

PC
Physique · Modélisation · Chimie
2023

Sous la coordination de

Alexandre HERAULT
professeur en CPGE
ancien élève de l'École Normale Supérieure (Paris-Saclay)

Louis SALKIN
professeur en CPGE
ancien élève de l'École Normale Supérieure (Paris-Saclay)

Par

Virgile ANDREANI
ENS Ulm

Claire BESSON
enseignant-chercheur à l'université

Jacques DING
École Polytechnique

Gaëlle DUMAS
professeur agrégé

Amélie GAY
ENS de Lyon

Alexandre HERAULT
professeur en CPGE

Jérôme LAMBERT
enseignant-chercheur à l'université

Henri LASTAKOWSKI
ENS de Lyon

Augustin LONG
professeur en CPGE

Marie LUCAS
ENS de Lyon

Jimmy ROUSSEL
professeur agrégé en école d'ingénieurs

Jean-Christophe TISSERAND
professeur en CPGE

Sommaire

		Énoncé	Corrigé
E3A			
Physique et Chimie	La physique des sous-marins. Autour du fer. Synthèse de la fumagilline. <i>mécanique des fluides, ondes électromagnétiques, oxydoréduction, diagrammes E-pH, cristallographie</i>	12	27
CONCOURS COMMUN INP			
Physique	La qualité de l'air dans l'habitat. <i>thermodynamique, mécanique des fluides, électromagnétisme, électronique</i>	45	61
Modélisation Physique et Chimie	Étude des caractéristiques d'un matériau biosourcé : le Kairlin. <i>équation de la chaleur, intégration numérique, acoustique, matplotlib, analyse d'image, chimie organique, cinétique chimique</i>	85	103
Chimie	Synthèse de l'épothilone A. Le cyanure de potassium. <i>cristallographie, cinétique chimique, oxydoréduction, diagrammes E-pH, courbes courant-potentiel, orbitales moléculaires, chimie organique</i>	117	135
CENTRALE-SUPÉLEC			
Physique 1	Performances en cyclisme. <i>mécanique du point, électromagnétisme, mécanique des fluides</i>	152	166
Physique 2	Une révolution tranquille du système international d'unités. <i>induction, magnétostatique, mécanique des fluides, ondes sonores</i>	189	195
Chimie	Synthèses chimiques au laboratoire et dans l'industrie. <i>cristallographie, thermodynamique, solutions aqueuses, mélanges binaires, procédés industriels continus, informatique pour tous, chimie organique</i>	209	225

MINES-PONTS

Physique 1	Les sylphes. <i>mécanique du point, statique des fluides, ondes électromagnétiques, collisions</i>	248	257
Physique 2	Planche à voile et vagues. <i>mécanique des fluides</i>	272	282
Chimie	Utilisation du vanadium dans un système de stockage de l'énergie. Synthèse de la (+)-artémisinine. <i>solutions aqueuses, oxydoréduction, diagrammes E-pH, courbes courant-potentiel, thermodynamique, chimie organique, orbitales moléculaires, chimie de coordination</i>	296	310

POLYTECHNIQUE-ENS

Physique A	Forger les métaux grâce à l'induction électromagnétique. <i>rayonnement du corps noir, électromagnétisme, induction, diffusion thermique</i>	332	343
Physique B	Mesure de la constante de structure fine. <i>mécanique quantique, interférométrie</i>	357	370
Chimie	L'état de transition. <i>cristallographie, cinétique chimique, oxydoréduction, chimie organique, orbitales moléculaires, chimie de coordination, informatique pour tous</i>	394	418

FORMULAIRES

Constantes chimiques	440
Constantes physiques	443
Formulaire d'analyse vectorielle	444
Classification périodique	448

SESSION 2023



PC9PC

ÉPREUVE SPÉCIFIQUE - FILIÈRE PC

PHYSIQUE ET CHIMIE**Durée : 4 heures**

N.B. : le candidat attachera la plus grande importance à la clarté, à la précision et à la concision de la rédaction. Si un candidat est amené à repérer ce qui peut lui sembler être une erreur d'énoncé, il le signalera sur sa copie et devra poursuivre sa composition en expliquant les raisons des initiatives qu'il a été amené à prendre.

RAPPEL DES CONSIGNES

- Utiliser uniquement un stylo noir ou bleu foncé non effaçable pour la rédaction de votre composition ; d'autres couleurs, excepté le vert, peuvent être utilisées, mais exclusivement pour les schémas et la mise en évidence des résultats.
 - Ne pas utiliser de correcteur.
 - Écrire le mot FIN à la fin de votre composition.
-

Les calculatrices sont autorisées.

Le sujet est composé de deux problèmes indépendants, un de physique un de chimie.

- Tout résultat donné dans l'énoncé peut être admis et utilisé par la suite.
- Les explications des phénomènes étudiés interviennent dans l'évaluation au même titre que les développements analytiques et les applications numériques.
- Les résultats numériques exprimés sans unité ou avec une unité fautive ne sont pas notés.

e3a Physique et Chimie PC 2023 — Corrigé

Ce corrigé est proposé par Étienne Martel (docteur en physique) et Alexandre Herault (professeur en CPGE) ; il a été relu par Henri Lastakowski (ENS de Lyon), Julien Dumont (professeur en CPGE) et Frédéric Barbosa (professeur agrégé).

Ce sujet est composé de trois parties de physique et deux parties de chimie, formant deux blocs de longueurs comparables. Toutes les parties sont indépendantes.

La physique a pour thème les sous-marins et ressemble, sur certains points, au sujet Centrale Physique et Chimie 2 PSI 2022. On aborde successivement l'hydrostatique, la cavitation et enfin la propagation d'ondes électromagnétiques dans un milieu dispersif (l'eau de mer).

La chimie est constituée de deux sous-parties indépendantes, l'une de chimie générale et l'autre de chimie organique.

- La première partie se cantonne essentiellement au cours de statique des fluides, dont il faut absolument maîtriser les démonstrations de base pour avancer.
- Le problème de la cavitation traité dans la deuxième partie permet de bien comprendre le phénomène en jeu autour des pales des hélices. Il ne faut pas hésiter à se servir des relations données par l'énoncé.
- La dernière partie de physique est classique dans sa forme. Il s'agit de reprendre les calculs habituels du cours sur les ondes électromagnétiques dans le vide, mais sans oublier les courants que l'on exploite avec la loi d'Ohm locale. Il faut savoir redémontrer l'équation locale de conservation de la charge pour établir ensuite la neutralité du milieu.
- La partie de chimie générale a pour thème le fer. Elle est divisée en trois sous-parties. Dans la première, on étudie un diagramme potentiel-pH du fer. Dans la deuxième, quelques questions très classiques de cristallographie sont posées autour de la maille cubique centrée. La troisième aborde les équilibres de complexation entre le fer et les protéines myoglobine et hémoglobine.
- La partie de chimie organique est une étude de la synthèse totale de la fumagilline. Tous les intermédiaires sont donnés. Quelques noms de réaction sont demandés, ainsi que quelques mécanismes réactionnels simples.

La partie physique est globalement proche du cours, hormis quelques questions (essentiellement 10 et 18) qui demandent plus d'intuition et de rigueur. Dans la partie chimie, les questions sont toutes des applications immédiates soit du cours, soit des indications données dans l'énoncé, comme c'est souvent le cas pour ce concours. La facilité de cette partie est extrême. Ce sujet est un bon entraînement pour qui veut se rassurer sur ses connaissances de cours et sur sa capacité à répondre vite à des questions très simples.

SESSION 2023



PC2P

ÉPREUVE SPÉCIFIQUE - FILIÈRE PC

PHYSIQUE**Durée : 4 heures**

N.B. : le candidat attachera la plus grande importance à la clarté, à la précision et à la concision de la rédaction. Si un candidat est amené à repérer ce qui peut lui sembler être une erreur d'énoncé, il le signalera sur sa copie et devra poursuivre sa composition en expliquant les raisons des initiatives qu'il a été amené à prendre.

RAPPEL DES CONSIGNES

- Utiliser uniquement un stylo noir ou bleu foncé non effaçable pour la rédaction de votre composition ; d'autres couleurs, excepté le vert, peuvent être utilisées, mais exclusivement pour les schémas et la mise en évidence des résultats.
 - Ne pas utiliser de correcteur.
 - Écrire le mot FIN à la fin de votre composition.
-

Les calculatrices sont autorisées.

Le problème est composé de trois parties indépendantes.

Les points sont répartis approximativement de la façon suivante :

Partie I	25 %
Partie II	30 %
Partie III	45 %

CCINP Physique PC 2023 — Corrigé

Ce corrigé est proposé par Jean-Christophe Tisserand (professeur en CPGE) ; il a été relu par Gaëlle Dumas (professeur en CPGE) et Julien Dumont (professeur en CPGE).

Cette épreuve traite d'appareils et d'instruments permettant de mesurer et d'améliorer la qualité de l'air dans un habitat. Elle est divisée en trois parties indépendantes de durées et de longueurs inégales, la dernière étant environ deux fois plus longue que chacune des deux premières.

- La première partie s'intéresse au principe de fonctionnement d'un système de ventilation double flux à partir de considérations principalement thermodynamiques. Les performances obtenues sont comparées à celles d'une VMC (ventilation mécanique contrôlée) simple flux.
- La deuxième partie propose d'étudier un capteur capacitif qui permet de mesurer l'humidité de l'air au moyen d'un pont de Sauty équilibré. Le condensateur, qui est contenu dans le capteur, est analysé grâce à l'électromagnétisme.
- La troisième partie se concentre sur un moyen de supprimer les bruits engendrés par les systèmes de ventilation : le résonateur de Helmholtz. Cette partie utilise principalement la mécanique des fluides pour étudier les ondes sonores générées par une VMC.

Ce sujet intéressant, mais particulièrement long, constitue un excellent moyen de réviser de nombreuses parties des programmes de première et deuxième années. Il fait principalement appel à la thermodynamique, à la mécanique des fluides et à l'électromagnétisme.

SESSION 2023



PC7MO

ÉPREUVE MUTUALISÉE AVEC E3A-POLYTECH ÉPREUVE SPÉCIFIQUE - FILIÈRE PC

MODÉLISATION DE SYSTÈMES PHYSIQUES OU CHIMIQUES

Durée : 4 heures

N.B. : le candidat attachera la plus grande importance à la clarté, à la précision et à la concision de la rédaction. Si un candidat est amené à repérer ce qui peut lui sembler être une erreur d'énoncé, il le signalera sur sa copie et devra poursuivre sa composition en expliquant les raisons des initiatives qu'il a été amené à prendre.

RAPPEL DES CONSIGNES

- Utiliser uniquement un stylo noir ou bleu foncé non effaçable pour la rédaction de votre composition ; d'autres couleurs, excepté le vert, peuvent être utilisées, mais exclusivement pour les schémas et la mise en évidence des résultats.
- Ne pas utiliser de correcteur.
- Écrire le mot FIN à la fin de votre composition.

Les calculatrices sont autorisées.

Le sujet est composé de trois parties indépendantes.

Les poids respectifs de ces trois parties sont :

- 41 % pour la **partie II**
- 26 % pour la **partie III**
- 33 % pour la **partie IV**

Le sujet comporte :

- l'énoncé du sujet : page 2 à 14,
- l'Annexe : page 15 à 16,
- le Document Réponse (DR) : 2 pages.

Le Document Réponse doit être rendu dans son intégralité avec la copie.

CCINP Modélisation de systèmes physiques ou chimiques PC 2023 — Corrigé

Ce corrigé est proposé par Virgile Andreani (ENS Ulm) et Augustin Long (professeur en CPGE) ; il a été relu par Olivier Frantz (professeur agrégé en école d'ingénieurs), Cyril Ravat (professeur en CPGE) et Alexandre Herault (professeur en CPGE).

Ce sujet a pour fil conducteur le Kairlin, un matériau bio-composite mêlant plastique et fibres de lin. Il aborde plusieurs phénomènes physiques au cours de trois parties de longueurs inégales.

- La première partie présente le contexte et les objectifs du sujet. Elle ne comporte aucune question, ce qui est assez inhabituel.
- La partie II modélise la diffusion de la chaleur en une dimension, à travers une résistance thermique, d'abord en régime permanent, analytiquement, puis en régime transitoire, au moyen d'une simulation numérique.
- Dans la partie III, on modélise la transmission d'ondes planes et progressives harmoniques à travers le matériau, en utilisant leur expression complexe. Puis, on se sert de Python pour lire un fichier de résultats numériques et tracer un graphe à l'aide de la bibliothèque matplotlib.
- La quatrième et dernière partie aborde la fabrication du Kairlin. On étudie la composition du matériau à l'aide d'un traitement d'image, puis la deuxième sous-partie de chimie s'intéresse à la synthèse de la matrice en acide polylactique du matériau. Cette sous-partie de chimie comporte quelques approximations et erreurs sur les documents réponses et les valeurs numériques du protocole.

La partie physique consiste en grande partie en une restitution du cours. Les questions de programmation qui ne sont pas des applications directes du cours sont faciles, et assez artificielles, notamment dans la dernière partie. On peut regretter quelques imprécisions et erreurs dans le code fourni par l'énoncé, qui ne devraient néanmoins pas gêner sa résolution. Si la sous-partie de chimie est abordable, les calculs sont rendus difficiles par les valeurs numériques disséminées dans les questions et par une erreur très déstabilisante dans les données du protocole. Cette dernière empêche d'exploiter les résultats expérimentaux au centre de cette partie, puisqu'elle conduit à des résultats incohérents devant la problématique d'utilisation d'un matériau minimisant l'impact sur l'environnement. Il fallait prendre l'initiative de corriger soi-même la valeur expérimentale, ce qui nécessite d'avoir un très grand recul sur la manipulation étudiée pendant la composition.

En conclusion, ce sujet servira principalement à tester sa connaissance du cours.

SESSION 2023



PC3C

ÉPREUVE SPÉCIFIQUE - FILIÈRE PC

CHIMIE

Durée : 4 heures

N.B. : le candidat attachera la plus grande importance à la clarté, à la précision et à la concision de la rédaction. Si un candidat est amené à repérer ce qui peut lui sembler être une erreur d'énoncé, il le signalera sur sa copie et devra poursuivre sa composition en expliquant les raisons des initiatives qu'il a été amené à prendre.

RAPPEL DES CONSIGNES

- Utiliser uniquement un stylo noir ou bleu foncé non effaçable pour la rédaction de votre composition ; d'autres couleurs, excepté le vert, peuvent être utilisées, mais exclusivement pour les schémas et la mise en évidence des résultats.
 - Ne pas utiliser de correcteur.
 - Écrire le mot FIN à la fin de votre composition.
-

Les calculatrices sont autorisées.

Le sujet est composé de deux problèmes indépendants.

Chaque problème est constitué de parties indépendantes.

Des données sont disponibles à la fin de chaque problème.

Toute réponse devra être clairement justifiée.

CCINP Chimie PC 2023 — Corrigé

Ce corrigé est proposé par Alexandre Herault (professeur en CPGE) ; il a été relu par Marie Lucas (ENS de Lyon) et Augustin Long (professeur en CPGE).

Cette épreuve comporte, comme tous les ans à CCINP, deux problèmes indépendants, l'un de chimie organique, l'autre de chimie générale.

- Le premier problème, de chimie organique, étudie la synthèse de l'épothilone A, molécule macrocyclique à seize chaînons présentant des propriétés cytotoxiques intéressantes en chimiothérapie. La synthèse est fondée sur l'utilisation de trois fragments dont on étudie la formation. Ce problème comporte cinq parties indépendantes. Dans la première, on étudie les propriétés structurales et la stéréochimie de l'épothilone A. Les trois suivantes détaillent les synthèses des trois fragments utilisés. La dernière aborde les réactions des fragments entre eux pour former la molécule finale.
- Le second problème, de chimie générale, a pour thème le cyanure de potassium. Ce composé très toxique est l'une des seules substances qui forme des composés de l'or solubles dans l'eau. Il est utilisé en bijouterie pour réaliser des dorures ainsi que pour extraire l'or du minerai naturel. Ce problème comprend deux parties indépendantes. La première concerne la structure et la synthèse du cyanure de potassium. On utilise dans cette partie la cristallographie, les orbitales moléculaires, la chimie des solutions aqueuses et la cinétique. La seconde partie traite de l'extraction de l'or par cyanuration et on étudie essentiellement un processus d'électrolyse.

Ce sujet ne présente aucune difficulté particulière. Les questions sont toutes très simples, très souvent indépendantes, et sont pour la plupart des applications directes du cours. Les mécanismes de chimie organique demandés ne comprennent pas plus de trois étapes mais les molécules étudiées comportant un grand nombre d'atomes, il ne fallait pas hésiter à les représenter de façon simplifiée, comme suggéré au début de l'énoncé. Cette épreuve est un très bon entraînement pour tester sa connaissance du cours et sa capacité à résoudre des questions simples.



CONCOURS CENTRALE-SUPÉLEC

Physique 1

4 heures

Calculatrice autorisée

PC

2023

Améliorations des performances en cyclisme

Dans le cyclisme de haut niveau, les gains aérodynamiques font bien souvent la différence, en particulier en contre-la-montre où les vitesses de déplacement sont les plus élevées. À ces vitesses, 90% de la puissance développée est utilisée pour lutter contre l'effort de trainée aérodynamique. Parmi les facteurs influant sur cette trainée, le casque représente de l'ordre de 2 à 8% de la trainée totale, en fonction de la géométrie de celui-ci. L'utilisation d'un casque performant joue donc un rôle important dans l'amélioration des performances.

Le 23 juillet 1989, Greg Lemond remporte le Tour de France devant Laurent Fignon avec 8 secondes d'avance au terme des 3285 km de l'épreuve. L'ultime étape, décisive, est un contre-la-montre lors duquel Greg Lemond prend l'avantage sur Laurent Fignon en lui reprenant 58 secondes sur les 24,5 km du parcours, effectués à près de $55 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ de vitesse moyenne. Au-delà des considérations physiologiques des deux cyclistes, Lemond utilisa de nombreux éléments novateurs en ce qui concerne l'aérodynamisme. En particulier, il était muni d'un casque profilé, révolutionnaire pour l'époque. Fignon, de son côté, ne portait pas de casque.



Figure 1 Greg Lemond (à gauche) et Laurent Fignon (à droite) lors du dernier contre-la-montre du Tour 1989

Ce sujet propose de déterminer le gain en puissance que permettent deux évolutions majeures du casque de contre-la-montre.



Figure 2 Casque de vélo traditionnel (à gauche), en goutte d'eau (au centre) et à flux d'air (à droite)

Certaines questions, peu ou pas guidées, demandent de l'initiative de la part du candidat. Leur énoncé est repéré par une barre en marge. Il est alors demandé d'expliquer clairement la démarche, les choix et de les illustrer, le cas échéant, par un schéma. Le barème valorise la prise d'initiative et tient compte du temps nécessaire à la résolution de ces questions.

Certaines formules et données utiles ainsi que les définitions de quelques fonctions Python sont regroupées en fin d'énoncé.

Centrale Physique 1 PC 2023 — Corrigé

Ce corrigé est proposé par Jérôme Lambert (enseignant-chercheur) ; il a été relu par Jimmy Roussel (professeur agrégé en école d'ingénieurs) et Cyril Ravat (professeur en CPGE).

Ce sujet est consacré à l'amélioration des performances d'un cycliste grâce au port d'un casque aérodynamique.

- Dans la partie I, on met en évidence l'amélioration des performances grâce au casque en comparant les vitesses limites d'un cycliste enregistrées par un GPS. On met l'accent sur les sources d'incertitudes de la mesure de ces vitesses en étudiant la traversée de l'ionosphère par une onde émise depuis un satellite.
- La deuxième partie propose d'étudier l'écoulement de l'air le long du dos d'un cycliste. On construit un modèle de couche limite et l'on étudie les conditions de décollement de celle-ci. On précise la description à l'aide de l'équation de Von Karman, ce qui permet de situer le point de décollement.

Ce problème utilise un grand nombre de chapitres du programme. La partie I fait appel à des notions assez classiques de mécanique et d'électromagnétisme, et demande une étude statistique des mesures à l'aide de programmes Python. La partie II est entièrement consacrée à la mécanique des fluides. Le sujet est long mais de difficulté équilibrée. La variété des sujets abordés en fait un excellent exercice pour les révisions.



CONCOURS CENTRALE•SUPÉLEC

Physique 2

PC

2023

4 heures

Calculatrice autorisée

Une révolution tranquille du système international d'unités

La révision du système international d'unités (SI) a été adoptée par la Convention Générale des Poids et Mesures (CGPM) en novembre 2018 et les nouvelles définitions ont pris effet à compter du 20 mai 2019, date anniversaire de la signature de la Convention du Mètre.

Le SI est un système d'unités cohérent qui est utilisé dans tous les aspects de la vie, que ce soit le commerce international, la production industrielle, la santé, la sécurité, la protection de l'environnement ou les sciences fondamentales. Il doit être pérenne, uniforme et accessible. Cet idéal d'universalité porté par le SI se retrouve dans sa devise « À tous les temps, à tous les peuples ».

Les nouvelles définitions des unités du SI sont établies à partir d'un ensemble de sept constantes de la physique. Deux expériences ou effets sont abordés : la balance de Kibble ou balance du watt (partie I) et la thermométrie acoustique dans un résonateur (partie II).

Des données numériques et un formulaire sont disponibles en fin d'énoncé.

Certaines questions, peu ou pas guidées, demandent de l'initiative de la part du candidat. Leur énoncé est repéré par une barre en marge. Il est alors demandé d'explicitier clairement la démarche, les choix et de les illustrer, le cas échéant, par un schéma. Le barème valorise la prise d'initiative et tient compte du temps nécessaire à la résolution de ces questions.

Ce sujet s'inspire du dossier sur le nouveau système international d'unités tiré de *Reflets de la Physique* n°62, 2019, pp. 11–31.

I Redéfinition du kilogramme

I.A – Prototype international du kilogramme

Avant 2019, le kilogramme était défini comme « la masse du prototype international du kilogramme ». C'était un artefact en platine iridié, conservé par le bureau international des poids et mesures au pavillon de Breteuil. La dernière comparaison avec la moyenne de ses copies en 2014 a confirmé une différence de 35 μg .

Q 1. Quelle différence de masse cela fait-il en valeur relative ? Quelles peuvent être les causes de ces différences ?

Q 2. Quels peuvent être les inconvénients d'un artefact ?

I.B – Principe de la balance de Kibble

La balance de Kibble est l'un des deux dispositifs qui ont permis, avant 2019, de mesurer la constante de Planck à partir du prototype international du kilogramme. À présent, elle permet d'étalonner des artefacts. L'artefact de masse m est placé sur l'un des plateaux. On suppose la balance parfaitement équilibrée (fléau horizontal) en l'absence de masse m . Son principe de fonctionnement est donné figure 1. On supposera que la balance est symétrique par rapport au plan (xOz) .

I.B.1) Phase statique

La bobine comporte N spires horizontales, circulaires et concentriques. Elle est placée dans l'entrefer d'un aimant. Dans la zone des spires, le champ magnétique est horizontal, radial sortant par rapport à leur axe de révolution (Oz) et de valeur B uniforme. L'axe (Oz) est vertical, orienté vers le bas. Soit l la longueur totale du fil des spires.

Q 3. Indiquer sur un schéma simplifié l'orientation du courant permettant l'équilibrage de la balance une fois la masse m posée comme sur la figure 1. Déterminer la force qui agit sur la bobine.

Centrale Physique 2 PC 2023 — Corrigé

Ce corrigé est proposé par Jacques Ding (École Polytechnique) ; il a été relu par Frédéric Barbosa (professeur agrégé) et Louis Salkin (professeur en CPGE).

Ce sujet étudie deux aspects majeurs de la révision du Système International d'unités qui a eu lieu en 2018 : les redéfinitions de la masse et de la température.

- La première partie traite de la redéfinition du kilogramme via la balance de Kibble. Après une description du protocole expérimental, on s'intéresse à l'effet d'une dilatation du bobinage magnétique. On termine par une estimation de l'incertitude de la mesure de la masse avec cette balance. Les chapitres sollicités sont l'induction magnétique et la magnétostatique. Cette partie contient une question ouverte nécessitant des connaissances en interférométrie.
- La seconde partie aborde la redéfinition du kelvin par la thermométrie acoustique à gaz. On commence par établir l'équation de propagation des ondes acoustiques dans un gaz parfait, puis on l'applique à un résonateur sphérique pour en déduire les fréquences propres de l'écoulement. Cette partie, globalement proche du cours, mobilise le chapitre de propagation des ondes sonores ainsi que quelques connaissances en mécanique des fluides.

Il s'agit d'un sujet court et de difficulté très raisonnable pour le concours Centrale, sauf la partie I.B.3 qui nécessite des raisonnements qualitatifs originaux. Notons néanmoins qu'une multitude de questions en début et en fin de chaque partie portent sur la compréhension des phénomènes et incertitudes physiques des deux expériences, ce qui permettait de récompenser les candidats faisant l'effort de s'appropriier les dispositifs et capables de les rapprocher de situations connues.

Pour approfondir le thème de la métrologie du Système International, signalons que la balance de Kibble a déjà fait l'objet d'une étude approfondie dans le sujet X MP Physique SI 2006 et que plusieurs techniques de mesure de la constante de Boltzmann (dont la thermométrie acoustique) ont été explorées dans l'épreuve Centrale PC Physique 2 2016.



CONCOURS CENTRALE•SUPÉLEC

Chimie

PC

2023

4 heures

Calculatrice autorisée

Synthèses chimiques au laboratoire et dans l'industrie

Ce sujet comporte deux parties indépendantes. La première propose d'étudier l'efficacité de la capture de dioxyde de carbone par une solution aqueuse d'éthanolamine et débute par la synthèse industrielle de l'éthanolamine. La deuxième porte sur une synthèse d'un diterpène, le (+/-)-Kempène-2, qui met en œuvre une réaction d'hydroboration dont la régiosélectivité, la stéréosélectivité et la cinétique sont étudiées au préalable.

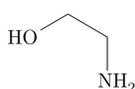
Les numéros entre crochets renvoient aux références bibliographiques situées en fin d'énoncé.

Toutes les données nécessaires sont regroupées à la fin du sujet.

I Les solutions aqueuses d'éthanolamine pour capturer le dioxyde de carbone

L'éthanolamine, également appelée monoéthanolamine ou 2-aminoéthanol en nomenclature systématique, est un liquide toxique, inflammable, corrosif, incolore et visqueux dont l'odeur est similaire à celle de l'ammoniac.

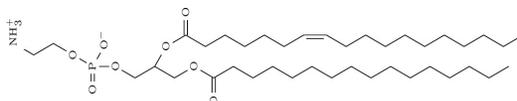
L'éthanolamine est un ingrédient de base dans la production de savons, détergents, émulsifiants, vernis, inhibiteurs de corrosions, etc. Elle est aussi un intermédiaire chimique, car, par exemple, par réaction avec l'ammoniac, elle conduit à l'éthylènediamine qui est un agent chélateur courant. L'éthanolamine est aussi un additif fréquemment utilisé en cosmétique. Elle intervient, au niveau biologique, dans les groupes de tête hydrophiles des phospholipides qui constituent les membranes cellulaires ; en effet, l'éthanolamine s'associe par estérification au groupe glycérol 3-phosphate fixé à l'extrémité de l'acide gras constituant la partie apolaire du phospholipide. Les solutions aqueuses d'éthanolamine, solutions basiques, permettent de fixer des gaz acides comme le sulfure d'hydrogène et le dioxyde de carbone.



éthanolamine



éthylènediamine



phospholipide à tête polaire

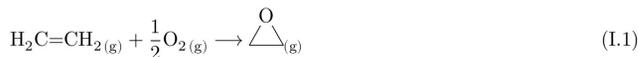
Figure 1

I.A – Synthèse industrielle de l'éthanolamine

La synthèse industrielle de l'éthanolamine est réalisée en réacteur ouvert, alimenté d'une part par de l'oxyde d'éthylène et d'autre part par un mélange eau-ammoniac. Dans cette sous-partie sont abordées successivement la synthèse de l'oxyde d'éthylène, la dissolution de l'ammoniac dans l'eau puis l'étude de l'unité de synthèse de l'éthanolamine.

I.A.1) Synthèse de l'oxyde d'éthylène

Plus de 20 millions de tonnes d'oxyde d'éthylène sont synthétisées annuellement à partir d'éthylène partiellement oxydé par le dioxygène à une température comprise entre 220 et 280 °C et sous une pression de 1 à 3 MPa. En France, seule l'entreprise Ineos Chemicals Lavera produit de l'oxyde d'éthylène avec une capacité de production de 220 000 tonnes par an. La synthèse est modélisée par la réaction d'équation :



Les deux réactifs doivent avoir une pureté d'au moins 99,5 % et un catalyseur solide à base d'argent dispersé sur de l'alumine alpha poreuse est nécessaire.

Q 1. Justifier la valeur de l'enthalpie standard de formation de $\text{O}_2(\text{g})$.

Q 2. En s'appuyant sur une étude thermodynamique précise, commenter les conditions industrielles de température et de pression mise en place lors de la synthèse de l'oxyde d'éthylène. (La justification par l'utilisation de lois de modération ne sera pas acceptée.)

Centrale Chimie PC 2023 — Corrigé

Ce corrigé est proposé par Marie Lucas (ENS de Lyon) ; il a été relu par Alexandre Herault (professeur en CPGE) et Christelle Novoa-Serba (professeur en CPGE).

Cette épreuve, qui est très longue, est composée de deux parties indépendantes, la première de chimie générale, la seconde de chimie organique.

- La première partie s'intéresse à la synthèse industrielle de l'éthanolamine puis à son utilisation pour capturer le dioxyde de carbone. On commence par étudier la thermodynamique de la synthèse et des réactifs avant de s'intéresser au taux de conversion en réacteur ouvert. On poursuit en analysant l'équilibre de la capture par pressiométrie, puis par titrage acido-basique. La partie se termine par quelques considérations d'oxydoréduction dans une unité de capture industrielle.
- Dans la seconde partie, on réalise une étude mécanistique de l'hydroboration des alcènes, avant de mettre en œuvre la réaction dans la synthèse organique d'un terpène. On commence par une étude comparative de résultats expérimentaux pour identifier la régiosélectivité de l'hydroboration. On poursuit par le suivi RMN d'un marquage isotopique pour conclure sur la stéréosélectivité de la réaction. On étudie par la suite sa cinétique. La synthèse finale utilise les propriétés de l'hydroboration que l'on vient d'établir. Elle met également en jeu des réductions, aldolisations, acétalisations, et utilise la régiosélectivité d'une réaction de Diels-Alder. Les questions portent sur des mécanismes réactionnels, sur la nature et la stéréochimie de certains intermédiaires et sur des propositions de séquences réactionnelles.

Ce sujet couvre une grande partie du programme de chimie des deux années. C'est un bon entraînement pour faire le point sur ses connaissances et pour approfondir les réacteurs ouverts, les titrages acido-basiques, la thermodynamique des changements d'états, la cinétique et la stéréochimie. Il comporte de nombreuses questions ouvertes, très peu guidées, où une prise d'initiative était nécessaire. Le deuxième problème est plus simple que le premier. Il était utile de parcourir le sujet dans son ensemble pour repérer les applications directes du cours et les distinguer des questions ouvertes qui nécessitaient une réflexion plus longue.

A2023 – PHYSIQUE I PC



ÉCOLE DES PONTS PARISTECH,
ISAE-SUPAERO, ENSTA PARIS,
TÉLÉCOM PARIS, MINES PARIS,
MINES SAINT-ÉTIENNE, MINES NANCY,
IMT ATLANTIQUE, ENSAE PARIS,
CHIMIE PARISTECH - PSL.

Concours Mines-Télécom,
Concours Centrale-Supélec (Cycle International).

CONCOURS 2023

PREMIÈRE ÉPREUVE DE PHYSIQUE

Durée de l'épreuve : 3 heures

L'usage de la calculatrice ou de tout dispositif électronique est interdit.

*Les candidats sont priés de mentionner de façon apparente
sur la première page de la copie :*

PHYSIQUE I - PC

L'énoncé de cette épreuve comporte 8 pages de texte.

Si, au cours de l'épreuve, un candidat repère ce qui lui semble être une erreur d'énoncé, il le signale sur sa copie et poursuit sa composition en expliquant les raisons des initiatives qu'il est amené à prendre.

Les sujets sont la propriété du GIP CCMP. Ils sont publiés sous les termes de la licence Creative Commons Attribution - Pas d'Utilisation Commerciale - Pas de Modification 3.0 France. Tout autre usage est soumis à une autorisation préalable du Concours commun Mines Ponts.



Mines Physique 1 PC 2023 — Corrigé

Ce corrigé est proposé par Jimmy Roussel (professeur agrégé en école d'ingénieurs) ; il a été relu par Nicolas-Alexandre Goy (professeur en CPGE) et Frédéric Barbosa (professeur agrégé).

Lors d'épisodes orageux, différents phénomènes lumineux éphémères se produisent entre le sommet des nuages et l'ionosphère. Parmi eux, on rencontre ces brèves émissions lumineuses rouges qui s'étendent dans la mésosphère sur plusieurs dizaines de kilomètres, que l'on appelle sylphes et que ce sujet propose d'étudier. Pour cela, trois parties largement indépendantes sont consacrées à trois aspects distincts :

- Dans la partie I, on discute des possibilités d'observation de ces phénomènes lumineux, depuis le sol terrestre puis depuis la station spatiale internationale. Cette partie aborde différentes questions relevant de l'optique, la mécanique du point et la statique des fluides.
- La deuxième partie s'intéresse à la propagation d'une onde électromagnétique dans une atmosphère ionisée caractéristique des sylphes. Il s'agit essentiellement de déterminer la fréquence plasma au-dessous de laquelle une onde électromagnétique sera réfléchi. On termine par l'analyse d'une carte d'échos radar.
- Enfin, la dernière partie propose un modèle de formation des sylphes qui repose sur des cascades d'ionisations initiées par des électrons d'origine cosmique. Après avoir déterminé le libre parcours moyen d'un électron dans la mésosphère, on estime le nombre de collisions en chaîne nécessaires pour rendre compte de la densité électronique caractéristique des sylphes.

Ce sujet utilise les programmes de première et de seconde année. Son niveau de difficulté technique est raisonnable, mais il nécessite de prendre des initiatives, ce qui récompense les élèves qui ont acquis du recul par rapport au programme grâce à leur travail de réflexion sur le cours et sur les exercices. Le calcul en ordre de grandeur est bien exploité dans ce sujet. À ce titre, rappelons que le jury accorde une grande importance à ces capacités, qui nécessitent un entraînement minutieux ; la calculatrice était bien sûr interdite.

A2023 – PHYSIQUE II PC



ÉCOLE DES PONTS PARISTECH,
ISAE-SUPAERO, ENSTA PARIS,
TÉLÉCOM PARIS, MINES PARIS,
MINES SAINT-ÉTIENNE, MINES NANCY,
IMT ATLANTIQUE, ENSAE PARIS,
CHIMIE PARISTECH - PSL.

Concours Mines-Télécom,
Concours Centrale-Supélec (Cycle International).

CONCOURS 2023

DEUXIÈME ÉPREUVE DE PHYSIQUE

Durée de l'épreuve : 4 heures

L'usage de la calculatrice ou de tout dispositif électronique est interdit.

*Les candidats sont priés de mentionner de façon apparente
sur la première page de la copie :*

PHYSIQUE II - PC

L'énoncé de cette épreuve comporte 9 pages de texte.

Si, au cours de l'épreuve, un candidat repère ce qui lui semble être une erreur d'énoncé, il le signale sur sa copie et poursuit sa composition en expliquant les raisons des initiatives qu'il est amené à prendre.

Les sujets sont la propriété du GIP CCMP. Ils sont publiés sous les termes de la licence Creative Commons Attribution - Pas d'Utilisation Commerciale - Pas de Modification 3.0 France. Tout autre usage est soumis à une autorisation préalable du Concours commun Mines Ponts.



Mines Physique 2 PC 2023 — Corrigé

Ce corrigé est proposé par Gaëlle Dumas (professeur en CPGE) ; il a été relu par Jean-Christophe Tisserand (professeur en CPGE) et Julien Dumont (professeur en CPGE).

Ce sujet est consacré à la mer. On y parle de planche à voile, puis de vagues. Ses deux parties totalement indépendantes.

- La partie I est consacrée au mouvement d'une planche à voile, lorsqu'elle se dirige dans le même sens que le vent puis quand elle « remonte » celui-ci. Après avoir étudié la force propulsive exercée par le vent dans un cas simple, une étude plus complète est proposée, qui prend en compte les forces de portance et de traînée dues au vent et à l'eau.
- Dans la partie II, on étudie quelques éléments de la physique des vagues de surface. Dans un premier temps, on considère un modèle de vagues linéaires dans lequel on étudie le champ de vitesses du fluide. On s'intéresse ensuite à l'influence du changement de profondeur à mesure que les vagues se rapprochent du rivage.

La difficulté des questions est progressive. Certaines sont très calculatoires, même si les applications numériques sont peu nombreuses. Cette épreuve permet de réviser en profondeur la mécanique des fluides et la physique des ondes.

A2023 – CHIMIE PC



ÉCOLE DES PONTS PARISTECH,
ISAE-SUPAERO, ENSTA PARIS,
TÉLÉCOM PARIS, MINES PARIS,
MINES SAINT-ÉTIENNE, MINES NANCY,
IMT ATLANTIQUE, ENSAE PARIS,
CHIMIE PARISTECH - PSL.

Concours Mines-Télécom,
Concours Centrale-Supélec (Cycle International).

CONCOURS 2023

ÉPREUVE DE CHIMIE

Durée de l'épreuve : 4 heures

L'usage de la calculatrice ou de tout dispositif électronique est interdit.

*Les candidats sont priés de mentionner de façon apparente
sur la première page de la copie :*

CHIMIE - PC

L'énoncé de cette épreuve comporte 13 pages de texte.

Si, au cours de l'épreuve, un candidat repère ce qui lui semble être une erreur d'énoncé, il le signale sur sa copie et poursuit sa composition en expliquant les raisons des initiatives qu'il est amené à prendre.

Les sujets sont la propriété du GIP CCMP. Ils sont publiés sous les termes de la licence Creative Commons Attribution - Pas d'Utilisation Commerciale - Pas de Modification 3.0 France. Tout autre usage est soumis à une autorisation préalable du Concours commun Mines Ponts.



Mines Chimie PC 2023 — Corrigé

Ce corrigé est proposé par Claire Besson (enseignant-chercheur à l'université); il a été relu par Augustin Long (professeur en CPGE) et Christelle Novoa-Serba (professeur en CPGE).

Ce sujet de longueur raisonnable est, comme souvent aux Mines, organisé en deux parties indépendantes, l'une de chimie générale et l'autre de chimie organique. Bien que les questions construisent une problématique unique au sein de chaque partie, ce qui rend nécessaire une lecture linéaire du sujet, il est possible de progresser sans répondre à toutes les questions, à condition de bien intégrer les informations fournies au fur et à mesure par l'énoncé.

- La partie de chimie générale s'intéresse à l'utilisation d'espèces de vanadium dans un type de batterie rechargeable de haute capacité dit « batterie à flux rédox ». Bien que centrée sur la chimie de l'oxydoréduction à la surface d'une électrode et en solution (équation de Nernst, diagramme E-pH, courbes i-E, etc.), d'autres outils comme la cinétique et la thermodynamique sont utilisés. Cette partie contient aussi une section importante de chimie de coordination, portant sur des diagrammes d'orbitales moléculaires compliqués.
- La partie de chimie organique est plus courte et ne présente pas de difficulté particulière, en dehors de la dernière question qui nécessite un raisonnement fin pour prédire une séquence réactionnelle complexe. Le sujet contient assez peu de questions sur les mécanismes, mais fait abondamment appel à la théorie des orbitales frontalières. En fin de sujet, une courte section de chimie organo-métallique, incluant l'étude d'un cycle catalytique, était très proche du cours et indépendante du reste de la partie, ce qui était une bonne occasion de gagner des points.

Dans son ensemble, le sujet suit un format classique pour les épreuves de chimie. Il permet de bien réviser l'oxydoréduction, les orbitales moléculaires et la chimie de coordination.

ECOLE POLYTECHNIQUE
ESPCI

CONCOURS D'ADMISSION 2023

MARDI 18 AVRIL 2023
08h00 - 12h00

FILIERE PC - Epreuve n° 3

PHYSIQUE A (XE)

Durée : 4 heures

***L'utilisation des calculatrices n'est pas
autorisée pour cette épreuve***

X/ENS Physique A PC 2023 — Corrigé

Ce corrigé est proposé par Henri Lastakowski (ENS de Lyon) ; il a été relu par Étienne Martel (docteur en physique) et Frédéric Barbosa (professeur agrégé).

Ce sujet est divisé en trois parties relativement indépendantes se rapportant toutes au problème du chauffage d'un métal via des courants induits, appliqué au domaine de la forge.

- Dans la partie 1, on cherche à relier les observations d'un forgeron à la température du métal chauffé. Pour cela, plusieurs points du cours de rayonnement sont abordés et démontrés (lois de Wien et de Stefan). Des aspects liés à la physiologie de l'œil complètent cette partie pour appréhender la couleur perçue d'un objet qui rayonne l'essentiel de sa puissance dans le domaine des infrarouges.
- La partie 2 est consacrée à la méthode de chauffe du matériau. Le début traite de la propagation d'un champ électromagnétique dans un métal. On y aborde l'onde évanescente transmise et l'épaisseur de peau associée. Les aspects énergétiques sont ensuite étudiés dans une géométrie semi-infinie, puis dans une situation de plaque mince, afin d'optimiser l'énergie transmise au métal.
- Enfin, dans la partie 3, on s'intéresse à ce problème d'un point de vue thermique. On commence par redémontrer l'équation de diffusion dans une géométrie à une dimension en y intégrant la puissance apportée par les courants induits. Dans un second temps, on introduit successivement des échanges conducto-convectifs puis radiatifs. Une méthode de résolution à l'aide des transformées de Laplace est proposée afin de déduire certains comportements asymptotiques intéressants.

Le début de chacune de ces parties est excellent pour réviser les chapitres sur le rayonnement, la propagation dans un conducteur ohmique puis la diffusion thermique : les questions y sont classiques et nécessitent une bonne maîtrise du cours. Les autres questions font ensuite appel à des raisonnements subtils et des capacités calculatoires typiques d'une épreuve X-ENS.

**ECOLE POLYTECHNIQUE - ESPCI
ECOLE NORMALES SUPERIEURES**

CONCOURS D'ADMISSION 2023

**MERCREDI 19 AVRIL 2023
08h00 - 12h00**

FILIERE PC - Epreuve n° 5

PHYSIQUE B (XEULS)

Durée : 4 heures

***L'utilisation des calculatrices n'est pas
autorisée pour cette épreuve***

X/ENS Physique B PC 2023 — Corrigé

Ce corrigé est proposé par Amélie Gay (ENS de Lyon) ; il a été relu par Jérôme Lambert (enseignant-chercheur à l'université) et Louis Salkin (professeur en CPGE).

Ce sujet est consacré à la constante de structure fine

$$\alpha = \frac{e^2}{4\pi \varepsilon_0 \hbar c}$$

Ce nombre sans dimension est connu avec une grande précision. On s'intéresse aux mesures qui ont permis de le déterminer, et plus particulièrement à leurs incertitudes. On utilise notamment la mesure de la masse d'un atome de Rubidium 87 par interférométrie atomique. Les deux parties sont largement indépendantes.

- La première partie aborde la mesure par interférométrie atomique. Il s'agit de comprendre la base théorique de la mesure et d'évaluer l'erreur systématique commise si la pesanteur des atomes est négligée. Elle utilise l'ensemble des notions vues en mécanique quantique et fait appel à une analogie avec l'interférométrie optique.
- La seconde partie porte sur les erreurs de mesure dues au laser. Elles relèvent à la fois du désalignement du laser avec le détecteur, du profil gaussien du front d'onde émis et des variations d'intensité du faisceau. Des connaissances sur les ondes lumineuses et sur les lasers aident à la résolution de cette partie.

La première partie représente la majorité du sujet et est sans doute la plus calculatoire. Ce sujet utilise intensivement la mécanique quantique et des connaissances en optique sont nécessaires. Une lecture attentive des paragraphes d'explication disséminés tout au long du sujet ainsi que leur compréhension sont requises. Ce sont de véritables support à la résolution des questions. Les applications numériques sont peu nombreuses et sont relativement simples à effectuer sans calculatrice.

**ÉCOLE POLYTECHNIQUE - ESPCI
ÉCOLES NORMALES SUPÉRIEURES**

CONCOURS D'ADMISSION 2023

**MARDI 18 AVRIL 2023
14h00 - 18h00
FILIÈRE PC - Épreuve n° 4
CHIMIE A (XEULS)**

Durée : 4 heures

***L'utilisation des calculatrices n'est pas
autorisée pour cette épreuve***

X/ENS Chimie PC 2023 — Corrigé

Ce corrigé est proposé par Augustin Long (professeur en CPGE); il a été relu par Alexandre Herault (professeur en CPGE) et Christelle Novoa-Serba (professeur en CPGE).

Cette épreuve comporte quatre parties indépendantes qui ont pour point commun la notion d'état de transition. Chacune aborde une partie différente du programme. L'étude des états de transition est couplée à des applications des systèmes étudiés.

- La première partie est une étude cinétique des états de transition utilisant la théorie d'Eyring. On utilise une approche informatique pour calculer des grandeurs d'activation, qui sont ensuite discutées dans le cadre de la détermination d'un mécanisme d'échange de ligands.
- Dans la deuxième partie, on étudie, à l'aide des orbitales moléculaires, la structure d'un complexe de nickel et de dihydrogène. On s'intéresse à la géométrie d'un état de transition à partir de résultats expérimentaux fournis.
- La troisième partie, la plus longue, est consacrée à la chimie organique. Après avoir décrit le site actif d'une enzyme, on analyse la synthèse d'un inhibiteur de cette dernière. Cette synthèse met en jeu des réactions variées, étudiées en première et en deuxième année. On utilise une approche rétrosynthétique. La quasi-totalité des composés est fournie et il s'agit principalement de proposer des mécanismes, de discuter des conditions opératoires ou de décrire la voie de synthèse.
- La dernière partie propose l'étude d'une batterie au lithium et de la conduction des ions au sein des cavités présentes dans la maille du réseau. À partir de travaux de recherche, on aborde la structure cristallographique du matériau et les propriétés d'oxydoréduction de la batterie.

Ce sujet contient de très nombreuses questions, mais beaucoup de réponses sont courtes. Les calculs et les applications numériques, à réaliser sans calculatrice, sont peu nombreux. Une place importante est donnée à la description et à l'analyse de résultats expérimentaux dans chaque partie. Ces discussions sont souvent précédées de questions de cours ou d'applications directes qui permettaient d'appréhender les phénomènes étudiés. Cette épreuve constitue un très bon entraînement pour développer une analyse critique de résultats de recherche modernes, compétence très utile pour le concours X/ENS.