi-conducteur :



Par apport d'énergie, des électrons passent de la bande de valence à la bande de conduction en y laissant un trou. C'est la création de la paire électron-trou. Sous l'action d'un champ électrique, l'électron et le trou se mettent en mouvement en sens inverse.

Q57. Pour être absorbée par le semi-conducteur, il faut que l'énergie du photon soit supérieure à celle du gap :

$$E_{photon} = \frac{hc}{\lambda} > E_g$$
$$\Rightarrow \quad \lambda < \frac{hc}{E_{photon}}$$

Pour le silicium, on obtient :

$$\lambda < 1{,}1\ \mu m$$

Pour HgCdTe, on obtient :

$$\lambda < 12\ \mu m$$

Par conséquent, le silicium est utilisé pour les appareils photographiques et HgCdTe est utilisé pour les caméras thermiques.

Q58. Le motif contient 2 photosites verts pour un rouge et un bleu. Il reproduit ainsi la vision humaine. En effet l'œil humain est beaucoup plus sensible dans le vert que dans le rouge et le bleu.

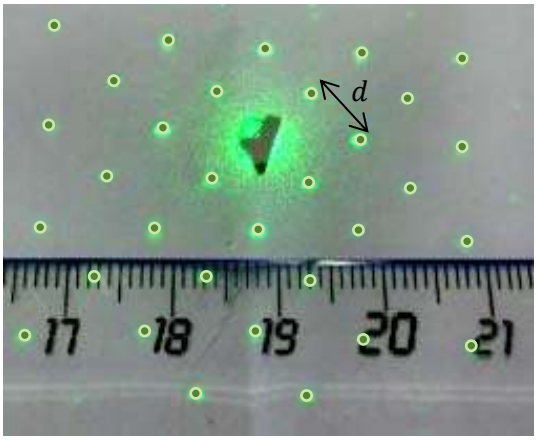
2) Caractérisation expérimentale du pas du capteur

Q59. Le capteur CMOS est un réseau bidimensionnel périodique de diffraction. On obtient donc une figure de diffraction bidimensionnelle. En effet, un réseau diffracte la lumière dans des directions privilégiées données par la formule des réseaux :

$$\sin\theta_k - \sin\theta_0 = k\frac{\lambda}{a_{vert}}$$

Avec θ_0 l'angle d'incidence (ici $\theta_0 = 0$), k l'ordre, θ_k direction à l'ordre k et a_{vert} le pas du réseau de pixels verts.
Dans notre cas, on a :

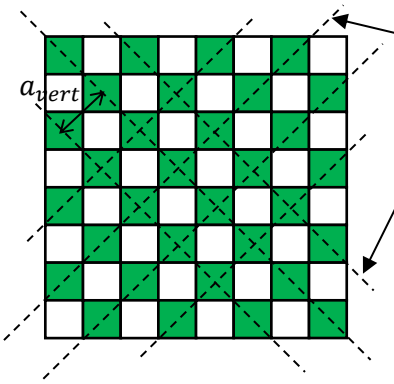
$$\sin\theta_1 = \frac{d}{\sqrt{d^2 + H^2}} = \frac{\lambda}{a_{vert}}$$



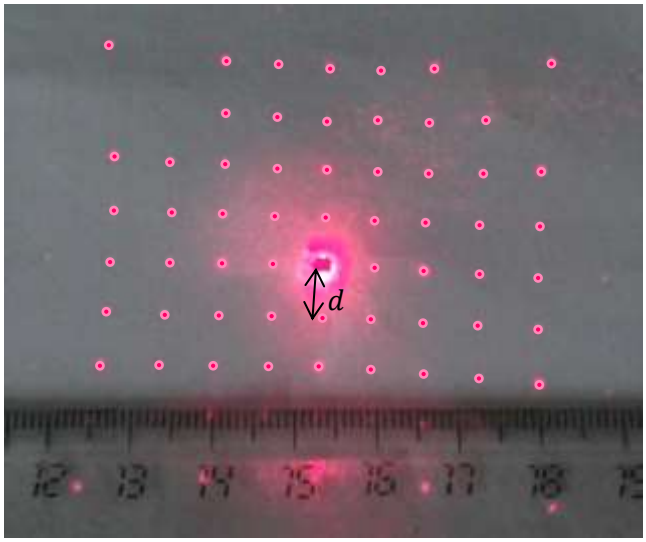
On lit sur la figure 12 (en appliquant le facteur d'échelle) :

$$d = 0{,}7\ cm$$

On note a, la taille d'un pixel. Le pas du réseau de pixels verts est $\boxed{a_{vert} = a\sqrt{2} = 5{,}4\ \mu m}$



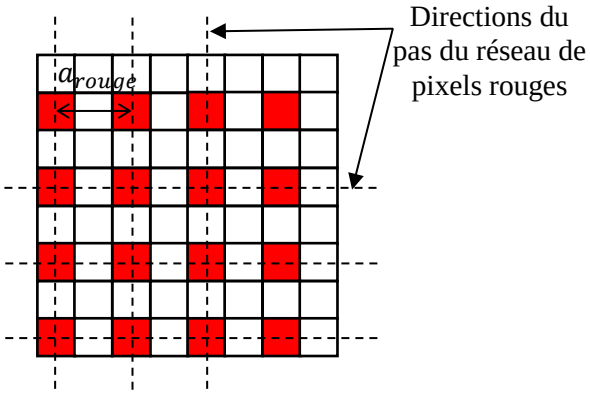
Q60.



On lit sur la figure 12 (en appliquant le facteur d'échelle) :

$$d = 0{,}65\ cm$$

Le pas du réseau de pixels rouges est $\boxed{a_{rouge} = 2a = 7{,}0\ \mu m}$



Q61. Avec le laser vert, on trouve une taille de pixel :

$$a = \frac{a_{vert}}{\sqrt{2}} = 3{,}8\ \mu m$$

Avec le laser rouge, on trouve une taille de pixel :

$$a = 3{,}5\ \mu m$$

L'énoncé nous dit que la taille des pixels est de $3{,}6\ \mu m$. On retrouve bien le bon ordre de grandeur. Cependant, les incertitudes n'ayant pas été évaluées, on ne peut pas conclure.

3) Le CAN (convertisseur analogique-numérique)

Q62. Pour chaque montage numéro i, l'entrée « + » est au potentiel e : $V_i^+ = e$.
On a :

$$V_1^- = \frac{7R}{8R} E_{ref} = 7\ V$$

De même :

$$V_2^- = 6\ V\ ;\ V_3^- = 5\ V\ ;\ V_4^- = 4V\ ;\ V_5^- = 3\ V\ ;\ V_6^- = 2\ V\ ;\ V_7^- = 1\ V$$

Chaque montage numéro i compare la tension e à V_i^- qui possède une des valeurs ci-dessus. Si $e > V_1^-$, le montage i est dans l'état 1, si $e < V_1^-$, le montage i est dans l'état 0.

Q63.

e	ALI 1	ALI 2	ALI 3	ALI 4	ALI 5	ALI 6	ALI 7	$a_2a_1a_0$
$e < 1\,V$	0	0	0	0	0	0	0	000
$1\,V \leq e < 2\,V$	0	0	0	0	0	0	1	001
$2\,V \leq e < 3\,V$	0	0	0	0	0	1	1	010
$3\,V \leq e < 4\,V$	0	0	0	0	1	1	1	011
$4\,V \leq e < 5\,V$	0	0	0	1	1	1	1	100
$5\,V \leq e < 6\,V$	0	0	1	1	1	1	1	101
$6\,V \leq e < 7\,V$	0	1	1	1	1	1	1	110
$e \geq 7\,V$	1	1	1	1	1	1	1	111

Q64. Pour un codage sur 3 bits, $2^3 - 1 = 7$ comparateurs ont été nécessaires. Pour un codage sur 16 bits, il faudrait $2^{16} - 1 = 65535$ comparateurs. Ce nombre est beaucoup trop grand pour ce type de CAN qui est limité à 6 ou 8 bits dans la pratique.

Q65.

```
Eref=8

def conversion(e):
    if e<1:
        ~~sorties=[0,0,0,0,0,0,0]~~  sortiebinaire=[0,0,0]
## e est inférieur à 1 V, tous les comparateurs sont à l'état 0
    elif e>=1 and e<2:
        ~~sorties=[0,0,0,0,0,0,1]~~  sortiebinaire=[0,0,1]
## e est entre 1 V et 2 V, seul le comparateur 7 est à l'état 1 et les
autres sont à l'état 0
    elif e>=2 and e<3:
        ~~sorties=[0,0,0,0,0,1,1]~~  sortiebinaire=[0,1,0]
## e est entre 2 V et 3 V, les comparateurs 6 et 7 sont à l'état 1 et les
autres sont à l'état 0
    elif e>=3 and e<4:
        ~~sorties=[0,0,0,0,1,1,1]~~  sortiebinaire=[0,1,1]
## e est entre 3 V et 4 V, les comparateurs 5, 6 et 7 sont à l'état 1 et
les autres sont à l'état 0
    elif e>=4 and e<5:
        ~~sorties=[0,0,0,1,1,1,1]~~  sortiebinaire=[1,0,0]
## e est entre 4 V et 5 V, les comparateurs 4, 5, 6 et 7 sont à l'état 1
et les autres sont à l'état 0
    elif e>=5 and e<6:
        ~~sorties=[0,0,1,1,1,1,1]~~  sortiebinaire=[1,0,1]
## e est entre 5 V et 6 V, les comparateurs 3, 4, 5, 6 et 7 sont à l'état
1 et les autres sont à l'état 0

    elif e>=6 and e<7:
        ~~sorties=[0,1,1,1,1,1,1]~~  sortiebinaire=[1,1,0]
## e est entre 6 V et 7 V, les comparateurs 2, 3, 4, 5, 6 et 7 sont à
l'état 1 et le comparateur 1 est à l'état 0
    else:
        ~~sorties=[1,1,1,1,1,1,1]~~  sortiebinaire=[1,1,1]
## e est supérieur à 7 V, tous les comparateurs sont à l'état 1
    return ~~sorties~~ sortiebinaire
```

Proposition d'éléments de correction de la composition de chimie

Utilisation et valorisation des ressources aquatiques

Q1. Mode opératoire permettant d'obtenir la droite d'étalonnage :

On cherche la longueur d'onde où l'absorbance du complexe est maximale pour avoir le maximum de précision : λ_{max} **= 450/460 nm** (annexe 1). On fait le **blanc** avec de l'eau. Puis on mesure l'absorbance pour les différentes solutions filles.

Conditions d'application de la loi de Beer Lambert :

- Absorbance faible pour éviter la saturation de l'appareil
- Lumière monochromatique
- Absence d'émulsion, de précipité et de phénomènes de fluorescence

Q2. On ajoute de l'acide chlorhydrique pour éviter la précipitation de $Fe(OH)_3(s)$.

La solution d'acide chlorhydrique commerciale a une concentration molaire égale à :

$$C_{acide} = \frac{\rho \times \%pureté}{M_{acide} \times V} = \frac{1180 \times 0,37}{36,5 \times 1,0} = 12 mol.L^{-1}$$

Ainsi dans le mélange, la solution d'acide chlorhydrique est égale à :

$$C_{mélange} = \frac{V_{acide} \times C_{acide} \times F_{dilution}}{V_{mélange}} = \frac{0,5 \times 12 \times 0,01}{10 + 0,5 + 1 + 1} = 4,78.10^{-3} mol.L^{-1}$$

La solution d'acide chlorhydrique a un pH égal à : **pH** = -log($C_{mélange}$) = -log($4,78.10^{-3}$) = **2,3**
Comme le pH < 6,5, l'autoprotolyse de l'eau est négligeable.

La concentration la plus forte de la solution fille en ion fer (III) est égale à :

$$[Fe^{3+}] = \frac{2 \times m \times V_{fille}}{M \times V_{mélange}} = \frac{2 \times 10.10^{-3} \times 10,0}{964 \times 12,5} = 1,66.10^{-5} mol.L^{-1}$$

On calcule le pH de début de précipitation pour cette solution en ions Fer(III) :

$$[HO^-] = \sqrt[3]{\frac{Ks}{[Fe^{3+}]}} = 8,4.10^{-12} mol.L^{-1}$$ soit **pH** = pKe + log($8,4.10^{-12}$) = **2,9**

Le pH obtenu étant supérieur au pH de la solution, il n'y aura donc pas de précipitation de l'hydroxyde de fer (III).

Toute autre méthode de calcul était acceptée (exemple : calcul du quotient réactionnel).

Q3. On a une pile de concentration.
Pôle (+) : solution de Fe^{3+} à 0,010 mol.L^{-1}, $E_+ = E°(Fe^{3+}/Fe) + 0,02\log[Fe^{3+}]_+$
Pôle (-) : solution de Fe^{3+} : 1 mL à 0,010 mol.L^{-1} dans 50,0 mL de KSCN à 0,10 mol.L^{-1}
$E_- = E°(Fe^{3+}/Fe) + 0,02\log[Fe^{3+}]_-$

A l'instant initial, on a les concentrations suivantes, en tenant compte de la dilution :

$[SCN^-]_0 = 9,8.10^{-2}$ mol.L^{-1} et $[Fe^{3+}]_0 = 1,96.10^{-4}$ mol.L^{-1}

Il se produit la réaction de complexation suivante :

$$Fe^{3+}(aq) + SCN^-(aq) = [FeSCN]^{2+}(aq)$$

En supposant la réaction quantitative, on obtient :

$[FeSCN]^{2+}] = 1{,}96.10^{-4}$ mol.L^{-1} et $[SCN^-] = 9{,}78.10^{-2}$ mol.L^{-1} avec $K_f = \frac{[[FeSCN]^{2+}]}{[Fe^{3+}]_-.[SCN^-]}$

Par ailleurs, la force électromotrice de la pile est :

$fem = E_+ - E_- = 0{,}02 \log \frac{[Fe^{3+}]_+}{[Fe^{3+}]_-}$ donc $fem = 0{,}02 \log \frac{[Fe^{3+}]_+.K_f.[SCN^-]}{[[FeSCN]^{2+}]}$

ainsi $K_f = \frac{[[FeSCN]^{2+}]}{[Fe^{3+}]_+.[SCN^-]}.10^{fem/0{,}02}$

d'où $K_f = \frac{1{,}96.10^{-4}}{0{,}01 \times 9{,}78.10^{-2}}.10^{\frac{56.10^{-3}}{0{,}02}} = 126$

Q4. Equation de la réaction : $Fe^{3+}(aq) + SCN^-(aq) = [FeSCN]^{2+}(aq)$
La solution la plus concentrée apporte une quantité de matière égale à $n_{Fe3+} = 2{,}01.10^{-7}$ mol (voir Q2).

Par ailleurs, la solution de thiocyanate de potassium a une concentration égale à : $C_{KSCN} = n/V = m/MV = 200/(97{,}1 \times 1) = 2{,}06$ mol.L^{-1}
Ainsi dans 1 mL, la quantité de matière apportée en ion thiocyanate est égale à $n_{SCN-} = 2{,}06.10^{-3}$ mol.

On opère ainsi avec un excès de ligand par rapport au cation métallique afin de déplacer l'équilibre dans le sens de la formation du complexe comme la constante de formation est relativement peu élevée.

Q5. La quantité en fer en mg/g de spiruline au bout de trois semaines de culture augmente avec l'élévation de la concentration initiale en fer du milieu. Mais la pente de la courbe est plus forte pour des concentrations initiales de 1 à 10 mg/L de fer que pour des concentrations au-delà de 10 mg/L. A partir d'une certaine concentration en fer du milieu de culture de la spiruline et une teneur en fer trop importante, celle-ci ne peut en absorber davantage. Il existe un palier de saturation en fer de la spiruline : nocivité pour la spiruline si la teneur est trop élevée.

QP6. Indicateurs liés aux objectifs de l'activité :

- Le professeur prend en compte « Concevoir et mettre en œuvre un protocole » Par exemple :
  - Donner les « bornes » de l'échelle de teinte et laisser les élèves déterminer comment préparer la solution à partir du comprimé.
  - Laisser les élèves fixer les conditions expérimentales : la longueur d'onde par exemple, le nombre de solutions de la gamme.
  - Laisser les élèves faire les solutions de la gamme.
- Le professeur prend en compte la capacité numérique, en demandant l'utilisation d'un tableur.

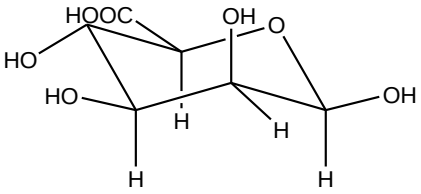
- **Indicateurs liés à la forme de l'activité** :

- Contexte plausible (un contrôle qualité et non un élève prenant l'initiative de vérifier la composition de son comprimé).
- Commencer par la formation du complexe (échelle de teinte) pour rapidement amener au principe du dosage / mettre à disposition des élèves des documents pour comprendre le principe.
- Prévoir des coups de pouce (et des solutions déjà faites) pour les élèves bloqués.
- Commande d'une production écrite.
- Toute autre idée pertinente : demander une liste de matériel, mettre à disposition une liste de matériel qui oriente les choix des élèves.

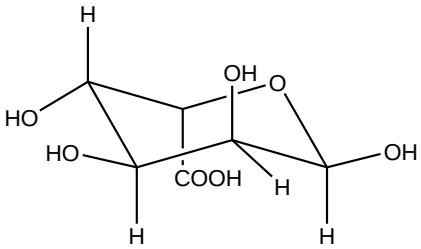
Q7. L'appellation « D » dans le D-mannose signifie que le dernier groupe hydroxyle en représentation de Fischer est à droite de la chaîne carbonée.

Q8. Il s'agit d'une réaction d'hémiacétalisation.
La forme α est majoritaire, ce qui est en contradiction avec ce que l'on voit habituellement car il y a plus de substituants en position axiale, (c'est l'effet anomère).

Q9.



Acide D-mannuronique

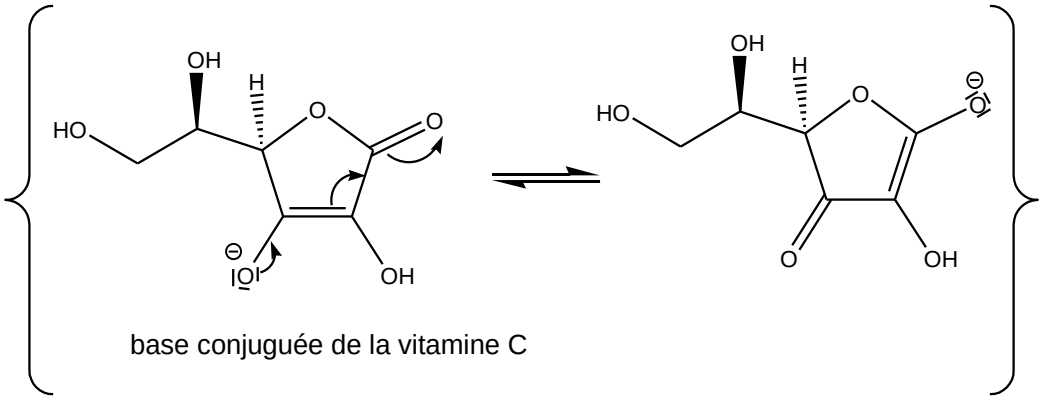


Acide L-guluronique

Il s'agit de deux diastéréoisomères car un seul atome de carbone asymétrique change de configuration**.**

Q10. Un copolymère est un polymère issu de la polymérisation d'au moins deux types de monomères chimiquement différents.
1er motif : MM bloc 2^{e} motif : MG bloc

Q11.



base conjuguée de la vitamine C

La base est stabilisée par mésomérie ce qui explique le caractère fortement acide de la vitamine C et une faible valeur du pKa.

Q12. Afin de simplifier l'écriture, on note la vitamine C, AH(aq).
Equation du titrage : $AH(aq) + HO^-(aq) = A^- + H_2O(l)$ $K = 10^{9,9} >> 1$
A l'équivalence : $n_{AH} = n_{HO^-}$
$C_{AH}.V_0 = C.V_E$
$C_{AH} = C.V_E/V_0 = 3{,}0.10^{-2} \times 14{,}7/20{,}0 = 2{,}21.10^{-2}$ mol.L^{-1}
Soit n = $2{,}21.10^{-3}$ mol dans 100 mL
Donc $m_1 = n \times M = 2{,}21.10^{-3} \times 176 = 388$ mg
De même : $m_2 = 359$ mg $m_3 = 375$ mg $m_4 = 375$ mg

Conclusion : l'utilisation de l'arginate permet de mieux conserver la vitamine C après 7 jours au réfrigérateur (375 mg au lieu de 359 mg). Par contre, on note une baisse de la vitamine C au moment de la sphérification (375 mg au lieu de 388 mg).

QP13.
Exemple d'organisation :

Durée envisagée (approximative)	Objectif	Consigne donnée aux élèves
Phase 1 : 10 minutes	Proposer un protocole pour déterminer l'instrument de mesure le plus précis.	Pour réaliser précisément 100 mL de solution de sérum physiologique, il est nécessaire de mesurer précisément ce volume. Vous avez à votre disposition 4 instruments de verrerie différents : un bécher gradué, un erlenmeyer gradué, une éprouvette graduée et une fiole jaugée. Proposer un protocole pour déterminer l'instrument le plus précis.
Phase 2 : 10 minutes	Aboutir à un protocole partagé.	Mutualisation des idées : un protocole est lu et les autres groupes amendent éventuellement.
Phase 3 : 20 minutes	Réaliser les mesures.	Mesurer 100 mL d'eau avec les différents instruments à disposition et mesurer la masse d'eau contenue dans chacun. Reporter les mesures au tableau.
Phase 4 : 10 minutes	Analyser qualitativement les valeurs obtenues.	Commenter l'étendue des valeurs pour chacun des instruments.
Phase 5 : 20 minutes	Exploiter une série de mesures indépendantes d'une grandeur physique.	Pour chaque série de mesure, représenter grâce au tableur l'histogramme, de répartition des mesures. Calculer la moyenne, l'écart-type puis l'incertitude-type.
Phase 6 : 10 minutes	Analyser les résultats.	En vous appuyant sur les résultats précédents, conclure quant à l'instrument de mesure de volume le plus précis.

Indicateurs pour le respect du programme :

- Mesurer des masses pour étudier la variabilité du volume mesuré par une pièce de verrerie.
- Histogramme, moyenne et écart-type.
- Utilisation du tableur pour l'histogramme.
- Incertitude-type.

Indicateurs pour l'aspect pédagogique :

- Durée pertinente (colonne 1).
- Objectifs pertinents et bien énoncés (pertinence pédagogique : colonne 2).
- Clarté des consignes (colonne 3).

Q14. Réaction de dosage : $Ag^+(aq) + Cl^-(aq) = AgCl(s)$

A l'équivalence : $n(Ag^+) = n(Cl^-)$

$C(Cl^-)\times E = C\times V_E$

$C(Cl^-) = C\times V_E/E = 0{,}05\times V_E/10$

Valeur moyenne de la concentration en ion chlorure : $C(Cl^-) = 0{,}0592$ mol.L^{-1}

$\Delta C(Cl^-) = 0{,}0004$ mol.L^{-1} d'où $C(Cl^-)_{diluée} = 5{,}92.10^{-2} \pm 4.10^{-4}$ mol.L^{-1}

En tenant compte de la dilution par 10 : $C(Cl^-) = 5{,}92.10^{-1} \pm 4.10^{-3}$ mol.L^{-1}

Q15. A l'équivalence, l'ion chromate réagit selon l'équation suivante :

$2\ Ag^+(aq) + CrO_4^{2-}(aq) = Ag_2CrO_4(s)$

$Ks = [Ag^+]^2.[CrO_4^{2-}] = 4s^3$ $\quad s = \sqrt[3]{Ks/4} = \sqrt[3]{10^{-12}/4} = 6{,}3.10^{-5}\,mol.L^{-1}$

$Ag^+(aq) + Cl^-(aq) = AgCl(s)$

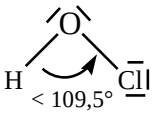
$Ks = [Ag^+].[Cl^-] = s^2$ $\quad s = \sqrt{Ks'} = \sqrt{10^{-9,7}} = 1{,}4.10^{-5}\,mol.L^{-1}$

AgCl(s) est le moins soluble des deux précipités donc il précipite en premier. Lorsqu'il n'y a plus d'ions chlorure, les ions argent précipitent avec l'ion chromate, il se forme un précipité rouge, la solution passe du jaune au rouge à l'équivalence. L'ion chromate sert d'indicateur de fin de réaction.

QP16.
Exemple de corrigé :

	Élément de réponse	Niveau 1	Niveau 2	Niveau 3	Niveau 4
1.a	Par jour, 10 m^3 d'eau de mer sont dessalés. Un litre d'eau de mer contient 35 g de sel. On récupère donc 10 000 × 35 g = 350 000 g, soit 350 kg.	Une information seulement est trouvée.	Les deux informations sont trouvées, mais aucun calcul n'est réalisé.	Les deux informations sont trouvées mais le calcul est erroné (erreur de conversion, d'unité par exemple)	Les deux informations sont trouvées et le calcul est fait correctement.
1.b	On place quelques millilitres de l'échantillon d'eau dessalée dans un tube à essai. On ajoute quelques gouttes d'une solution de nitrate d'argent. S'il y a formation d'un solide blanc qui noircit à la lumière, alors l'échantillon contient encore des ions chlorure. Indicateurs : Choix d'un petit échantillon. Quelques gouttes d'indicateur. Choix de l'indicateur. Résultat.	Aucun ou un seul indicateur présent.	2 indicateurs sont présents.	3 indicateurs sont présents.	Les 4 indicateurs sont présents.
2.a	**1** : liquide et **2** : gazeux	Une seule bonne réponse ou 2 réponses inversées		2 bonnes réponses	
2.b	**A** : liquéfaction	Réponse erronée		Réponse correcte	
2.c	L'énergie nécessaire pour traiter 1 kg d'eau est d'environ 20 000 J. La puissance de chauffage est de 2300W. $t = \frac{E}{P} = \frac{2250.10^3}{2300} = 978,3s = 16min$	Une information seulement est trouvée.	Les deux informations sont trouvées, mais aucun calcul n'est réalisé.	Les deux informations sont trouvées mais le calcul est posé mais le résultat est erroné.	Les 2 données nécessaires sont présentes. Le calcul est bien réalisé (on n'attend pas la conversion en h/min/s).
3	Lors de la distillation, pour transformer 1 kg d'eau liquide en 1 kg d'eau vapeur à la même température il faut environ 2 250 kJ. Lors de l'osmose inverse, le traitement complet d'1 kg l'eau de mer nécessite l'apport de 20 kJ. L'osmose inverse nécessite l'apport de beaucoup moins d'énergie que la distillation.	Une donnée seulement est citée.	La comparaison est faite sans appui sur les valeurs.	Les deux informations sont données mais la comparaison n'est pas faite.	Les 2 données nécessaires sont présentes. La comparaison est faite.

Q17. Acide conjugué : ClOH
AX_2E_2 **:** géométrie coudée



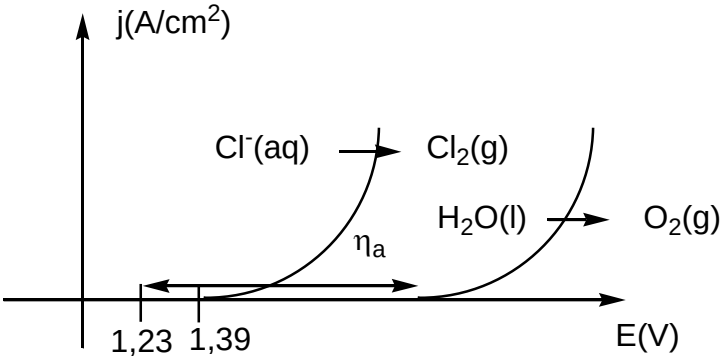
L'angle est inférieur à 109,5° à **cause de la répulsion des doublets non liants** sur l'atome d'oxygène.

Q18. A l'anode : oxydation
$2\ Cl^-(aq) = Cl_2(g) + 2\ e^-$ ou $Cl^-(aq) + 2\ HO^- = ClO^-(aq) + H_2O(l) + 2\ e^-$
$H_2O(l) = ½\ O_2(g) + 2\ H^+(aq) + 2\ e^-$

A la cathode : réduction
$2H^+(aq) + 2\ e^- = H_2(g)$ ou $2H_2O(l) + 2\ e^- = H_2(g) + 2\ HO^-(aq)$
$Na^+(aq) + e^- = Na(s)$

Q19. La réaction a lieu entre l'oxydant le plus faible et le réducteur le plus faible (ou avec le plus petit ΔE) : $H_2O(l) = ½\ O_2(g) + H_2(g)$
Il faut imposer une ddp égale à **1,23 V au minimum.**

Q20. Dégagement gazeux de dichlore : le matériau constituant l'anode est tel qu'à sa surface l'oxydation de l'eau est lente alors que celle des ions chlorure est rapide comme le montrent les courbes intensité-potentiel ci-dessous :



ηa surtension anodique

Q21. Equation de la réaction d'électrolyse : $2\ Cl^-(aq) = Cl_2(g) + 2\ e^-$
$2H_2O(l) + 2\ e^- = H_2(g) + 2\ HO^-(aq)$
Bilan: $2\ Cl^-(aq) + 2H_2O(l) = Cl_2(g) + H_2(g) + 2\ HO^-(aq)$
ou $2\ Cl^-(aq) + 2H^+(aq) = Cl_2(g) + H_2(g)$

En milieu basique (cf annexe 9), le dichlore se dismute à pH > 2,5, le pH de l'eau de mer étant autour de 7-8, on a donc l'équation de dismutation suivante :
$Cl_2(g) + 2\ HO^-(aq) = Cl^-(aq) + ClO^-(aq) + H_2O(l)$

Les ions « $Cl^-(aq) + ClO^-(aq)$ » sont les constituants de l'eau de Javel.

Tout raisonnement et équations cohérentes en tenant compte des espèces présentes et du pH étaient acceptés.

Q22. On assimile le dichlore à un gaz parfait : $n = \frac{PV}{RT} = \frac{1,013.10^5 \times 5,0.10^{-6}}{8,31 \times 287} = 2,12.10^{-4}\text{mol}$

Quantité de charge expérimentale : $Q_{exp} = 2F.n(Cl_2) = 2 \times 96500 \times 2,12.10^{-4} = 41$ C

Quantité de charge théorique : $Q_{th} = I.\Delta t = 58.10^{-3} \times 13 \times 60 = 45$ C

Rendement $\rho = \frac{Q_{exp}}{Q_{th}} = \frac{41}{45} = 0,91$

QP23. <u>Exemples de questions et de difficultés possibles :</u>

On attend des questions basées sur des exemples simples permettant de vérifier que le concept de transformation chimique est bien maîtrisé et les notions afférentes sont bien acquises :

Difficultés possibles	Exemples
Notions de réactif/produit, espèce spectatrice non maitrisées. ⇨ Permet de tester si les élèves arrivent à passer de la description de la transformation à sa modélisation par une équation. ⇨ Permet de voir si le vocabulaire est acquis.	Lorsqu'on ajoute quelques gouttes de solution de nitrate d'argent (solution contenant des ions nitrate NO_3^- et des ions argent Ag^+) à une solution de chlorure de sodium (solution contenant des ions chlorure Cl^- et des ions sodium Na^+), il se forme un précipité de chlorure d'argent AgCl. ⇨ Écrire l'équation de la réaction. ⇨ Citer les réactifs de la réaction, les produits, les espèces spectatrices.
Analyse d'une équation de réaction à l'échelle microscopique. ⇨ Permet de vérifier si les élèves maitrisent le passage de l'équation de la réaction à la description microscopique de la transformation.	Décrire en une phrase indiquant les quantités d'entités (nombre d'ions argent, nombre d'atomes de cuivre, …) la réaction chimique modélisée par l'équation suivante : $Cu(s) + 2\ Ag^+(aq) \rightarrow Cu^{2+}(aq) + 2\ Ag(s)$
Signification des nombres stœchiométriques du point de vue quantitatif. ⇨ Permet de vérifier si les élèves savent analyser les nombres stœchiométriques en termes de proportion.	Choisir les propositions justes : - Deux fois plus d'ions argent sont consommés lors de la transformation que d'atomes de cuivre. - Deux fois plus d'atomes de cuivre sont consommés lors de la transformation que d'ions argent. - Il y a autant d'ions argent que d'atomes de cuivre consommés lors de la transformation. - On obtient deux fois plus d'ions cuivre à l'issue de la transformation que d'atomes d'argent. - On obtient deux fois plus d'atomes d'argent à l'issue de la transformation que d'ions cuivre. - Il y a autant d'ions cuivre que d'atomes d'argent de formés à l'issue de la transformation.
Analyse d'une équation de réaction à l'échelle macroscopique.	Lors de la combustion du méthane CH_4 dans le dioxygène, il se forme deux fois plus de molécules d'eau que de dioxyde de carbone CO_2. Choisir la proposition juste : - La masse d'eau obtenue sera deux fois plus grande que la masse de dioxyde de carbone. - La quantité de matière d'eau obtenue sera deux fois plus grande que la masse de dioxyde de carbone.
Compréhension de la notion de réactif limitant et de l'analyse macroscopique ⇨ Permet de voir si les élèves maîtrisent la notion de réactif limitant et réussissent à interpréter une réaction à l'échelle macroscopique.	Lors de la combustion complète du carbone, l'équation de la réaction est : $C + O_2 \rightarrow CO_2$. On introduit initialement 1 mol de carbone et 2 mol de dioxygène. Choisir les bonnes réponses : À la fin de la réaction : - Tous les réactifs ont été consommés. - Il reste 1 mol de dioxygène. - Il s'est formé 1 mol de dioxyde de carbone. - Il s'est formé 2 mol de dioxyde de carbone. - Le carbone est le réactif limitant. - Le dioxygène est le réactif limitant. - Les deux réactifs sont limitants.

Compréhension de la notion de réactif limitant. ⇨ Permet de voir si les élèves maîtrisent la notion de réactif limitant dans le cas de nombres stœchiométriques différents.	Lors de la combustion du méthane, l'équation de la réaction est : $CH_4 + 2\ O_2 \rightarrow CO_2 + 2\ H_2O$. On introduit initialement 1 mol de méthane et 1 mol de dioxygène. Choisir les bonnes réponses : À la fin de la réaction : - Tous les réactifs ont été consommés. - Il reste 1 mol de dioxygène. - Il reste 0,5 mol de méthane.

Indicateurs pour le questionnement :

- Questions simples à comprendre/dans un contexte adapté/utilisant des supports adaptés.
- Questions liées à des capacités (on n'attend pas de définitions).
- Questionnement de difficulté progressive.
- Questions non redondantes.

Indicateurs pour les difficultés ciblées :

- Pertinentes (ce sont vraiment des difficultés des élèves pouvant faire obstacle à la construction de la notion d'évolution des quantités de matières au cours de la transformation chimique).
- Liées aux prérequis (c'est un diagnostic de début de séquence et non une évaluation formative ou sommative).

Q24. La structure électronique du ruthénium dans RuO_2 est :

$1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 4s^2\ 3d^{10}\ 4p^6$ **$5s^0\ 4d^4$**

L'oxygène est plus électronégatif que le ruthénium (toute autre explication était acceptée), le nombre d'oxydation du ruthénium dans la molécule RuO_2 vaut **IV.**

Q25. *Equation de la synthèse du carbonate de lithium :*

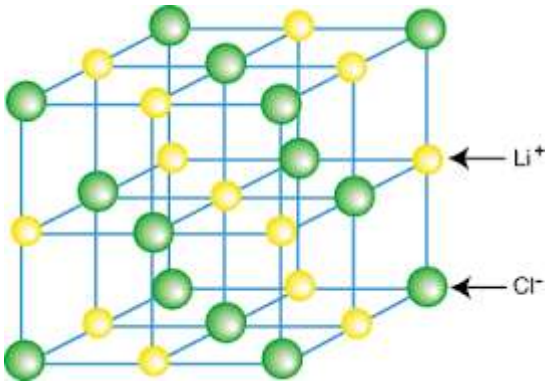
$$2\ LiCl(aq) + Na_2CO_3(aq) = Li_2CO_3(s) + 2\ NaCl(s)$$

Toute équation sous forme ionique et sans la présence des ions spectateurs était acceptée.

Equation de la synthèse du carbonate de lithium :

$$Li_2CO_3(aq) + CaO(aq) + H_2O(l) = CaCO_3(s) + 2\ LiOH(s)$$

Q26. Structure cristalline de LiCl :



Condition de tangence : $r^+ + r^- = \frac{a}{2}$ et de non tangence : $2\sqrt{2}r^- < a$ d'où $\frac{r^+}{r^-} > \sqrt{2} - 1$

AN : $\frac{r(Li^+)}{r(Cl^-)} = \frac{90}{167} = 0{,}539 > \sqrt{2} - 1$, condition validée

Q27. $\frac{r(K^+)}{r(Cl^-)} = \frac{152}{167} = 0{,}91 > \sqrt{2} - 1$, condition validée

Si l'on envisage l'occupation d'un site cubique, on devrait avoir : $\frac{r^+}{r^-} > \sqrt{3} - 1$

Or $\frac{r(K^+)}{r(Cl^-)} = \frac{152}{167} = 0,91 > \sqrt{3} - 1$, la condition est aussi validée, le cation devrait aller dans le site de coordinence la plus grande, soit dans le site cubique et non octaédrique.

Q28. LiCl et KCl ont le même réseau cristallin mais K^+ est beaucoup plus gros que Li^+ donc on pourrait envisager une substitution de K^+ par Li^+. L'inverse n'est pas possible car K^+ est trop gros donc on peut avoir une miscibilité partielle de LiCl dans KCl. Cela peut diminuer le rendement de l'extraction de LiCl.

Q29. Enthalpie standard de la réaction :
$\Delta_r H° = \Delta_f H°(Li_2CO_3(s)) + \Delta_f H°(H_2O(l)) - \Delta_f H°(CO_2(g)) - 2\times\Delta_f H°(LiOH(s))$
$\Delta_r H° = - 1175 – 285,8 + 393,5 + 2\times484,2 = - 98,9\ kJ.mol^{-1} < 0$
La réaction est exothermique.

Entropie standard de la réaction :
$\Delta_r S° = S°(Li_2CO_3(s)) + S°(H_2O(l)) - S°(CO_2(g)) - 2\times S°(LiOH(s))$
$\Delta_r S° = 90 + 69,95 - 213,8 – 2\times42,8 = -139,5\ J.mol^{-1}.K^{-1} < 0$
On observe une diminution du nombre de moles de gaz.

Q30. Equation de la réaction : $CaCO_3(s) + 2H^+(aq) = Ca^{2+}(aq) + H_2O(l) + CO_2(g)$

Equation des GP : $n(CO_2) = \frac{PV}{RT} = \frac{1,013.10^5 \times 61,85.10^{-6}}{8,31\times 298} = 2,53.10^{-3}\,mol$

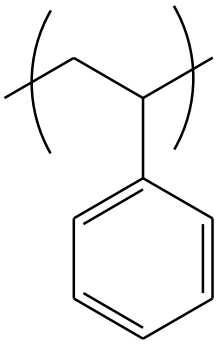
(en faisant l'hypothèse $P = p_{atm}$ et $T = 298$ K)

D'après l'équation de la réaction : $n(CO_2) = n(CaCO_3) = 2,53.10^{-3}\,mol$

$$m(CaCO_3) = n\times M = 2,53.10^{-3} \times (40,1 + 12 + 3\times16) = 0,253g$$

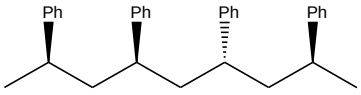
$$\%(CaCO_3) = \frac{m(CaCO_3)}{m(coquille)} = \frac{0,253}{0,280}.100 = 90,4\%$$

Q31.

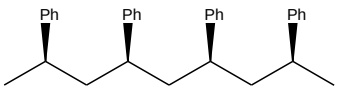


Tacticité du polymère : disposition des substituants/groupements par rapport à la chaîne aliphatique.

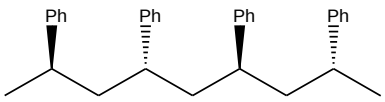
- atactique : répartition aléatoire du substituant Ph
-



- isotactique : répartition uniforme du substituant Ph (du même côté)



- syndiotactique : répartition alternée du substituant Ph.



Q32. $RSO_3H(aq) + Na^+(aq) = RSO_3^-(aq) + Na^+(aq) + H^+(aq)$

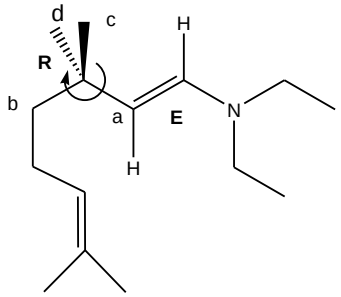
Q33. On se place à pH = 12 : $[Ca^{2+}] = \frac{Ks}{[HO^-]^2} = \frac{10^{-5,3}}{10^{-4}} = 5,0.10^{-2} mol.L^{-1}$

$[Mg^{2+}] = \frac{Ks}{[HO^-]^2} = \frac{10^{-11}}{10^{-4}} = 1,0.10^{-7} mol.L^{-1}$

On obtient ainsi : $[Mg^{2+}]/[Ca^{2+}] = 2,0.10^{-6} << 1$

Les ions Mg^{2+} sont précipités majoritairement et seuls les ions Ca^{2+} restent en solution.

Q34. Selon les règles Cahn, Ingold et Prelog : classement des substituants selon le numéro atomique.



citronellal diéthylamine

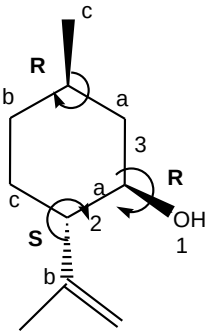
Q35. Il se forme une fonction aldéhyde.

RMN : $\delta(CHO) \approx 9$ ppm

IR : $\sigma(C=O) \approx 1700\ cm^{-1}$ forte intensité

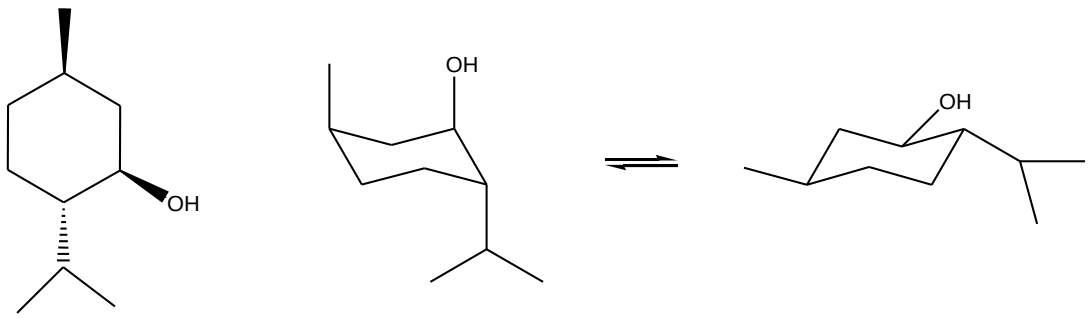
σ(C-H aldéhyde) $\approx 2700\text{-}2900\ cm^{-1}$ 2 bandes de faible intensité

Q36. Représentation topologique de l'isopulégol :



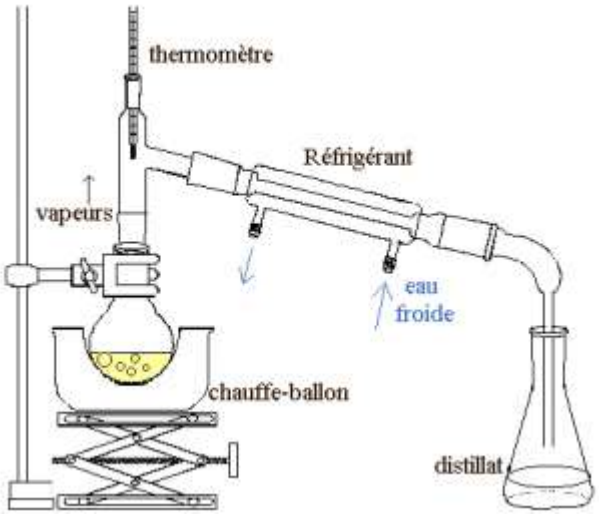
Q37. Conditions opératoires pour réaliser une hydrogénation :

Pd ou Pt par exemple **(catalyseur solide), H_2(g)** à température et pression ambiantes.



Le conformère le plus stable s'obtient lorsque l'on place les substituants en position équatoriale.

Q38. Montage d'hydrodistillation :

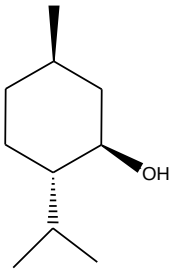


Comparaison :

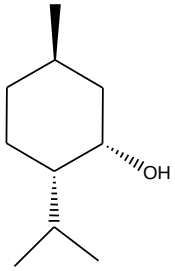
- Extraction de l'huile essentielle : utilisation d'une quantité importante de menthe, le produit obtenu est non pur, l'extraction est souvent longue et nécessite une quantité importante d'eau, les constituants de l'huile essentielle ont des propriétés similaires : température d'ébullition, solubilité…, il sera alors difficile de les séparer.

- Synthèse organique : le produit obtenu est pur, utilisation de produits non respectueux de la chimie verte : $ZnBr_2$, diéthylamine.

Q39. Le menthol et le néomenthol sont des diastéréoisomères car seule la configuration d'un carbone asymétrique change de configuration.

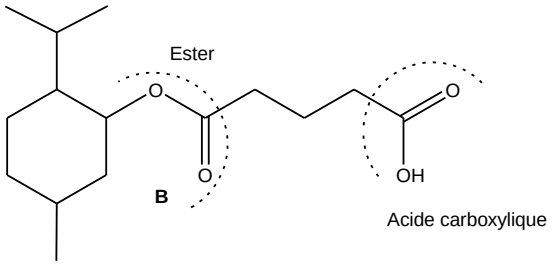


menthol

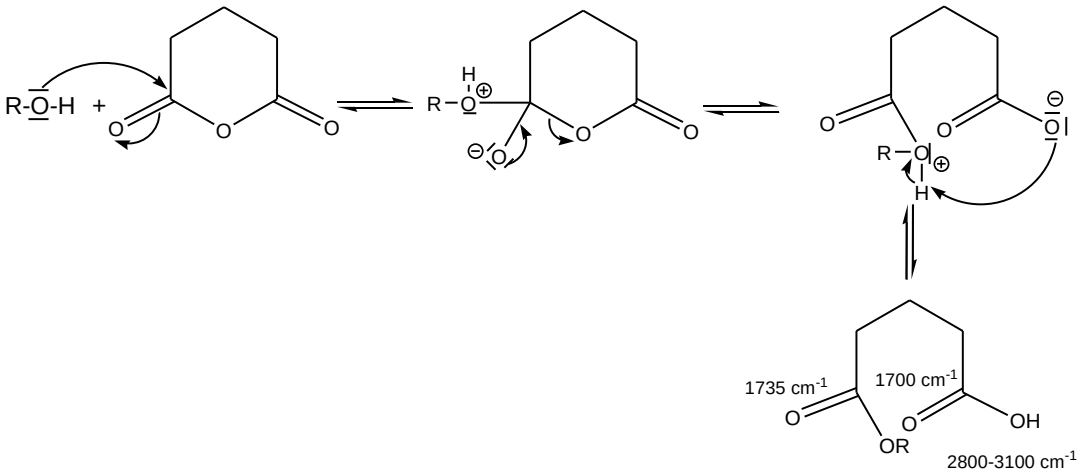


néomenthol

Q40.



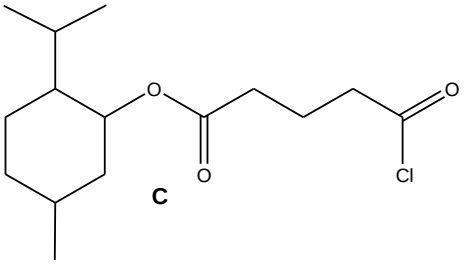
Mécanisme : On note le menthol ROH pour simplifier l'écriture.



Q41. La bande pour la liaison OH est large. Cela s'explique par la formation de dimères entre les acides carboxyliques par l'intermédiaire de liaison hydrogène.

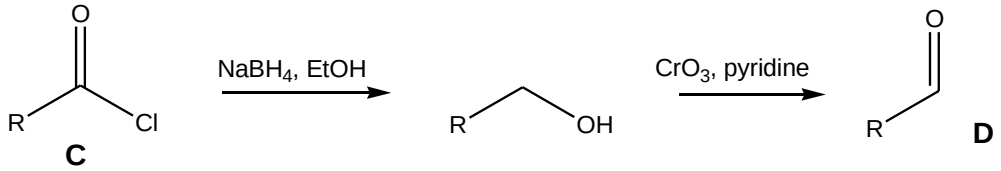
La bande pour la liaison C=O est intense car la différence d'électronégativité entre les atomes d'oxygène et de carbone est importante donc il y aura une forte variation du moment dipolaire lors de la vibration.

Q42. Le dégagement gazeux permet de déplacer l'équilibre et donc d'augmenter le rendement.



C

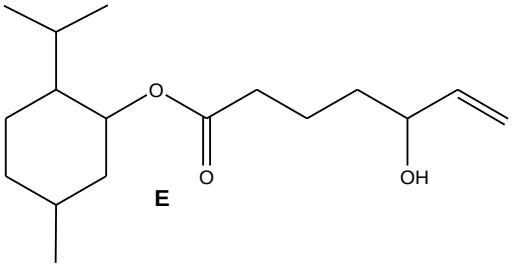
Q43.



C **D**

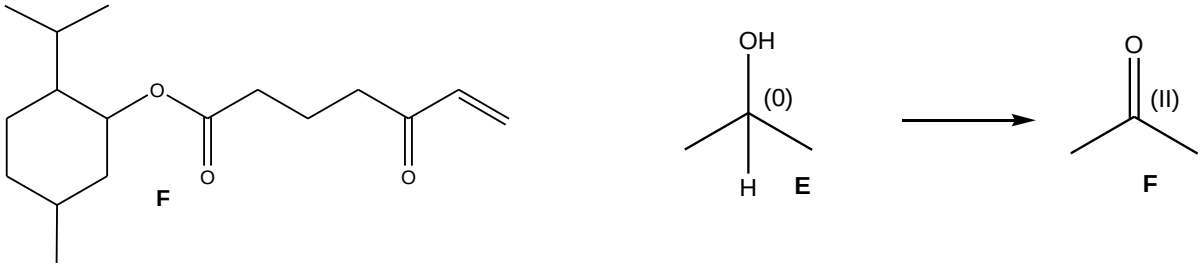
Toute autre suite logique de réactions était acceptée.

Q44. Le solvant a été choisi car c'est une molécule **aprotique** et qui a des propriétés de **base de Lewis.**



E

Q45.

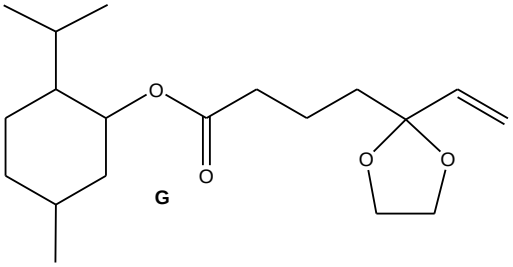


Le nombre d'oxydation **augmente**, il s'agit d'une réaction **d'oxydation.**

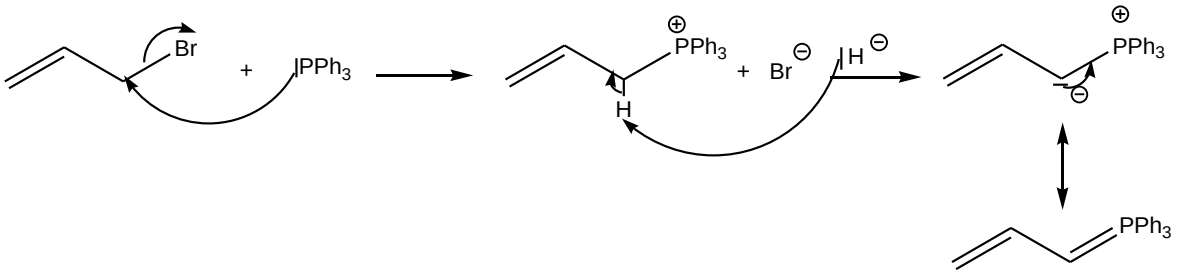
Q46. Cette étape permet de **protéger** la fonction cétone en formant un **cétal.**

On utilise un montage de **Dean Stark.** On ajoute un solvant : le cyclohexane par exemple, qui forme un hétéroazéotrope avec l'eau. Cela permet d'extraire l'eau du montage et de **déplacer l'équilibre** dans le sens de formation du cétal.

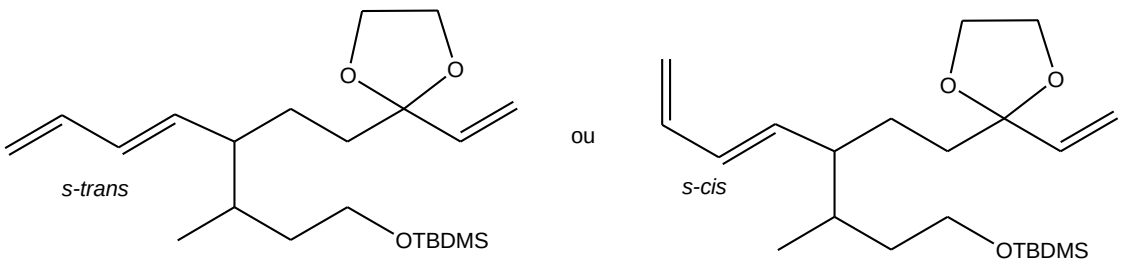
Q47.



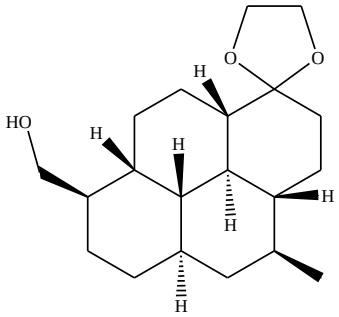
Q48. Il s'agit de la réaction de Wittig. On forme l'ylure de phosphore selon le mécanisme suivant :



Q49. Représentation topologique de **I** :

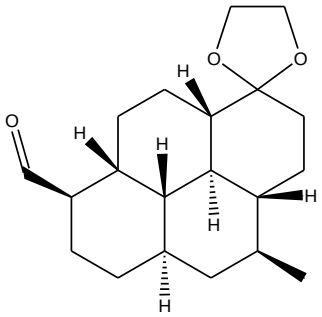


Q50. Représentation topologique de **K** :

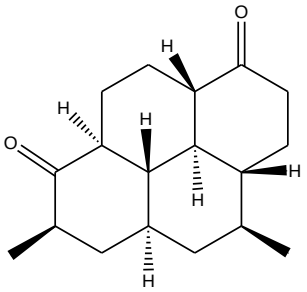


Le catalyseur (Pd) est solide. Il est dans une phase différente de celle des réactifs ($H_2(g)$), la catalyse est donc **hétérogène**.

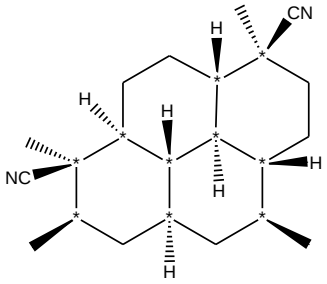
Q51. Représentation topologique de **L** : il se forme une fonction aldéhyde.



Q52. Il s'agit d'une déprotection de la fonction cétone.



Q53. La molécule possède 10 C* et comme elle ne possède **ni plan, ni centre de** symétrie, elle présente **2^{10} stéréoisomères**.



Q54. On utilise la **recristallisation** pour purifier le produit en se basant sur les différences de **solubilité à chaud et à froid du produit d'intérêt** et **des impuretés** dans un solvant ou un mélange de solvants judicieusement choisis à l'aide d'un **chauffage à reflux**.

Q55. Techniques de laboratoires pour vérifier la pureté du produit purifié : CCM, point de fusion, IR, RMN.