

PC  
Physique · Modélisation · Chimie  
2024

Sous la coordination de

Julien DUMONT  
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)

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

Par

Arthur ALEXANDRE  
ENS Paris-Saclay

Virgile ANDREANI  
ENS Ulm

Steve ARNEFAUX  
professeur en CPGE

Claire BESSON  
enseignant-chercheur à l'université

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

Louis SALKIN  
professeur en CPGE

Jean-Christophe TISSERAND  
professeur en CPGE

# Sommaire

		Énoncé	Corrigé
<b>E3A</b>			
Physique et Chimie	L'avion SolarStratos. Procédés de production du sel. Synthèse totale du longifolène.  <i>thermodynamique, mécanique, électrostatique, phénomènes de transport, cristallographie, solutions aqueuses, chimie organique</i>	11	27
<b>CONCOURS COMMUN INP</b>			
Physique	Des plasmas pour la fusion thermonucléaire.  <i>diffusion, magnétostatique, électromagnétisme, ondes électromagnétiques</i>	45	59
Modélisation Physique et Chimie	En voiture !  <i>équations différentielles partielles, équation d'onde, programmation, électronique, amplificateur linéaire intégré, cristallographie, oxydoréduction</i>	80	96
Chimie	Le zirconium et la zircone. Synthèse des salicylilalamides A et B.  <i>cristallographie, cinétique chimique, thermodynamique, mélanges binaires, chimie organique, orbitales moléculaires, chimie de coordination, procédés industriels continus</i>	113	129
<b>CENTRALE-SUPÉLEC</b>			
Physique 1	À propos de l'environnement marin.  <i>thermodynamique, mécanique des fluides, ondes dans les fluides</i>	147	161
Physique 2	Terraformation de Mars.  <i>mécanique du point, rayonnement, statique des fluides, dynamique des fluides</i>	181	187
Chimie	Les médicaments : une histoire en perpétuelle évolution.  <i>solutions aqueuses, cinétique chimique, chimie organique, orbitales moléculaires, chimie de coordination, python, titrage, mesures et incertitudes, procédés continus</i>	205	225

### MINES-PONTS

Physique 1	Analyse physique d'un spa. <i>thermodynamique, mécanique des fluides, électromagnétisme, électronique, électrocinétique</i>	248	255
Physique 2	Éclipses du Soleil et ondes dans l'atmosphère. <i>mécanique du point, mécanique des fluides, ondes acoustiques, ondes électromagnétiques dans le plasma</i>	273	284
Chimie	Synthèse totale de l'aigialomycine D. Le dioxygène et la respiration branchiale chez le requin. <i>cinétique chimique, thermodynamique, chimie organique, diffusion</i>	302	319

### POLYTECHNIQUE-ENS

Physique A	Mouvements de la photosphère du Soleil. <i>interférences lumineuses, polarisation, ondes acoustiques</i>	337	344
Physique B	Propagation d'une onde acoustique dans un milieu non homogène. <i>ondes sonores dans les fluides</i>	364	372
Chimie	Chimie marine. <i>cristallographie, solutions aqueuses, cinétique chimique, orbitales moléculaires, chimie organique</i>	391	414

### FORMULAIRES

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

SESSION 2024



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 2024 — Corrigé

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

---

Ce sujet est composé de deux parties disjointes, l'une de physique et l'autre de chimie. La partie de physique, consacrée à l'avion SolarStratos, comporte trois parties indépendantes. La partie de chimie est divisée en deux problèmes indépendants de longueurs similaires abordant la chimie générale pour le premier, la chimie organique pour le second.

- Dans la première partie, on s'intéresse à la stratosphère. On montre d'abord que le champ de pesanteur y est approximativement uniforme. Via un modèle du champ de température, l'équation de la statique des fluides permet ensuite de calculer la masse volumique de l'air aux altitudes de vol.
- L'objectif de la deuxième partie est de décrire le mouvement de l'avion. Un bilan mécanique simplifié des forces qui s'exercent sur lui permet de calculer sa vitesse de croisière, ainsi que la surface de panneaux photovoltaïques nécessaire à son vol.
- La dernière partie de physique se penche sur les panneaux photovoltaïques, qui sont constitués d'un matériau semi-conducteur. On commence par décrire l'effet de la lumière visible sur un tel matériau, puis on étudie la diffusion d'impuretés en son sein. On établit enfin l'expression du champ électrostatique dans une jonction PN.
- Le premier problème de chimie porte sur des procédés d'extraction du sel par dissolution d'un gisement salifère. La première partie étudie la structure de la maille du chlorure de sodium à travers des questions classiques de cristallographie. La deuxième s'intéresse au procédé d'extraction avec des questions de thermodynamique et de précipitation.
- Le deuxième problème étudie une partie de la synthèse du longifolène, molécule polycyclique présente dans la résine de pin. Les questions de chimie organique sont usuelles, avec la proposition de mécanisme, la représentation de structures et une étude orbitale.

La partie de physique est classique et proche du cours, ce qui est typique de ce concours. L'énoncé fournit des indications pour les questions plus calculatoires. Cette partie permet de revoir les bases sur des chapitres variés du programme de physique. La partie de chimie comporte elle aussi de nombreuses questions et applications directes du cours, qui nécessitent cependant une analyse rigoureuse de l'énoncé. Les applications numériques, qui peuvent être réalisées avec la calculatrice, sont peu nombreuses et usuelles. Cette partie est un bon entraînement sur les raisonnements et mécanismes courants en chimie organique et sur les cours de cristallographie, thermodynamique et précipitation.

SESSION 2024



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.**

## CCINP Physique PC 2024 — Corrigé

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

---

Cette épreuve traite des aspects électromagnétiques et thermiques d'un plasma. Elle est divisée en trois parties indépendantes de durées et de longueurs approximativement égales.

- La première partie s'intéresse au confinement d'un plasma. Après avoir déterminé le champ magnétique statique créé par un solénoïde infini, les propriétés du mouvement d'une particule chargée dans ce champ sont étudiées. Le confinement des particules n'étant pas effectif dans cette configuration, deux autres dispositifs (bobines toroïdales et bouteille magnétique) sont proposés et analysés.
- La deuxième partie propose d'étudier la diffusion de particules chargées dans un plasma en l'absence de champ magnétique puis en présence d'un champ magnétique statique. À l'aide d'équations de diffusion, on détermine la densité volumique des particules en fonction du temps et de l'espace.
- La troisième partie se concentre sur l'échauffement d'un plasma, soit par induction à l'aide du solénoïde présent au centre d'un tokamak, soit par l'intermédiaire d'ondes électromagnétiques.

Ce sujet intéressant et varié constitue une excellente occasion de réviser de nombreuses parties du programme de deuxième année : magnétostatique, diffusion de particules, électromagnétisme et ondes électromagnétiques.

SESSION 2024



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 autorisées.**

**Le sujet est composé de trois parties indépendantes et d'une annexe.**

Sujet : page 2 à page 14

Annexe : page 15 à page 16

## CCINP Modélisation de systèmes physiques ou chimiques PC 2024 — Corrigé

Ce corrigé est proposé par Virgile Andreani (ENS Ulm) et Alexandre Herault (professeur en CPGE); il a été relu par Cyril Ravat (professeur en CPGE), Émilie Frémont (professeur en CPGE), Augustin Long (professeur en CPGE) et Stéphane Ravier (professeur en CPGE).

---

Ce sujet aborde différents thèmes autour des voitures et de la circulation automobile. Il mêle modélisation et programmation.

- Dans la première partie, on s'intéresse au tube en caoutchouc placé en travers de certaines routes pour mesurer la circulation. Plus spécifiquement, on établit l'équation du son dans ce tube déformable, puis on calcule sa célérité. On complète ensuite un script qui crée un graphique des données récoltées par ce capteur.
- Dans la deuxième partie, on modélise un embouteillage routier et la propagation du ralentissement qui en résulte. C'est un thème intéressant mais les nombreuses variables (position, distance inter-véhicules, vitesse, différence de vitesse) prêtent à confusion. On commence par une modélisation discrète avec un nombre de véhicules fixé, et on la lisse en établissant l'équation différentielle partielle dite de transport. Cette partie comporte une simulation numérique à compléter.
- La troisième partie étudie la batterie lithium ion d'une voiture électrique. Elle est composée de deux sous-parties. La première, consacrée à la chimie, étudie la pile constituée d'une cellule électrochimique de la batterie lithium ion. Il est regrettable que le sujet confonde les modes de fonctionnement en charge et en décharge, ce qui est problématique pour la compréhension de l'énoncé. Quelques questions très classiques de cristallographie sont également présentes, lors desquelles on s'intéresse aux sites octaédriques et tétraédriques d'une structure cubique à faces centrées. La seconde sous-partie est une courte étude d'électronique sur les amplificateurs linéaires intégrés, au cours de laquelle il faut étudier un circuit avec deux ALI en régime linéaire, puis programmer un script effectuant une intégration numérique.

La partie physique du sujet étudie deux types d'onde, c'est donc un bon sujet d'entraînement sur ce thème. La partie programmation étant très légère et guidée, elle a peu d'intérêt pour les révisions. L'étude chimique de cette épreuve est, quant à elle, si mal posée qu'elle ne présente aucun intérêt.

SESSION 2024



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.**

**Des données sont disponibles à la fin de chacun des deux problèmes.**

**Toute réponse devra être clairement justifiée.**

## CCINP Chimie PC 2024 — Corrigé

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

---

Ce sujet comporte deux parties indépendantes. La première, de chimie générale, traite du zirconium en tant qu'atome ou catalyseur. La seconde est une étude de chimie organique sur la synthèse des salicylihalamides A et B.

- Dans la partie I, on aborde l'atomistique du zirconium avant d'étudier en cristallographie l'insertion d'hydrogène dans une maille de zirconium. On s'intéresse ensuite aux interactions orbitales entre le zirconium et le dihydrogène. On conclut la partie par une application des catalyseurs de zirconium en synthèse. Dans un premier temps, on expose la sélectivité des complexes de zirconium en polymérisation. Puis, dans un second temps, on étudie la thermodynamique et la cinétique d'une synthèse industrielle du méthanol.
- Dans la partie II, la synthèse des salicylihalamides A et B sert de fil conducteur pour étudier le cycle catalytique du couplage de Stille, la réactivité d'un allylborane, et pour finir avec un peu de cinétique.

Le sujet est très complet et couvre une grande partie du programme de chimie des deux années. Les questions sont très proches du cours et permettent de s'exercer à la rédaction, comme c'est généralement le cas à ce concours. En particulier, la cristallographie et la thermochimie sont traitées en profondeur dans la première partie. La seconde partie est constituée de questions de cours et d'applications directes décrivant une synthèse plus complexe et nécessitant parfois une étude plus approfondie de séquences réactionnelles. Elle permet de s'entraîner à l'écriture des mécanismes d'acétalisation et d'estérification, de s'améliorer en caractéristiques des structures comme la géométrie, la polarité, la nucléophilie, l'acidité ou en attribution de signaux spectroscopiques.



CONCOURS CENTRALE•SUPÉLEC

# Physique 1

PC

2024

4 heures

Calculatrice autorisée

## À propos de l'environnement marin

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.

### Partie A – L'énergie thermique des mers

En 1869, dans son livre, *Vingt mille lieues sous les mers*, Jules Verne fait référence aux « eaux de surface et les eaux profondes des océans pour produire de l'électricité ». Cette idée d'utiliser la différence de température entre les eaux de surface et les eaux profondes afin de produire de l'électricité est appelée ETM (énergie thermique des mers) en français et OTEC (*Ocean Thermal Energy Conversion*) en anglais.

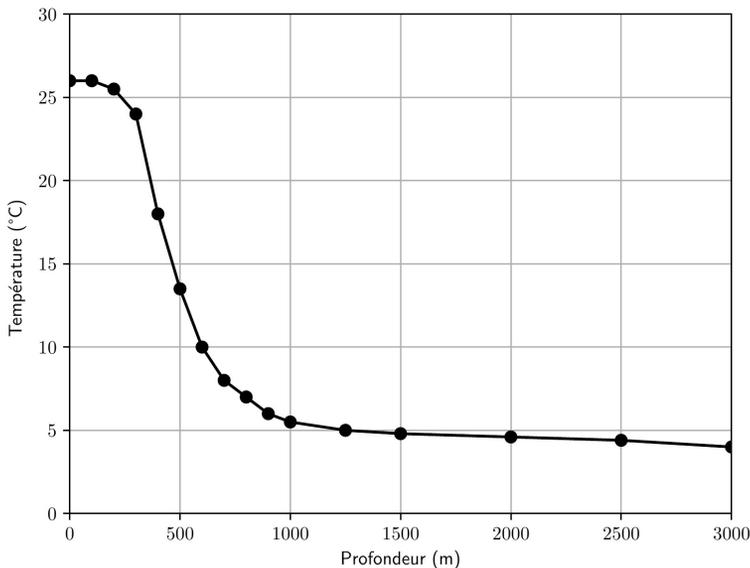
L'IFREMER considère que le coût du pompage des eaux profondes n'est rentable que pour une différence de température d'au moins  $20^\circ\text{C}$  entre l'eau de mer chaude prélevée à la surface et l'eau de mer froide prélevée en profondeur.

### I Généralités

**Q 1.** Représenter le diagramme synoptique d'une machine ditherme produisant du travail en précisant les signes des différents échanges énergétiques.

**Q 2.** Exprimer et calculer le rendement de Carnot de cette machine fonctionnant entre des sources de températures  $T_c = 26^\circ\text{C}$  et  $T_f = 5^\circ\text{C}$ . Commenter le résultat.

On envisage l'installation d'une centrale ETM à La Réunion. Le profil de température de l'eau de l'océan autour de cette île est donné sur la figure 1.



**Figure 1** Température de l'eau de l'océan en fonction de la profondeur à La Réunion.

**Q 3.** Déterminer la profondeur à laquelle on devra prélever l'eau profonde pour qu'une installation à La Réunion soit rentable.

## Centrale Physique 1 PC 2024 — Corrigé

Ce corrigé est proposé par Steve Arnefaux (professeur en CPGE) ; il a été relu par Henri Lastakowski (ENS de Lyon) et Nicolas-Alexandre Goy (professeur en CPGE).

---

L'épreuve porte sur l'environnement marin. Elle est composée de deux problèmes indépendants et de même longueur.

- La partie A se concentre sur une machine thermique exploitant la différence de température entre les eaux de surface et les eaux profondes pour récupérer de l'énergie. Elle illustre ce concept à travers un prototype de centrale ETM installé à la Réunion et explique en détail le fonctionnement de la machine thermique. Elle vise à exploiter les diagrammes  $(P, h)$  et  $(T, s)$  du fluide caloporteur afin de construire et d'étudier le cycle thermodynamique pour en déduire les principales caractéristiques, telles que les puissances et débits mis en jeu. Elle comprend également une section avec des questions plus générales sur la thermodynamique.
- La partie B, consacrée à la physique des ondes, permet d'étudier la formation et la propagation de la houle lorsque le vent souffle à la surface des océans. Tout d'abord, il s'agit de formuler des équations sur les potentiels des vitesses à l'aide de l'équation d'Euler et des conditions aux limites. Une approche perturbative de ces équations permet alors d'établir la condition de naissance de la houle. Le sujet s'intéresse ensuite au mouvement de la houle en l'absence de vent, en se concentrant sur une étude classique de la propagation des ondes via la relation de dispersion. Enfin, toujours dans le cadre d'une propagation sans vent, on cherche à expliquer la réfraction de la houle près des rivages en utilisant la loi de Snell-Descartes.

Cette épreuve est assez longue et de difficulté croissante. La première partie, sur les machines thermiques, est accessible et constitue une bonne révision dans ce domaine. La seconde partie nécessite une plus grande aisance avec les raisonnements mathématiques, particulièrement au début. Elle requiert des notions de cinématique des fluides, qui ne sont généralement pas approfondies en classe. Toutefois, des résultats intermédiaires sont souvent fournis, ce qui permet de progresser et d'aborder ensuite les questions classiques de la physique des ondes.



CONCOURS CENTRALE•SUPÉLEC

# Physique 2

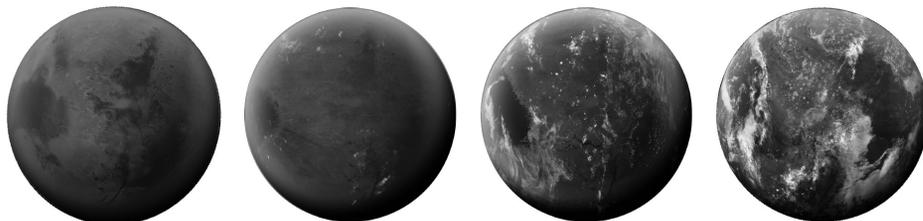
PC

2024

4 heures

Calculatrice autorisée

## *Terraformation de Mars*



**Figure 1** Vue d'artiste des phases hypothétiques de la terraformation de Mars. D'après Wikipédia, auteur : Daein Ballard.

Parue entre 1994 et 2000, la Trilogie de Mars de l'américain Kim Stanley Robinson relate la colonisation et la terraformation de la planète Mars.

La terraformation consiste à modifier la géologie et le climat d'une planète pour la rendre habitable par les humains ou toute forme de vie terrestre. Les modifications profondes à apporter à la planète sont complexes et demandent énormément de ressources. Sur Mars, les faibles température et pression empêchent la vie à la surface. Avant de développer un écosystème, il faut d'abord apporter une atmosphère à même de réchauffer la planète et de supporter la vie. Bien que considérée comme un vieux rêve de science fiction, la faisabilité de la terraformation soulève de nombreuses questions de physique, ce problème en abordant quelques-unes.

Le problème comporte deux parties indépendantes. Des données et un formulaire sont regroupés 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.

### I L'atmosphère de Mars et son échappement

Il y a quatre milliards d'années, Mars avait un environnement identique à celui de la Terre : une atmosphère dense était présente et permettait de conserver chaleur et humidité, ce qui participait à rendre cette planète habitable.

Aujourd'hui, Mars n'a quasiment plus d'atmosphère. Elle est devenue une planète froide et désertique. Son atmosphère actuelle est principalement composée (en pourcentages massiques) de dioxyde de carbone (96 %), d'argon (environ 2 %) et de diazote (2 %). Elle comporte également des traces de dioxygène, d'eau et de méthane. La pression moyenne ambiante est environ 170 fois moins importante que sur Terre. À une altitude de référence, au niveau du sol martien, la pression moyenne et la température moyenne sont respectivement de 600 Pa et 210 K. La masse totale de l'atmosphère martienne est estimée à 25 teratonnes (25 000 milliards de tonnes), soit environ 200 fois moins que l'atmosphère terrestre.

Un point  $M$  de l'atmosphère de Mars est repéré par ses coordonnées sphériques  $(r, \theta, \varphi)$  de centre  $O$ , le centre de la planète, celle-ci étant modélisée par une boule de répartition de masse à symétrie sphérique. On note donc que  $r \geq R_m$ ,  $R_m$  étant le rayon moyen de Mars.

#### *I.A – Préliminaire : le champ de pesanteur martien*

On s'intéresse dans un premier temps à l'évolution du champ de pesanteur martien avec l'altitude. Pour cela, on l'assimile au champ gravitationnel et on raisonne par analogie avec l'interaction électrostatique. Le champ de pesanteur martien est noté  $\vec{g}(M)$  au point  $M$ .

**Q 1.** Expliquer en quoi l'assimilation du champ de pesanteur au champ gravitationnel constitue une approximation.

## Centrale Physique 2 PC 2024 — Corrigé

Ce corrigé est proposé par Arthur Alexandre (ENS Paris-Saclay) ; il a été relu par Amélie Gay (ENS Lyon) et Olivier Frantz (professeur agrégé en école d'ingénieurs).

---

Dans ce sujet de physique, on s'intéresse à la terraformation de la planète Mars. Ce procédé imaginaire consiste à modifier le climat et l'environnement d'une planète afin de la rendre habitable. Le sujet s'articule autour de deux thématiques : le mécanisme d'évaporation de l'atmosphère martienne et les conditions nécessaires pour modifier la température et la pression afin de rendre la planète Mars habitable.

- Dans la partie I, on modélise le mécanisme d'échappement de l'atmosphère martienne. Après quelques rappels de cours sur l'analogie entre les champs électrostatique et gravitationnel, le modèle de l'atmosphère isotherme est utilisé pour déterminer les propriétés physiques de l'atmosphère martienne. Un modèle hydrodynamique est ensuite proposé pour évaluer les pertes des gaz atmosphériques de Mars.
- Dans la seconde partie, des notions sur le rayonnement du corps noir sont mobilisées pour estimer la température à la surface de Mars. Un modèle simple de l'effet de serre est présenté afin de comprendre dans quelle mesure la présence d'atmosphère sur Mars permettrait d'augmenter sa température de surface. Enfin, on imagine un transfert de matière depuis la ceinture d'astéroïdes vers Mars afin d'augmenter la pression atmosphérique. Des notions sur les mouvements à force centrale sont utilisées afin de déterminer si ce transfert est envisageable.

Le sujet comporte beaucoup de questions classiques proches du cours, ce qui permet d'aller vite et de passer plus de temps sur les questions peu guidées. Il balaie un large spectre de connaissances du cours en mécanique du point, statique et dynamique des fluides, et rayonnement. La terraformation appartient à la science-fiction. En exploitant ce thème, le sujet apporte une touche ludique aux problèmes abordés.



## Chimie

PC

2024

CONCOURS CENTRALE-SUPÉLEC

4 heures

Calculatrice autorisée

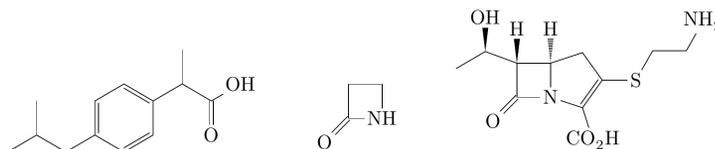
**Les médicaments : une histoire en perpétuelle évolution**

Les principes actifs sources de médicaments puisent leur origine dans le monde minéral, végétal ou animal ou sont obtenus par voie synthétique au laboratoire, les procédés étant parfois étendus à l'échelle industrielle.

La découverte des médicaments, d'abord empirique, a suivi l'évolution de la compréhension médicale des pathologies affectant l'être humain. Si certaines substances aux qualités thérapeutiques indéniables sont connues depuis l'Antiquité (l'opium), la fin du XIXe siècle voit, d'une part l'isolement de principes actifs d'origine végétale (la morphine par exemple) et, d'autre part la synthèse totale de médicaments simples comme l'aspirine. Aujourd'hui la mise sur le marché de médicaments nécessite notamment :

- d'élaborer au laboratoire des méthodes de synthèse efficaces et respectueuses de l'environnement ;
- de déployer ces stratégies de synthèse à l'échelle industrielle ;
- d'analyser le mode d'assimilation du médicament dans l'organisme ;
- de caractériser la stabilité du médicament afin d'en fixer la posologie et la date de péremption.

Ce sujet propose d'aborder successivement ces quatre aspects sur les exemples concrets de l'ibuprofène et de la thiénamycine, un antibiotique dont la structure présente un noyau  $\beta$ -lactame.



Ibuprofène

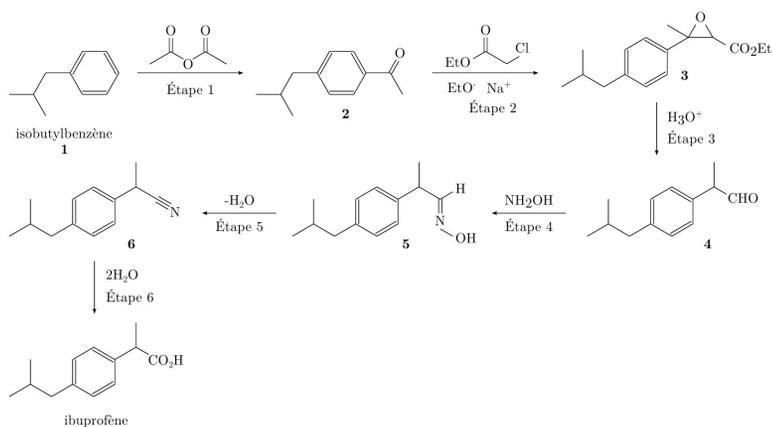
Noyau  $\beta$ -lactame

Thiénamycine

Le candidat pourra adopter une représentation simplifiée des molécules lors de l'écriture des mécanismes réactionnels en chimie organique.

**I Stratégie de synthèse****I.A – Procédé Boots**

L'ibuprofène est un anti-inflammatoire non stéroïdien dont la synthèse historique par le procédé Boots a été établie en 1960<sup>1</sup>. La séquence réactionnelle de cette synthèse est précisée sur figure 1.

**Figure 1** Séquence réactionnelle du procédé Boots.

<sup>1</sup> COUDERT, P. (2020). Sources actuelles et futures des médicaments. Techniques de l'ingénieur, PHA 1 005v2, (p 1-26)

## Centrale Chimie PC 2024 — Corrigé

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

---

Ce sujet comporte un ensemble de questions assez disparates, qui sont reliées par une quantité importante de texte à une thématique centrale, la synthèse et l'étude des propriétés de deux médicaments. Les trois premières parties du sujet traitent de la chimie de l'ibuprofène, la quatrième de la thiénamycine.

- La première partie porte sur la stratégie de synthèse de l'ibuprofène. Après plusieurs questions de chimie organique essentiellement indépendantes les unes des autres, on trouve un court problème de cinétique et l'étude d'un titrage acido-basique. Cette dernière inclut une importante section sur les incertitudes associées au titrage et une question de modélisation informatique.
- La partie suivante concerne la synthèse moderne de l'ibuprofène, qui fait appel à des procédés continus. Les deux premières sections, proches du cours, étudient un réacteur continu et une distillation. La troisième se penche sur un cycle catalytique. Elle présente une erreur importante figure 4 qui empêche de répondre à la question 22.
- La troisième partie ne comporte qu'une question, concernant la solubilité de l'ibuprofène en solution aqueuse.
- La dernière partie est organisée en deux sections. Après quelques questions de stéréochimie, la première se concentre sur un problème de cinétique assez classique, suivant par spectroscopie la dégradation de l'imipénem, un dérivé de la thiénamycine. La seconde retourne à la chimie organique et est un mélange de questions très standard et de deux questions un peu plus délicates.

Avec son enchevêtrement de questions faisant appel à des outils divers et son attention particulière à des questions proches de l'expérience, ce sujet est typique du concours Centrale. La nécessité de lire la totalité du texte pour en extraire les données utiles et voir où chaque nouvelle question veut en venir rend le sujet long à traiter, même si ni le nombre, ni la difficulté des questions n'est particulièrement remarquable.

Dans l'ensemble, le sujet fait l'impasse sur des pans entiers du programme, ou ne les aborde que de manière très rapide. Il est donc recommandé pour une révision en profondeur de certains chapitres (mesures et incertitudes, procédés continus) plutôt que pour une revue globale de l'ensemble du programme.

## A2024 – 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 2024

PREMIÈRE ÉPREUVE DE PHYSIQUE

Durée de l'épreuve : 3 heures

L'usage de la calculatrice et 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 2024 — Corrigé

Ce corrigé est proposé par Jérôme Lambert (enseignant-chercheur) ; il a été relu par Ilan Audoin (professeur agrégé) et Stéphane Ravier (professeur en CPGE).

---

Ce problème a pour objet l'étude physique d'un spa (jacuzzi).

- La première partie est consacrée à l'installation du spa, depuis le gonflage du bassin jusqu'au chauffage de l'eau. Les questions font appel aux programmes de thermodynamique et d'électromagnétisme.
- La deuxième partie traite du fonctionnement du spa. Elle prolonge l'analyse du bilan thermique entamé dans la première partie en se fixant pour objectif de stabiliser la température de l'eau au cours de la journée. Ceci passe par l'analyse des pertes énergétiques du bassin, et par l'analyse d'un module de commande basé sur un ALI permettant de compenser automatiquement ces pertes.
- La vidange du spa est l'objet de la troisième partie, d'abord en régime quasi-stationnaire, puis en régime transitoire.

Ce sujet fait appel à un grand nombre de parties du programme de PC : thermodynamique, mécanique des fluides, électromagnétisme et électronique. Il comporte un nombre raisonnable de questions. La difficulté est variable : certaines questions nécessitent de prendre des initiatives en formulant des hypothèses raisonnables, d'autres appellent des réponses relativement longues. Le sujet reste proche du cours et constitue un excellent entraînement dans la perspective des concours.

A2024 – 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 2024

DEUXIÈME ÉPREUVE DE PHYSIQUE

Durée de l'épreuve : 4 heures

L'usage de la calculatrice et 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 2024 — Corrigé

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

---

Le sujet s'intéresse à deux phénomènes physiques liés à la présence de l'atmosphère terrestre : d'une part, les conséquences des éclipses solaires sur la propagation des ondes acoustiques et des ondes de gravité, d'autre part la propagation des ondes électromagnétiques dans l'ionosphère.

- Dans la partie I, une étude des mouvements relatifs de la Lune, de la Terre et du Soleil est menée pour quantifier les éclipses du Soleil par la Lune. On décrit les forces en jeu dans ce système à trois corps et on calcule la vitesse de déplacement d'une éclipse sur le sol terrestre.
- La partie II s'intéresse aux ondes, acoustiques et de gravité, qui se propagent dans l'atmosphère lors d'une éclipse solaire. Les premières sont traitées dans le cas classique de l'approximation acoustique, les secondes par analogie à l'interface entre de l'eau et de l'air. Cette étude aboutit à l'analyse des ondes de sillage laissées derrière l'ombre en mouvement pendant une éclipse.
- Dans la dernière partie, on étudie le sondage ionosphérique utilisé pour quantifier les fluctuations locales des propriétés physiques de la haute atmosphère. Après une description de l'ionosphère en tant que plasma, le sujet aborde la propagation des ondes électromagnétiques qui s'y déroule et la possibilité de réaliser des mesures physiques par effet Doppler en étudiant la réflexion d'ondes émises depuis le sol.

Le sujet est intéressant et aborde différents thèmes, ce qui permet de réviser plusieurs parties du programme de PC : la mécanique en référentiel non galiléen, la propagation des ondes acoustiques dans les fluides et celle des ondes électromagnétiques dans les plasmas. La difficulté est dans la moyenne d'une épreuve des Mines ; de nombreuses questions en début de partie sont proches du cours. Enfin, comme d'habitude aux Mines, la calculatrice était interdite. Il faut parfois faire preuve d'astuce pour mener à bien les applications numériques.

A2024 – 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 2024

Durée de l'épreuve : 4 heures

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

ÉPREUVE DE CHIMIE

Durée de l'épreuve : 4 heures

L'usage de la calculatrice et 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 16 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 2024 — Corrigé

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

---

Le sujet comporte deux problèmes indépendants, l'un de chimie organique, l'autre de chimie générale, comme c'est l'habitude au concours Mines-Ponts.

- Le premier problème traite de la synthèse de l'aigialomycine D, une molécule présentant un intérêt thérapeutique, notamment antipaludique. Hormis l'utilisation d'une réaction désormais hors programme dans une séquence que l'on doit proposer (question non bloquante pour la suite), la difficulté reste raisonnable tout au long du problème. Les mécanismes demandés sont classiques et les questions posées souvent proches du cours.
- Le second problème a pour thème le dioxygène et la respiration branchiale chez le requin. Il est composé de quatre sous-parties qui doivent être traitées dans l'ordre. Les trois premières utilisent essentiellement la thermodynamique, et un peu de cinétique de façon originale. La quatrième, quant à elle, est une partie de physique qu'il est très étrange de trouver dans une épreuve de chimie. On y étudie la diffusion du dioxygène. Le dernier calcul n'est vraiment pas raisonnable pour une épreuve sans calculatrice.

Le sujet est assez court, mais il est déroutant. La partie de chimie organique est plutôt facile pour une épreuve des Mines. Elle est un très bon entraînement pour tester sa connaissance du cours dans ce domaine. La partie de chimie générale traite un thème intéressant et original. Plus difficile, elle permet de s'entraîner pour les concours les plus sélectifs.

**ECOLE POLYTECHNIQUE  
ESPCI**

**CONCOURS D'ADMISSION 2024**

**MARDI 16 AVRIL 2024  
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 2024 — Corrigé

Ce corrigé est proposé par Henri Lastakowski (ENS Lyon); il a été relu par Maxime Barreau (professeur agrégé) et Émilie Frémont (professeur en CPGE).

---

Le sujet traite des mouvements de la couche superficielle du Soleil, appelée photosphère, et de méthodes optiques adaptées à son observation. Il est constitué de deux parties quasiment indépendantes.

- Dans la partie I, on s'intéresse à un système d'observation de la photosphère. Après quelques rappels sur l'utilisation de l'interféromètre de Michelson en lame d'air, deux aspects du dispositif sont analysés. Tout d'abord, on étudie l'influence d'un deuxième interféromètre de Michelson, le premier servant de source lumineuse au second. Par la suite, une polarisation différente est envoyée dans chaque bras de l'interféromètre. L'état de polarisation en sortie est alors étudié. À chaque fois, une étude de la résolution spectrale est effectuée afin d'évaluer si le décalage par effet Doppler de la raie spectrale du nickel est détectable. Cette partie se conclut par quelques questions sur l'imagerie Doppler de la photosphère, en particulier sur la méthode de cartographie du champ de vitesse en surface de la photosphère en exploitant cinq photographies à des longueurs d'onde différentes.
- La partie II est dédiée à l'étude des ondes acoustiques dans la photosphère. Après de brefs rappels sur la propagation dans un milieu homogène, le sujet aborde le problème de la propagation d'une onde dans un milieu stratifié. L'équation de dispersion ainsi que la notion de chemin acoustique sont alors abordées.

Le sujet nécessite d'être parfaitement au point sur les interférences lumineuses, la polarisation de la lumière et les ondes acoustiques. Si chaque partie aborde les problèmes de manière guidée et didactique, il est indispensable de savoir mener des raisonnements physiques subtils, associés à des calculs rigoureux, pour aller au bout de chaque sous-partie, ce qui est typique d'une épreuve X-ENS.

ÉCOLE POLYTECHNIQUE – ESPCI  
ÉCOLES NORMALES SUPÉRIEURES

CONCOURS D'ADMISSION 2024

MERCREDI 17 AVRIL 2024  
08h00 – 12h00  
FILIÈRE PC – Épreuve n° 5  
PHYSIQUE B (XEULS)

Durée : 4 heures

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

## X/ENS Physique B PC 2024 — Corrigé

Ce corrigé est proposé par Amélie Gay (ENS Lyon); il a été relu par Marie Ausseresse (professeur agrégé) et Émilie Frémont (professeur en CPGE).

---

Le sujet aborde la propagation d'une onde acoustique dans un milieu inhomogène, et plus précisément stratifié. Il applique cette étude aux sonars des bateaux et des sous-marins qui émettent des ondes acoustiques dans l'océan pour détecter des objets ou pour communiquer. Il est composé de deux parties quasiment indépendantes et de longueur équivalentes.

- La première partie s'intéresse à la simplification des équations de la mécanique des fluides pour se placer dans le cadre de l'acoustique linéaire. Elle est proche du cours dans la façon d'aborder les différentes hypothèses. Elle s'effectue sans difficulté notable, avec des lots de questions presque indépendants entre eux.
- La seconde partie est consacrée à l'établissement des trajectoires de rayons acoustiques dans un milieu stratifié, par analogie avec l'optique géométrique. Les concepts généraux sont mis en place dans le cadre d'une atmosphère stratifiée avant de les appliquer à l'océan avec la technologie du sonar.

Ce sujet constitue une révision pertinente sur le thème des ondes sonores dans un milieu fluide. Comme il repose en partie sur une analogie avec l'optique géométrique, il faut être au point dans ce domaine. Ce problème constitue un prolongement intéressant de ceux qui abordent les mirages optiques. Il distille beaucoup d'indications pour la résolution des questions: il faut les exploiter attentivement pour mener à bien les raisonnements.

**ECOLE POLYTECHNIQUE - ESPCI  
ECOLE NORMALES SUPERIEURES**

**CONCOURS D'ADMISSION 2024**

**MARDI 16 AVRIL 2024  
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 2024 — 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, de longueurs inégales, qui abordent des thématiques liées aux océans et aux constituants physico-chimiques qu'ils contiennent. Les questions de chimie générale représentent environ 70 % du sujet et constituent les trois premières parties, tandis que la chimie organique est abordée dans la dernière partie.

- La première partie étudie le dioxyde de carbone et ses formes acido-basiques dans l'eau. Elle propose une description orbitale de  $\text{CO}_2$ , suivie de l'étude de ses propriétés acido-basiques, et se termine par la précipitation du carbonate de calcium appliquée à la formation des squelettes coralliens.
- La deuxième partie, qui est la plus courte, s'intéresse à l'équilibre entre deux formes du carbonate de calcium dans l'eau de mer : la calcite et l'aragonite. Une approche mêlant cristallographie et thermodynamique permet d'étudier la stabilité relative des deux variétés allotropiques pour déterminer les conditions favorisant l'une ou l'autre dans l'océan.
- La troisième partie étudie deux modèles cinétiques. Le premier décrit un phénomène de cristallisation faisant intervenir la diffusion des espèces. Une confrontation des résultats issus de ce modèle aux résultats expérimentaux issus d'une publication scientifique est alors menée. Le second décrit les propriétés d'un agent complexant et son élimination des eaux usées par action de l'ozone. Les lois de vitesse sont établies et exploitées pour analyser une autre série de résultats publiés.
- Enfin, la dernière partie porte sur la synthèse des clavulolactones II et III, qui sont des molécules d'origine corallienne et qui présentent des propriétés anti-tumorales. Les thématiques de chimie organique sont très variées, avec des réactions de première et deuxième année, des études spectroscopiques, des considérations stéréochimiques et des discussions autour des conditions expérimentales.

Ce sujet est très long, avec 69 questions qui traitent une grande partie du programme des deux années. Il était difficile de tout traiter pendant le temps imparti. Les applications numériques (sans calculatrice) sont peu nombreuses et bien souvent sans incidence dans l'enchaînement des réponses. Si quelques questions sont courtes et proches du cours, d'autres nécessitent une appropriation plus marquée des concepts introduits par l'énoncé. Une partie importante est consacrée à l'analyse de modèles, de documents et de résultats scientifiques, ce que l'on retrouve fréquemment dans les sujets du concours X/ENS. En particulier, les modèles abordés dans la partie C sont complexes, ce qui la rend inhabituelle et difficile à traiter. Elle nécessite en effet une bonne maîtrise du programme, ainsi que des capacités d'analyse et d'interprétation de toutes les données expérimentales fournies. Ce sujet est un bon entraînement pour préparer le concours X/ENS.