

PC
Physique · Modélisation · Chimie
2025

Sous la coordination de

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

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

Par

Virgile ANDREANI
ENS Ulm

Steve ARNEFAUX
professeur en CPGE

Bryan BOULENGER
ENS Paris-Saclay

Sylvain CAVILLE
professeur agrégé

Valentin CLARISSE
École Polytechnique

Frédéric DUMET
professeur agrégé

Margaux GALLAND
professeur agrégé en école d'ingénieurs

Amélie GAY
ENS de Lyon

Alexandre HERAULT
professeur en CPGE

Jerome LAMBERT
enseignant-chercheur à l'université

Augustin LONG
professeur en CPGE

Corentin REYNAUD
professeur en CPGE

Louis SALKIN
professeur en CPGE

Marie THOREY
professeur en CPGE

Sommaire

		Énoncé	Corrigé
E3A			
Physique et Chimie	Pression de radiation. Autour de l'éthanol. Synthèse de la monensine. <i>électromagnétisme, physique quantique, ondes mécaniques, ondes sonores, solutions aqueuses, oxydoréduction, cinétique, cristallographie, chimie organique</i>	11	29
CONCOURS COMMUN INP			
Physique	Autour des générateurs thermoélectriques. <i>thermodynamique, électrocinétique, magnétostatique, mécanique du point, mécanique en référentiel non galiléen</i>	47	60
Modélisation Physique et Chimie	Impact de la carbonatation d'un béton sur son intégrité structurelle. <i>solutions aqueuses, oxydoréduction, diagrammes E-pH, diffusion, cinétique chimique, ingénierie numérique</i>	77	93
Chimie	L'acétaldéhyde. Autour du phosphore. <i>cristallographie, solutions aqueuses, cinétique chimique, oxydoréduction, courbes courant-potentiel, thermodynamique, chimie organique, procédés industriels continus</i>	111	131
CENTRALE-SUPÉLEC			
Physique 1	Vitesses mécaniques et célérités des ondes. <i>mécanique du point, physique des ondes, mécanique des fluides</i>	153	162
Physique 2	Laser à électrons libres. <i>thermodynamique, diffusion thermique, électromagnétisme, physique des ondes, mécanique du point</i>	181	198

Chimie	Le Tamoxifène dans le traitement du cancer du sein. <i>solutions aqueuses, cinétique chimique, thermodynamique, mélanges binaires, chimie organique, orbitales moléculaires, chimie de coordination, Python</i>	215	233
--------	--	-----	-----

MINES-PONTS

Physique 1	La viscosité. <i>mécanique des fluides, cinétique des gaz</i>	253	260
Physique 2	Ballon-sonde dans l'atmosphère. <i>statique des fluides, thermodynamique, électromagnétisme, mécanique du point</i>	273	284
Chimie	Synthèse stéréosélective de la (+)-tubéactomicine. Application de la pervaporation à l'élimination d'eau. <i>cristallographie, cinétique chimique, thermodynamique, mélanges binaires, chimie organique</i>	301	317

POLYTECHNIQUE-ENS

Physique A	Miroirs à retournement temporel. <i>physique des ondes, mécanique du point</i>	335	341
Physique B	Production et caractérisation d'impulsions laser attosecondes. <i>mécanique du point, ondes lumineuses, laser, électrostatique</i>	357	364
Chimie	Nouvelles stratégies de synthèse totale d'alcoïdes naturels. Autour du norbornadiène. <i>oxydoréduction, thermodynamique, cinétique chimique, courbes courant-potentiel, orbitales moléculaires, chimie organique, Python</i>	387	411

FORMULAIRES

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

SESSION 2025



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, bleu clair ou turquoise, 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 parties indépendantes, une de physique et une de chimie.

- Tout résultat donné dans l'énoncé peut être admis et utilisé par la suite, même s'il n'a pas été démontré par le ou la candidat(e).
- 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 comptabilisés.

e3a Physique et Chimie PC 2025 — Corrigé

Ce corrigé est proposé par Louis Salkin (professeur en CPGE) et Alexandre Herault (professeur en CPGE) ; il a été relu par Sylvain Caville (professeur agrégé), Augustin Long (professeur en CPGE) et Julien Dumont (professeur en CPGE).

Le sujet est composé de deux parties indépendantes, une de physique et une de chimie. La partie de physique est consacrée à la pression de radiation.

- La partie I aborde la pression de radiation d'un point de vue électromagnétique. La réflexion d'une onde électromagnétique sur un conducteur ohmique conduit à l'existence d'une force de pression exercée par l'onde sur le conducteur. On relie la pression de radiation et la densité d'énergie électromagnétique.
- La partie II propose une interprétation corpusculaire de la pression de radiation, en assimilant l'onde électromagnétique à un flux de photons décrits par les lois de la mécanique quantique. On en déduit la force exercée par un faisceau laser sur un cheveu.
- On retrouve dans la partie III la notion de pression de radiation dans le cadre d'une onde mécanique dans une corde dont l'une des extrémités est fixée par un anneau. On y développe des calculs proches de ceux effectués dans la partie I.
- Enfin, la partie IV, plus courte que les autres, traite de la pression de radiation associée à une onde acoustique. En distinguant pression de radiation et pression acoustique, on mène à nouveau des calculs analogues aux parties précédentes. On termine par une analyse de résultats expérimentaux.

La partie chimie est composée de deux problèmes indépendants de longueurs similaires, l'un de chimie générale, l'autre de chimie organique.

- Le premier problème a pour thème l'éthanol. Il comporte trois parties indépendantes. La première étudie le dosage en retour de l'éthanol dans le sang par une technique de dosage iodométrique (du diiode par l'ion thiosulfate) indirect, qui utilise des réactions d'oxydoréduction. La deuxième partie, plus courte, est une étude cinétique de l'élimination de l'éthanol dans le sang. Enfin, la troisième partie, très courte, ne comporte que trois questions de cristallographie.
- Le second problème est une étude de la synthèse de la monensine, antibiotique utilisé depuis le début des années 1970 comme additif dans l'alimentation des ruminants afin de combattre les infections digestives. Le sujet demande quelques intermédiaires réactionnels, des conditions opératoires, des mécanismes et des explications de sélectivité.

Ce sujet est dans l'ensemble proche du cours et très guidé, comme c'est d'usage au concours e3a. Les questions sont dans leur majorité très classiques. En physique, les parties étant construites sur un même concept décliné dans plusieurs domaines, certaines questions peuvent sembler répétitives. En chimie, les résultats les plus complexes à établir sont donnés. Cette épreuve est parfaitement représentative de ce concours et permet de revoir efficacement des notions et calculs classiques, notamment en physique des ondes. On note par ailleurs la présence de questions plus originales inspirées de séances de TP.

SESSION 2025



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, bleu clair ou turquoise, 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.
Les résultats établis et donnés dans la partie I seront utiles dans la partie II.
La partie III est indépendante des deux autres.**

CCINP Physique PC 2025 — Corrigé

Ce corrigé est proposé par Frédéric Dumet (professeur agrégé) ; il a été relu par Marie Thorey (professeur en CPGE) et Cyril Ravat (professeur en CPGE).

Le sujet est composé de trois parties indépendantes consacrées aux caractéristiques et aux utilisations des générateurs thermoélectriques.

- Dans la partie I, on s'intéresse à l'effet Seebeck, sur lequel repose le fonctionnement des générateurs thermoélectriques. Le sujet propose d'expliquer l'origine physique de cet effet en s'intéressant au déplacement des porteurs de charges dans un conducteur soumis à une différence de température. Dans un second temps, on étudie l'expérience historique qui a permis la découverte de ce phénomène. La résolution de cette partie utilise principalement des connaissances d'électrocinétique et de magnétostatique.
- La partie II propose d'évaluer le rendement de ce type de générateurs. Après quelques questions générales sur les machines thermiques, on réalise un bilan thermique au sein du conducteur composant le générateur afin d'évaluer les puissances thermiques échangées. Cette partie mobilise les connaissances de thermodynamique des première et seconde années.
- Dans la partie III, on explore les bénéfices de l'utilisation de l'assistance gravitationnelle pour le transport de sondes dans l'espace. Après des généralités autour du mouvement de la sonde dans un champ gravitationnel, le sujet aborde la notion de sphère de Hill. On s'intéresse ensuite au principe de l'assistance gravitationnelle. Des connaissances variées de mécanique en référentiel galiléen et non galiléen sont sollicitées.

Ce sujet classique aborde un large spectre de connaissances des deux années (mécanique, thermodynamique, magnétostatique et électrocinétique). Les raisonnements demandés sont le plus souvent proches de ceux faits en cours.

SESSION 2025



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, bleu clair ou turquoise, 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 interdites.

Le sujet est composé de trois parties indépendantes et de deux annexes.

Sujet : page 2 à page 13

Annexes : page 14 à page 16

CCINP Modélisation de systèmes physiques ou chimiques PC 2025 — Corrigé

Ce corrigé est proposé par Virgile Andreani (ENS Ulm) et Augustin Long (professeur en CPGE) ; il a été relu par Nicolas Courrier (professeur en CPGE), Claire Besson (enseignant-chercheur à l'université), Steve Arnefaux (professeur en CPGE) et Stéphane Ravier (professeur en CPGE).

Malgré son titre prometteur, ce sujet sur la carbonatation du béton ne vous aidera pas à mieux nager. Il s'agit d'étudier comment la dissolution du dioxyde de carbone de l'air ambiant dans le béton armé affecte l'acidité de celui-ci, ce qui provoque l'oxydation des armatures métalliques dont le volume augmente en conséquence, ce qui peut faire éclater la structure. Les questions de physique sont très rares, on utilise principalement le cours de chimie. Des questions d'informatique accompagnent les trois parties.

- Dans la première partie, on étudie l'influence de nombreux équilibres acido-basiques et de précipitation autour du dioxyde de carbone et de ses bases conjuguées afin de déterminer numériquement le pH d'une solution occupant les pores du béton. Les questions de chimie se limitent en très grande majorité à écrire des équations de réaction et à exprimer les relations à l'équilibre entre les concentrations et les constantes d'équilibre. Les questions d'informatique visent à résoudre une équation non linéaire par la méthode de Newton, dans le but de déterminer le pH dans la solution interstitielle.
- La deuxième partie porte sur la propagation du front de carbonatation par diffusion du CO_2 gazeux dans les pores. On trouve quelques questions de cinétique chimique. L'étude de la diffusion de particules aux questions 19 et 25.a correspond aux seules questions de physique du sujet. On y résout une équation aux dérivées partielles en utilisant notamment la méthode des différences finies.
- Enfin, la dernière partie décrit l'oxydation d'armatures par le dioxygène en présence de la solution interstitielle basique. Elle permet de réaliser et d'exploiter le diagramme potentiel-pH du fer puis d'établir un modèle cinétique décrivant la vitesse d'oxydation de l'armature. Elle se termine par un peu d'analyse d'images.

La part de physique dans le sujet est vraiment marginale. Les questions de chimie sont abordables mais d'intérêt limité, notamment dans la première partie où elles se limitent à exprimer les constantes d'équilibre ou à restituer le cours. La deuxième partie est un peu plus originale et mélange diffusion et cinétique chimique. Ces questions de cours et d'application directe du cours de chimie représentent environ deux tiers de l'épreuve, l'autre tiers étant consacré à des questions très guidées de modélisation numérique.

SESSION 2025



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, bleu clair ou turquoise, 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 interdites.

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.

Des aides de calcul au problème 2 sont disponibles à la fin de ce problème.

Toute réponse devra être clairement justifiée.

CCINP Chimie PC 2025 — Corrigé

Ce corrigé est proposé par Margaux Galland (professeur agrégé en école d'ingénieurs); il a été relu par Corentin Reynaud (professeur en CPGE) et Christelle Serba-Novoa (professeur en CPGE).

Ce sujet est composé de deux problèmes indépendants, l'un de chimie organique, l'autre de chimie générale, comme c'est l'habitude au concours CCINP.

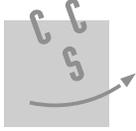
Le premier problème, de chimie organique, a pour thème l'acétaldéhyde à travers quatre parties indépendantes. Il aborde sa synthèse, ses transformations et ses dérivés. L'étude fait appel à l'écriture de mécanismes réactionnels détaillés, à la stéréochimie, à la compréhension des équilibres chimiques et à la réactivité des groupements carbonyles. L'exploitation spectroscopique (RMN, IR) vient compléter l'identification de certains composés.

- Dans la partie I, on étudie la synthèse de l'acétaldéhyde par différents procédés. On commence par l'étude du cycle catalytique de Hoechst-Wacker avant de traiter l'équilibre de tautomérie impliquant l'acétaldéhyde, puis la dégradation du PET, polymère de la famille des polyesters.
- Dans la partie II, on examine la formation du paralaldéhyde à partir de l'acétaldéhyde par un mécanisme de condensation avant de s'interroger sur la chiralité des stéréoisomères possiblement obtenus.
- Dans la partie III, on rentre dans les détails de la formation du pentaérythritol et de ses dérivés à partir d'acétaldéhyde par la réaction de Cannizzaro. Dans un second temps, la réactivité du pentaérythritol est mise en avant, notamment pour la formation du ioprodol.
- Dans la partie IV, la synthèse par condensation aldolique du crotonaldéhyde puis l'analyse des spectres RMN et IR sont effectuées, avant de se concentrer sur l'interprétation d'une réaction via la théorie des orbitales frontalières.

Le second problème, de chimie générale, propose une approche pluridisciplinaire du phosphore. Il aborde les propriétés physiques et thermodynamiques de cet élément, avant de détailler la synthèse et les propriétés de molécules contenant du phosphore. L'ensemble mobilise des notions de thermodynamique, de réaction en réacteur ouvert, de chimie analytique, de cinétique, ainsi que les courbes courant-potentiel.

- Dans la partie I, on étudie le phosphore élémentaire à travers sa structure électronique, sa maille cristalline et sa stabilité thermodynamique.
- Dans la partie II, on s'intéresse à la synthèse de l'acide phosphorique dans un réacteur ouvert parfaitement agité continu et isochore (RPAC).
- Dans la partie III, un dosage par spectroscopie UV-visible de l'ion phosphate dans de l'eau est mené.
- Dans la partie IV, l'effet d'un inhibiteur organophosphoré sur l'action d'une enzyme est étudié grâce à de la cinétique chimique, puis par une étude de courbes courant-potentiel.

Ce sujet aborde de nombreux thèmes, dont certains, comme les réacteurs ouverts ou les courbes courant-potentiel, sont souvent mentionnés dans les rapports de jury comme étant mal traités par les étudiants. Il constitue donc un bon entraînement pour se préparer à ce concours.



CONCOURS CENTRALE-SUPÉLEC

Physique 1

4 heures

Calculatrice autorisée

PC

2025

Vitesses mécaniques et célérités des ondes

Bien qu'exprimées dans les mêmes unités, les notions de *vitesse* et de *célérité* sont bien distinctes. Dans tout le sujet, on appellera *vitesse* (notée \vec{v} ou \vec{V} par exemple) la grandeur cinématique associée au déplacement d'un point ou d'un objet *matériel*, tandis qu'on parlera de *célérité* (notée c_0, c_a, \dots) pour les grandeurs associées à la propagation des ondes (lumineuses, acoustiques, vagues, ...). Dans toute la suite on retiendra que les célérités d'ondes sont des *grandeurs positives* tandis que les vitesses des objets sont des grandeurs vectorielles, chaque composante étant elle-même une *grandeur algébrique*.

Ce sujet est divisé en deux problèmes **totalemment indépendants**, dans lesquelles les notions de vitesse et célérité interviennent dans des contextes distincts.

Dans le problème **Partie A** la célérité des ondes est c_0 , celle de la lumière dans le vide et, dans l'approximation non relativiste de la mécanique, les vitesses des objets vérifient $\|\vec{v}\| \ll c_0$.

Dans le problème **Partie B** c'est la célérité c_a des ondes acoustiques (dans des milieux solides, liquides, gaz) qui est étudiée. On rappelle ici que, dans l'approximation acoustique, les vitesses des molécules du fluide vérifient $\|\vec{v}\| \ll c_a$.

On notera $i^2 = -1$; la base cartésienne associée au repère $(Oxyz)$ sera notée $(\vec{u}_x, \vec{u}_y, \vec{u}_z)$. Pour un point du plan (Oxy) on utilisera aussi les coordonnées polaires (r, θ) associées au repère mobile $(\vec{u}_r, \vec{u}_\theta)$. Toutes les valeurs numériques nécessaires sont regroupées dans un tableau unique en fin d'énoncé, ainsi qu'un formulaire mathématique.

Certaines questions, peu ou pas guidées, demandent de l'initiative de la part du candidat. Leur énoncé est repéré par un numéro de question souligné. Il est alors demandé d'expliciter 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.

Partie A – Mécanique et célérité de la lumière

Ce problème **Partie A** étudie trois situations **indépendantes entre elles** explorant les liens entre la célérité c_0 de la lumière (et des ondes électromagnétiques dans le vide) et les vitesses d'objets matériels :

- la partie **I** présente une méthode astronomique de *mesure de la célérité de la lumière dans le vide* c_0 , bien avant bien sûr que celle-ci ne soit définie conventionnellement, par comparaison aux vitesses relatives des planètes ;
- la partie **II** étudie une manifestation d'une *correction relativiste* aux lois de la mécanique céleste : les écarts de trajectoire de la planète Mercure aux lois de Kepler du mouvement gravitationnel ;
- enfin, la partie **III** s'intéresse à la propagation des ondes *lumineuses* dans un fluide transparent et entraîné ; il s'agit d'une expérience de physique fondamentale datant de la fin du XIX^e siècle, peu avant la transition entre mécanique classique et relativiste.

I – La mesure de la célérité de la lumière par Rømer

On étudie d'abord un point E qui émet périodiquement un signal lumineux isotrope aux instants $t_k = kT$, où T est la période d'émission et $k \in \mathbb{N}$. Ce signal se propage avec la célérité c_0 puis est reçu au point R qui est en mouvement rectiligne à la vitesse \vec{v} et s'éloigne ainsi de E (figure 1). On note t'_k et t'_{k+1} les instants de réception des signaux émis à t_k et t_{k+1} et d_k la distance R_kE à l'instant t'_k .

- Q1.** Exprimer la distance $d_{k+1} = R_{k+1}E$ en fonction de d_k, c_0, T et des instants t'_k et t'_{k+1} . En déduire que la réception des signaux par R est périodique de période T' et exprimer T' en fonction de T, v et c_0 . Connaissez-vous le nom usuellement donné à l'effet ainsi mis en évidence ?

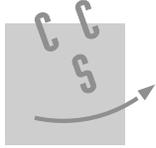
Centrale Physique 1 PC 2025 — Corrigé

Ce corrigé est proposé par Sylvain Caville (professeur agrégé); il a été relu par Frédéric Dumet (professeur agrégé) et Cyril Ravat (professeur en CPGE).

Le sujet comporte deux parties indépendantes qui abordent la notion de vitesse en mécanique du point puis la célérité des ondes lumineuses et acoustiques.

- La partie A est elle-même composée de trois sous-parties indépendantes. On s'intéresse d'abord à une méthode de détermination de la vitesse de la lumière dans le vide par effet Doppler. On se penche ensuite sur la trajectoire elliptique de Mercure autour du Soleil dans le cadre de la mécanique classique, avant de lui apporter une correction relativiste dont on étudie les conséquences sur le mouvement. On s'intéresse enfin à une expérience d'interférences entre ondes lumineuses dont le but est de discriminer différents modèles d'entraînement de la lumière.
- La partie B est composée de deux sous-parties indépendantes. Dans la première, on cherche à expliquer l'émission de sons par le sable en mouvement. Pour cela on étudie l'équilibre et le mouvement d'un grain de sable dans une dune. La sous-partie II traite de la propagation, de l'atténuation et de l'entraînement des ondes acoustiques dans l'eau.

Ce sujet aborde plusieurs points du programme de mécanique, notamment les forces centrales, les théorèmes énergétiques et les changements de référentiels. Il fait également appel aux connaissances des candidats sur la propagation des ondes. La sous-partie II de la partie B demande de combiner ces dernières au cours de mécanique des fluides. Comme souvent, de nombreuses valeurs numériques sont fournies en fin d'énoncé; elles permettent de réaliser les applications numériques mais peuvent aussi donner des idées sur les raisonnements à adopter. Il en va de même pour les aides au calcul que l'on trouve à leur suite.



CONCOURS CENTRALE-SUPÉLEC

Physique 2

PC

2025

4 heures Calculatrice autorisée

Laser à électrons libres

Les lasers à électrons libres à rayons X (XFEL) produisent des rayons X cohérents en accélérant des électrons à travers des onduleurs, qui sont des systèmes permettant de moduler spatialement le champ magnétique. Ces lasers génèrent des impulsions lumineuses ultra-brèves, de l'ordre de la femtoseconde (10^{-15} s), permettant d'étudier des dynamiques atomiques et moléculaires à des échelles temporelle et spatiale très fines, et très intenses. Il existe une dizaine de XFEL à travers le monde. Dans ce sujet, nous nous intéressons plus particulièrement au XFEL européen, installé près de Hambourg en Allemagne, qui a commencé à fonctionner en 2017.

Un laser à électrons libres est schématiquement constitué de trois éléments schématisés à figure 1 :

- un canon à électrons, qui sert à générer un faisceau d'électrons ;
- un accélérateur linéaire, qui accélère les électrons à une vitesse très proche de la vitesse de la lumière ;
- un onduleur, dans lequel un champ magnétique oscillant spatialement dévie les électrons.

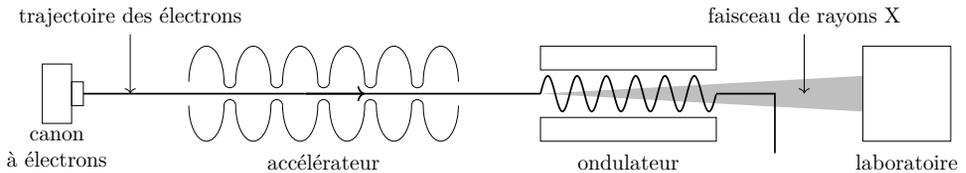


Figure 1 – Schéma d'un laser à électrons libres

Dans un laser à électrons libres les électrons ont une vitesse très proche de la vitesse de la lumière, un traitement rigoureux de leur mouvement nécessite alors de recourir aux concepts de relativité restreinte. Il est cependant possible d'obtenir des résultats approchés en adaptant simplement les équations de la mécanique classique. **La version adaptée des théorèmes est présentée dans la partie « Données et formulaire » située en fin de sujet. Au cours de cette épreuve, dans les questions portant sur l'étude du mouvement de l'électron dans le laser à électrons libres, il est suggéré aux candidats de n'utiliser que les théorèmes rappelés en fin de sujet, et de ne pas chercher à en formuler d'autres.**

Le problème comporte deux parties indépendantes. Le formulaire et les données sont regroupés en fin d'énoncé. Un document réponse est à rendre avec la copie.

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

Partie A – L'accélérateur linéaire

Dans un laser à électrons libres l'enjeu est d'accélérer des électrons à des vitesses très proches de la vitesse de la lumière en utilisant des champs électriques. Ces derniers sont générés dans des dispositifs appelées cellules TESLA dont une photographie est montrée à la figure 2. L'accélérateur du XFEL est constitué d'un grand nombre de ces cellules accélératrices. Dans cette partie, nous étudions successivement : le refroidissement d'une cellule TESLA, le champ électromagnétique dans une cellule ainsi que la dynamique d'un électron en son sein.

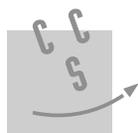
Centrale Physique 2 PC 2025 — Corrigé

Ce corrigé est proposé par Steve Arnefaux (professeur en CPGE) ; il a été relu par Ilan Audoin (professeur agrégé) et Émilie Frémont (professeur en CPGE).

L'énoncé porte sur les lasers à électrons libres (XFEL), une technologie permettant de produire des rayons X cohérents grâce à l'accélération d'électrons dans un onduleur. Ses deux parties sont indépendantes.

- La partie A s'intéresse à l'accélérateur linéaire chargé de porter les électrons à des vitesses proches de celle de la lumière. Cette étude est structurée en plusieurs sections, chacune mobilisant un domaine différent de la physique. Elle débute par une analyse thermodynamique du refroidissement nécessaire au fonctionnement des supraconducteurs utilisés pour l'accélération. Ensuite, les lois de l'électromagnétisme permettent de déterminer la forme et l'intensité du champ électromagnétique à l'intérieur des cavités accélératrices. À partir de ces résultats, le choix du matériau supraconducteur optimal est justifié. Enfin, une approche fondée sur la physique des ondes permet d'étudier les modes propres de la cavité et de décrire l'évolution du champ électrique utilisé pour accélérer les électrons.
- La partie B, plus calculatoire, est consacrée à l'onduleur du XFEL. C'est l'élément clé dans la génération d'impulsions de rayons X cohérents. Elle débute par une étude mécanique visant à établir les équations du mouvement des électrons soumis à un champ magnétique non uniforme. La compréhension du rayonnement émis repose ensuite sur un modèle d'interférence constructive à N sources, qui permet de relier le mouvement des électrons à l'émission cohérente de photons. Enfin, une dernière partie, plus synthétique, analyse l'origine des impulsions de rayons X à partir de la répartition spatiale modulée des électrons.

Le sujet est bien construit et mobilise de nombreux chapitres du programme, allant de la méthode d'Euler en analyse numérique à la physique des ondes en passant par l'électromagnétisme, la thermodynamique et la mécanique. Il constitue un excellent entraînement pour les concours, non seulement par sa richesse disciplinaire, mais aussi par la variété des approches demandées : raisonnement qualitatif, modélisation physique et interprétation de résultats. Ce sujet permet également de s'exercer à l'utilisation du formulaire, notamment pour l'exploitation de fonctions de Bessel ou l'application de lois spécifiques aux particules relativistes, ce qui le rend très complet. En conclusion : basé dans un contexte moderne et concret (celui du XFEL), le sujet offre un cadre intéressant pour tester sa maîtrise du programme.



CONCOURS CENTRALE•SUPÉLEC

Chimie

4 heures

Calculatrice autorisée

PC

2025

Le Tamoxifène dans le traitement du cancer du sein

Le Tamoxifène est un médicament efficace dans le traitement des cancers féminins, en particulier le cancer du sein car il inhibe la prolifération des cellules cancéreuses en se liant sélectivement aux récepteurs à œstrogène [1]. Ce sujet traite de divers aspects de la chimie du Tamoxifène. Il comporte quatre parties indépendantes.

- Synthèse du Tamoxifène
- Formulation et amélioration de l'efficacité du principe actif
- Étude cinétique de l'action inhibitrice du Tamoxifène
- Étude d'autres principes actifs

Les données nécessaires sont réunies en fin de sujet.

Partie A – Synthèse du Tamoxifène

Les modulateurs sélectifs des récepteurs à œstrogène (SERM) sont des principes actifs décrits comme efficaces dans la prévention et le traitement des cancers du sein. Tous dérivent du Tamoxifène (figure 1) dont la synthèse a été décrite dans de nombreux articles scientifiques. Une des difficultés rapportées est l'obtention quantitative du stéréoisomère de configuration souhaité, auquel est reliée l'action biologique du médicament.

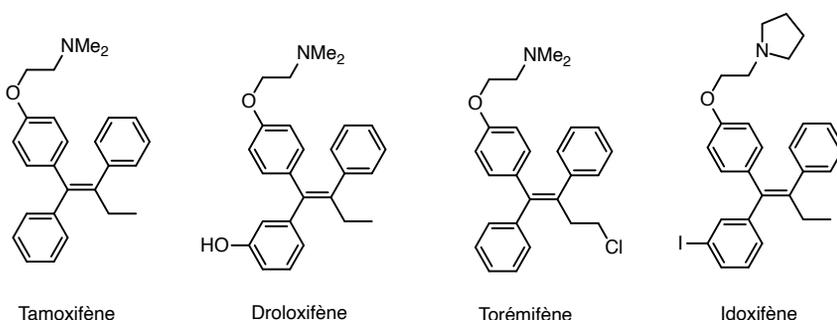


Figure 1 – Structure de quelques SERM à usage thérapeutique.

- Q1. Prévoir le nombre de stéréoisomères de configuration possibles pour le Tamoxifène. Établir le descripteur stéréochimique du centre stéréogène du Tamoxifène.

Centrale Chimie PC 2025 — Corrigé

Ce corrigé est proposé par Corentin Reynaud (professeur en CPGE); il a été relu par Claire Besson (enseignant-chercheur à l'université) et Alexandre Herault (professeur en CPGE).

Ce sujet a pour thème le médicament Tamoxifène, qui est utilisé dans le traitement du cancer du sein. Ses quatre parties sont indépendantes. La première, consacrée à la chimie organique, représente environ 40 % de l'ensemble; les trois suivantes portent sur la chimie générale.

- La partie A étudie la synthèse du Tamoxifène. Elle pose des questions classiques de synthèse organique et organométallique : conditions opératoires, mécanismes réactionnels, analyses spectroscopiques, sélectivités, stratégie de synthèse, cycle catalytique, analyse d'un protocole en anglais, etc.
- La partie B s'intéresse aux propriétés du Tamoxifène en milieu biologique. Une première sous-partie explore sa solubilité à travers l'étude de résultats expérimentaux, par une approche à la fois qualitative et quantitative. La seconde sous-partie aborde l'amélioration des propriétés biologiques du Tamoxifène via une étude orbitale d'un complexe de métal de transition, le ferrocène, sur lequel on envisage de greffer le Tamoxifène.
- La partie C est consacrée à la modélisation de l'action biologique du Tamoxifène en tant qu'inhibiteur, via la comparaison de différents modèles de cinétique enzymatique, avec et sans inhibiteur. Cette étude mécanistique intègre également une question de modélisation informatique.
- La partie D s'articule autour d'autres principes actifs : l'eugénol et la glycine. Une première sous-partie est consacrée à l'extraction de l'eugénol par hydro-distillation, suivie de sa quantification par chromatographie en phase gazeuse. Enfin, le contrôle qualité d'un comprimé de glycine est réalisé par titrage, puis validé par un calcul d'incertitude.

Cette épreuve propose des questions variées, tant sur le fond que sur la forme, qui s'appuient sur de nombreux résultats expérimentaux. Le sujet aborde la majorité des notions du programme des deux années de prépa. Pour les questions qualitatives, où il peut être difficile de trouver le juste équilibre entre exhaustivité et concision, il est recommandé de lire attentivement l'énoncé et les annexes afin de bien cerner les attendus. Concernant les questions quantitatives, le sujet est globalement bien construit : des relations intermédiaires étaient souvent fournies pour permettre aux candidats de poursuivre, même s'ils n'avaient pas réussi à les déterminer eux-mêmes. Certaines relations littérales sont accompagnées d'applications numériques réalisables à la calculatrice. Enfin, deux questions de modélisation sont proposées afin d'évaluer la maîtrise de l'outil numérique. Bien que la difficulté reste raisonnable, la longueur de cette épreuve rendait difficile de la traiter dans le temps imparti. Ce sujet constitue un très bon entraînement au concours Centrale-Supélec.

A2025 – PHYSIQUE I PC



ÉCOLE NATIONALE DES PONTS et CHAUSSÉES,
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 2025

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 6 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 2025 — Corrigé

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

Ce sujet est consacré aux effets de la viscosité et des conditions aux limites sur les écoulements fluides. Il se compose de trois parties :

- La partie I montre, via le nombre de Reynolds, l'importance des phénomènes visqueux dans un écoulement fluide modèle. Elle propose en outre de calculer les contributions des différents types de forces exercées par le fluide sur un objet sphérique dans le cadre du régime de Stokes.
- Dans la deuxième partie, on modélise le phénomène de glissement aux parois, qui peut se manifester dans certains écoulements, puis on analyse son influence sur le débit dans un écoulement de Poiseuille.
- La troisième partie est consacrée à la modélisation de la diffusion de la quantité de mouvement d'un gaz dans un écoulement de cisaillement plan. Cette analyse permet de donner une expression à la viscosité et d'analyser l'influence des différents paramètres du gaz sur cette viscosité.

Ce problème est relativement court et de difficulté homogène. La première partie, très proche du cours, permet de bien comprendre ce que traduit la force de Stokes. La deuxième partie, sur la longueur de glissement, est plus originale, mais la modélisation guidait les candidats pas à pas. La troisième partie n'est pas très difficile et, là encore, de difficulté homogène. Du fait de sa longueur et de sa difficulté bien tempérée, ce sujet est excellent pour préparer les concours. Il permet de réviser des notions essentielles de mécanique des fluides et de théorie cinétique des gaz. Il faut mentionner que si les applications numériques sont peu nombreuses et peu difficiles, la connaissance de certains ordres de grandeurs (masse volumique et viscosité de l'air) représente un atout pour progresser dans le sujet.

A2025 – PHYSIQUE II PC



ÉCOLE NATIONALE DES PONTS et CHAUSSÉES,
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 2025

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 10 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 2025 — Corrigé

Ce corrigé est proposé par Marie Thorey (professeur en CPGE) ; il a été relu par Vincent Rossetto (chercheur au CNRS) et Cyril Ravat (professeur en CPGE).

Ce sujet étudie les variations des paramètres thermodynamiques de l'atmosphère terrestre avec l'altitude (température, pression, masse volumique), grâce aux relevés effectués à l'aide de ballons-sondes instrumentés.

- Dans la partie I, l'atmosphère est considérée comme un gaz parfait. On commence par déterminer l'évolution de la pression avec l'altitude. Les variations de la pression et de la masse volumique de l'air permettent ensuite de s'interroger sur la stabilité de l'atmosphère. On termine par l'étude des forces exercées sur un ballon inextensible, puis avec une enveloppe élastique.
- Dans la partie II, on mesure les propriétés de l'atmosphère grâce aux capteurs emmenés par le ballon. La température est tout d'abord mesurée grâce à une thermistance. Puis on s'intéresse à l'humidité relative avec la modification de la capacité d'un condensateur en raison des moments dipolaires des molécules d'eau. Pour finir, on explore le positionnement GPS et les perturbations liées à l'ionosphère.

Ce problème utilise la statique des fluides, la mécanique du point et l'électromagnétisme. La première partie utilise principalement des notions de PCSI avec la loi des gaz parfaits et les lois de Laplace, en plus de la statique des fluides. La seconde partie est plus proche du programme de PC avec de nombreuses questions proches du cours : conductivité d'un milieu conducteur, calcul du champ électrique dans un condensateur et relation de dispersion dans un plasma.

A2025 – CHIMIE PC



ÉCOLE NATIONALE DES PONTS et CHAUSSÉES,
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 2025

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 15 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 2025 — Corrigé

Ce corrigé est proposé par Bryan Boulenger (ENS Paris-Saclay) ; il a été relu par Augustin Long (professeur en CPGE) et Alexandre Herault (professeur en CPGE).

Ce sujet se compose de deux problèmes indépendants et de longueurs similaires, l'un de chimie organique, l'autre de chimie générale, comme c'est habituellement le cas au concours Mines-Ponts.

- La première partie s'intéresse à la synthèse d'un antibactérien spécifique de *Mycobacterium* (bactéries résistantes aux antibiotiques classiques). Mis à part une décarboxylation, les mécanismes réactionnels et les structures demandés sont classiques et proches du cours. On trouve également des questions de spectroscopie et utilisant des banques de réactions, notamment pour manipuler des groupes protecteurs, ainsi que l'étude d'un cycle catalytique. La majorité des questions sont accessibles ; quelques-unes nécessitent un raisonnement plus approfondi.
- La seconde partie est consacrée à la pervaporation, une méthode alternative à la distillation pour l'élimination de l'eau d'un mélange. Elle comporte trois sous-parties indépendantes. La première concerne la membrane nécessaire à la pervaporation et s'apparente à une analyse de documents mêlée à de la cristallographie. La deuxième se concentre sur les diagrammes binaires avec l'exemple du mélange eau-éthanol. Enfin, la dernière sous-partie utilise la thermodynamique pour expliquer l'intérêt de la pervaporation. Elle s'intéresse ensuite à la cinétique de l'élimination d'eau.

Ce sujet, assez simple pour une épreuve des Mines et de longueur adaptée à la durée de l'épreuve, s'avère intéressant pour tester ses connaissances sur les thématiques des deux années. En effet, la partie de chimie organique, bien qu'accessible, contient des questions où une réelle réflexion chimique est nécessaire. La partie de chimie générale reste proche du cours si la notion de pervaporation est bien comprise. Comme d'habitude, l'usage de la calculatrice était interdit ; de nombreuses applications numériques assez lourdes étaient cependant demandées, ce qui nécessitait d'être à l'aise dans ce domaine.

**ECOLE POLYTECHNIQUE
ESPCI**

CONCOURS D'ADMISSION 2025

**MARDI 15 AVRIL 2025
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 2025 — Corrigé

Ce corrigé est proposé par Valentin Clarisse (École polytechnique) ; il a été relu par Amélie Gay (ENS Lyon) et Cyril Ravat (professeur en CPGE).

Le sujet porte sur le retournement de la flèche du temps, appliqué en particulier aux ondes, et sur l'influence du milieu dans la reconstruction d'un signal émis puis renversé temporellement grâce à des miroirs. Les trois premières parties peuvent être traitées indépendamment alors que la dernière partie exploite des résultats des deux parties précédentes.

- Dans la partie I, on s'intéresse à la notion de retournement du temps en mécanique classique. On étudie d'abord le cas d'une particule chargée dans un champ électrique uniforme, puis le cas d'une particule soumise à des forces de frottement fluide.
- La deuxième partie porte sur le retournement du temps appliqué aux ondes scalaires unidimensionnelles, avec une attention particulière portée au problème de réflexion-transmission à une interface.
- La troisième partie aborde la notion de miroir à retournement temporel dans un milieu homogène. On traite le cas unidimensionnel, puis le cas tridimensionnel.
- La dernière partie présente une cavité de Fabry-Pérot en présence de miroirs à retournement temporel. La perte d'information conduit à étudier ensuite une modélisation tridimensionnelle en milieu réverbérant.

Ce sujet permet de bien réviser les notions liées aux ondes et à l'interférométrie. La difficulté est globalement croissante, avec cependant des pics locaux formés de questions demandant un long calcul ou un raisonnement complexe, et qui ouvrent la voie à une série de questions s'appuyant sur le résultat obtenu.

**ECOLE POLYTECHNIQUE - ESPCI
ECOLE NORMALES SUPERIEURES**

CONCOURS D'ADMISSION 2025

**MERCREDI 16 AVRIL 2025
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 2025 — Corrigé

Ce corrigé est proposé par Amélie Gay (ENS Lyon) ; il a été relu par Jérôme Lambert (enseignant-chercheur à l'université) et Jacques Ding (École Polytechnique).

Dans un premier temps, le sujet aborde la génération d'impulsions laser dites « attosecondes » (10^{-18} s) en focalisant un faisceau laser femtoseconde (10^{-15} s) sur un gaz. Dans un second temps, il s'intéresse à la mesure de la durée des impulsions et à leurs fréquences, via l'énergie cinétique d'électrons libérés par effet photoélectrique. Il est composé de trois parties indépendantes de longueurs inégales. La difficulté est croissante au sein de chacune d'elles.

- La partie I explique la génération d'impulsions attosecondes grâce à un modèle semi-classique en trois étapes : l'arrachement d'un électron de l'atome grâce à un champ laser, la trajectoire de l'électron dans le champ laser et enfin sa recombinaison avec le noyau. Dans ce but, elle s'intéresse d'abord à la focalisation d'un faisceau laser sur un noyau atomique, mettant en œuvre les notions abordées dans le cours sur les lasers. Le mouvement de l'électron dans un champ électrique est ensuite étudié, de son détachement du noyau à sa recombinaison avec celui-ci. Cette partie s'achève par une étude documentaire.
- La partie II examine l'intensité lumineuse des impulsions et la mesure de leur durée. On utilise pour cela les ondes lumineuses et les interférences.
- La dernière partie porte sur la compréhension d'un spectromètre magnétique permettant de mesurer la vitesse des électrons, donc leur énergie cinétique. Cette information donne accès à la fréquence des impulsions. Cela passe par l'étude du mouvement des électrons dans un champ magnétique. De nouveau, la maîtrise de la mécanique du point est requise.

Le sujet nécessite de maîtriser l'ensemble de la mécanique du point dans le cadre de forces électromagnétiques, ainsi que les ondes lumineuses. Il constitue un excellent sujet de révision dans ces deux domaines. Très peu d'applications numériques sont demandées. En revanche, de nombreux documents sont à exploiter et à mettre en regard des résultats trouvés. À l'intérieur des parties, les questions sont fortement liées.

**ECOLE POLYTECHNIQUE - ESPCI
ECOLE NORMALES SUPERIEURES**

CONCOURS D'ADMISSION 2025

MARDI 15 AVRIL 2025

14h00 - 18h00

FILIERE PC - Epreuve n° 4

CHIMIE A (XEULS)

Durée : 4 heures

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

X/ENS Chimie PC 2025 — 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 se compose de deux parties indépendantes. La première est consacrée à la chimie organique via la synthèse de deux alcaloïdes aux propriétés biologiques intéressantes. La seconde aborde la chimie générale en étudiant l'isomérisation renversable du norbornadiène en quadricyclane à des fins de stockage et de conversion de l'énergie solaire en énergie chimique.

- La première partie, qui représente environ un tiers du sujet, étudie la synthèse de mavacurans. Les thématiques abordées et les questions posées sont très classiques. On utilise des réactions de première et deuxième année, et on réalise des études spectroscopiques. Très peu de mécanismes sont demandés. On analyse également des états de transition et des groupements protecteurs fournis en annexe.
- La seconde partie, plus longue et qui aborde très majoritairement des notions vues en seconde année, s'intéresse à la réaction d'isomérisation du norbornadiène en quadricyclane. Elle se compose de plusieurs sous-parties qui abordent différents aspects de chimie générale, avec notamment une étude thermodynamique de la réaction, une description orbitale avec le diagramme d'orbitales de l'éthène, une approche électrochimique au cours de laquelle on trace des courbes courant-potentiel, et une analyse cinétique en réacteur fermé et ouvert un peu plus longue. Cette dernière sous-partie de cinétique est l'occasion d'approfondir des approches numériques en complétant notamment quelques lignes d'un programme fourni.

Ce sujet, bien que très long avec 69 questions, contient de nombreuses questions de cours, ou d'application immédiate du cours, parfois très courtes. Il convenait de parcourir rapidement l'énoncé pour les repérer. Quelques analyses de données expérimentales sont proposées, mais elles sont moins poussées que dans les sujets des années précédentes. Les applications numériques sont assez rares et devaient être réalisées sans calculatrice.

Même si ce sujet est un peu moins difficile que ceux d'autres années du concours X/ENS, il permet de s'entraîner efficacement sur les chapitres qu'il aborde.