

**MP**  
**Physique · Modélisation · Chimie**  
**2023**

Sous la coordination de

Vincent FREULON  
professeur en CPGE  
ancien élève de l'École Normale Supérieure (Ulm)

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

Par

Hector ABEL  
ENS Paris-Saclay

Valentin CLARISSE  
École Polytechnique

Jacques DING  
École Polytechnique

Nicolas-Alexandre GOY  
professeur en CPGE

Alexandre HERAULT  
professeur en CPGE

Jérôme LAMBERT  
enseignant-chercheur à l'université

---

# Sommaire

---

		Énoncé	Corrigé
	<b>E3A</b>		
Physique et Chimie	Vivre dans l'espace. <i>mécanique, optique ondulatoire, thermochimie, oxydoréduction, diagrammes E-pH</i>	11	26

## CONCOURS COMMUN INP

Physique	Étude de phénomènes physiques conférant des « pouvoirs magiques ». <i>oscillateurs mécaniques, ondes mécaniques, électrostatique, physique statistique, thermodynamique</i>	43	56
Physique et Chimie	Le soleil a rendez-vous avec la pluie. <i>mécanique du point, électrostatique, optique géométrique, interférences, oxydoréduction, courbes courant-potentiel</i>	81	97

## CENTRALE-SUPÉLEC

Physique et Chimie 1	Atténuer le changement climatique. <i>mécanique du point, référentiels non galiléens, thermodynamique, diffusion thermique, cristallographie, oxydoréduction</i>	119	134
Physique et Chimie 2	Errare humanum est, perseverare diabolicum. <i>électromagnétisme, conducteur parfait, ondes dans un plasma, réflexion d'une onde sur un métal, oxydoréduction, thermodynamique, diagrammes E-pH, courbes courant-potentiel</i>	152	161

### MINES-PONTS

Physique 1	Fonctions spéciales. <i>mécanique newtonienne, thermique</i>	183	191
Physique 2	Déformations élastiques. <i>mécanique, mécanique quantique, physique statistique</i>	204	210
Chimie	Étude du complexe de chrome $\text{CrO}_5$ . <i>cinétique chimique, oxydoréduction, thermodynamique</i>	225	231

### POLYTECHNIQUE-ENS

Physique	Fusion thermonucléaire au cœur du Soleil. Rendement énergétique d'une machine thermique à sa puissance maximale. <i>physique quantique, physique statistique, thermodynamique, transferts thermiques</i>	239	244
Physique et Sciences de l'Ingénieur	Asservissement en fréquence d'un laser continu. <i>mécanique quantique, asservissement, ondes électromagnétiques, laser</i>	259	276

### FORMULAIRES

Constantes chimiques	304
Constantes physiques	307
Formulaire d'analyse vectorielle	308
Classification périodique	312

SESSION 2023



MP9PC

---

**ÉPREUVE SPÉCIFIQUE - FILIÈRE MP**

---

**PHYSIQUE-CHIMIE**

---

**Durée : 4 heures**

---

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

**RAPPEL DES CONSIGNES**

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

<b>Les calculatrices sont autorisées</b>
--

**Le sujet est composé de plusieurs parties indépendantes, traitant de physique et 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 comptés.
- Des données numériques complémentaires ainsi qu'un formulaire sont rassemblés à la fin de l'énoncé pages 13 et 14.

## e3a Physique et Chimie MP 2023 — Corrigé

Ce corrigé est proposé par Louis Salkin (professeur en CPGE) et Alexandre Hérault (professeur en CPGE) ; il a été relu par Julien Dumont (professeur en CPGE), Vincent Freulon (professeur en CPGE) et Stéphane Ravier (professeur en CPGE).

---

Le sujet aborde certains aspects liés au voyage et à la vie dans l'espace. Il est composé de trois parties indépendantes.

- Dans la partie I, on étudie la possibilité de se libérer de l'attraction gravitationnelle terrestre. Après avoir défini et obtenu l'expression de la vitesse de libération d'un point matériel, on s'intéresse au tir d'un boulet de canon. On met en équation le mouvement du boulet en distinguant les phases ascendante et descendante. Cette partie est exclusivement consacrée à la mécanique.
- La deuxième partie étudie une station spatiale en orbite circulaire autour de la Terre. On détermine la pesanteur apparente dans le référentiel de la station, puis on décrit les effets de celle-ci sur ses occupants. Encore dédiée à la mécanique, cette partie met l'accent sur les forces d'inertie dans un référentiel non galiléen.
- La partie III s'intéresse à l'élément nickel. On décrit tout d'abord sa structure cristalline puis on propose une méthode de mesure de son paramètre de maille, fondée sur des interférences de rayons X. Dans la dernière sous-partie, consacrée exclusivement à la chimie, on s'intéresse à l'accumulateur cadmium-nickel. Quelques questions abordent les diagrammes potentiel-pH de ces deux éléments, puis on étudie les deux fonctionnements de l'accumulateur : la décharge (fonctionnement de type pile) et la recharge (fonctionnement de type électrolyseur).

Le sujet est classique et bien équilibré, mais quasi monothématique en physique. Sa longueur et sa difficulté sont typiques de la banque e3a. Il permet de revoir efficacement les notions de mécanique vues pendant les deux années de prépa.

SESSION 2023



MP5P

---

**ÉPREUVE SPÉCIFIQUE - FILIÈRE MP**

---

**PHYSIQUE****Durée : 4 heures**

---

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

**RAPPEL DES CONSIGNES**

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

**Les calculatrices sont autorisées.**

Le sujet est constitué de 3 parties totalement indépendantes :

- la **partie I** fait appel au cours de mécanique du point et à la propagation des ondes mécaniques,
- la **partie II** fait appel au cours d'électromagnétisme,
- la **partie III** fait appel au cours de thermodynamique.

Un formulaire est placé en fin de sujet.

## CCINP Physique MP 2023 — Corrigé

Ce corrigé est proposé par Nicolas-Alexandre Goy (professeur en CPGE) ; il a été relu par Charlie Leprince (ENS Paris-Saclay) et Frédéric Barbosa (professeur agrégé).

---

Ce problème s'intéresse aux pouvoirs des personnages fictifs de l'œuvre *One Piece* écrite par le mangaka Eiichiro Oda. Il s'agit de modéliser trois pouvoirs magiques utilisant respectivement les oscillateurs mécaniques, l'électrostatique et la thermodynamique. Les trois parties sont indépendantes.

- La partie I modélise des oscillateurs mécaniques : une molécule diatomique, une chaîne unidimensionnelle d'oscillateurs et un solide cristallin soumis à l'agitation thermique. Cette partie s'interroge, en quatre sous-parties dépendantes les unes des autres, sur l'équilibre et la dynamique d'oscillateurs modélisés par des ressorts individuels puis couplés. Elle continue avec la modélisation de la propagation d'une onde mécanique en milieu discontinu puis en milieu continu.
- La partie II est consacrée à l'étude d'un condensateur. On redémontre des résultats du cours puis on introduit un plasma entre les plaques du condensateur. Cette sous-partie utilise l'électrostatique et la physique statistique. Elle se termine par des questions mélangeant cours et applications sur les milieux conducteurs, à l'occasion de la décharge du condensateur.
- Découpée en deux sous-parties indépendantes, la partie III traite d'un problème sur la congélation. À l'aide des principes de la thermodynamique, on commence par l'étude d'une machine frigorifique dont la source froide a une température variable. Le sujet se termine par un problème de diffusion comparant des vitesses de congélation avec et sans pertes thermiques.

Ce sujet juxtapose trois exercices portant sur des pans disjoints du programme. Cela permettait de tester les candidats sur un large domaine de connaissances, tout en leur évitant de rester bloqués – une tendance qui prend de l'ampleur au concours CCINP. Les trois parties ont à peu près la même longueur et la même difficulté (modérée). La troisième, cependant, s'éloigne plus que les autres du cadre posé en cours. Ce sujet permet de travailler (pendant l'année) et de réviser (en fin d'année) les chapitres abordés, en allant directement à la partie concernée.

SESSION 2023



MP2PC

---

**ÉPREUVE SPÉCIFIQUE - FILIÈRE MP**

---

**PHYSIQUE - CHIMIE**

---

**Durée : 4 heures**

---

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

**RAPPEL DES CONSIGNES**

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

**Les calculatrices sont autorisées.**

## CCINP Physique et Chimie MP 2023 — Corrigé

Ce corrigé est proposé par Charlie Leprince (ENS Paris-Saclay) et Alexandre Herault (professeur en CPGE) ; il a été relu par Tom Morel (professeur en CPGE), Frédéric Barbosa (professeur agrégé) et Stéphane Ravier (professeur en CPGE).

---

Ce sujet se propose d'étudier des phénomènes physiques liés aux gouttes de pluie sous plusieurs approches permettant d'aborder différentes thématiques du programme. Il est d'abord question de la vitesse des gouttes et de capteurs permettant de mesurer leur diamètre, puis le sujet s'intéresse aux arcs-en-ciel qui résultent de l'interaction entre les gouttes et les rayons du Soleil. Enfin, on aborde la question de la récupération de l'eau de pluie et de sa valorisation à l'aide d'une électrolyse. Ce sujet très long aborde des domaines variés, clairement délimités et répartis en huit parties indépendantes.

- La partie I, très courte, consiste en une petite étude mécanique de la chute des gouttes d'eau.
- Dans la partie II, on s'intéresse à un capteur, appelé disdromètre, permettant de déterminer la taille des gouttes. Son principe consiste à mesurer l'impact des gouttes sur une platine liée à un support fixe à l'aide d'une suspension modélisée par un système masse-ressort amorti.
- La partie III vise à retrouver des résultats d'électrostatique de façon à modéliser le principe d'un capteur piézoélectrique.
- La partie IV, probablement la plus éloignée du cours, permet d'établir des résultats portant sur le dimensionnement d'un disdromètre à impact lorsque l'on prend en compte une distribution de tailles de gouttes donnée par un modèle empirique.
- Dans la partie V, on étudie le signal généré par un autre type de disdromètre, fondé cette fois sur un principe optique.
- Dans la partie VI, on s'intéresse à la réfraction de rayons du Soleil dans une goutte, phénomène qui donne naissance aux arcs-en-ciel. Puis on détermine quelques propriétés de ces derniers.
- La partie VII traite d'un phénomène d'interférences ayant lieu dans les arcs-en-ciel et donnant lieu à des arcs dits surnuméraires.
- Dans la partie VIII, consacrée à la chimie, on s'intéresse à l'électrolyse de l'eau puis à celle d'une solution de chlorure de sodium dans le but de désinfecter l'eau de pluie récupérée afin de pouvoir la distribuer au bétail. Tension de seuil d'électrolyse et surpotentiels sont les notions utilisées dans cette étude.

Ce sujet reprend un certain nombre d'exemples très classiques, voire très proches du cours (de première et de deuxième année) et mobilise des connaissances assez variées liées aux différents domaines abordés, allant de la mécanique du point au traitement du signal, en passant par l'électrostatique, l'optique géométrique et ondulatoire, ainsi que l'oxydoréduction.



CONCOURS CENTRALE•SUPÉLEC

## Physique-chimie 1

MP

2023

4 heures

Calculatrice autorisée

*Atténuer le changement climatique*

Ce sujet aborde différentes solutions pour prévenir ou atténuer le changement climatique. La première partie s'intéresse à la possibilité d'installer, entre la Terre et le Soleil au voisinage du point de Lagrange  $L_1$ , un écran atténuateur du rayonnement solaire. La seconde aborde un aspect particulier de la transition énergétique qu'on peut mettre en œuvre sur Terre pour réduire les émissions de gaz à effet de serre : la rénovation énergétique des bâtiments.

Les deux parties sont totalement indépendantes de même qu'un bon nombre de questions. Certaines données sont fournies en fin d'énoncé, d'autres relèvent de l'initiative du candidat.

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.

Cet énoncé est accompagné d'un document réponse à rendre avec la copie.

**I Installer un écran solaire dans l'espace ?**

Des études scientifiques ont montré que pour compenser l'augmentation de l'effet de serre qu'engendrerait un doublement de la concentration atmosphérique en dioxyde de carbone par rapport à l'ère préindustrielle, il faudrait réduire d'une fraction  $\mu = 1,8\%$  la puissance du rayonnement solaire reçu par la Terre. Cette partie est consacrée à l'étude de la faisabilité technique et économique de la mise en place, au voisinage du point de Lagrange  $L_1$ , d'un « écran » entre la Terre et le Soleil réalisant une telle réduction de puissance.

**I.A – Préliminaires**

**Q 1.** Soit  $T$  le centre de masse de la Terre et  $S$  le centre de masse du Soleil. On modélise l'écran atténuateur de puissance par une lentille mince géante d'axe optique  $(ST)$  et de centre optique  $\Omega$  situé à une distance  $l = 1,5 \times 10^9$  m du point  $T$ . Le rayon du diaphragme de la lentille est égal au rayon  $R_T$  de la Terre. À l'aide d'un modèle simple, dont vous préciserez les principales hypothèses, estimer numériquement la distance focale  $f'$  de cette lentille équivalente pour qu'elle réalise une diminution relative  $\mu = 1,8\%$  de la puissance lumineuse reçue par la Terre.

Un *astre à répartition sphérique de masse* est un astre dont la masse volumique  $\rho$  ne dépend que de la distance  $r$  à son centre.

**Q 2.** Démontrer l'expression du champ gravitationnel  $\vec{g}(r)$  puis du potentiel gravitationnel  $V(r)$  engendrés par un astre à répartition sphérique de masse, de masse  $M$  et de rayon  $R$ , à une distance  $r \geq R$  de son centre  $O$ . On prendra le potentiel nul à l'infini.

**Q 3.** On considère un point matériel  $P$  de masse  $m$  en orbite circulaire de rayon  $r$  autour de l'astre précédent. Exprimer la vitesse angulaire  $\omega$  du mouvement de  $P$  en fonction de la constante gravitationnelle  $G$ , de la masse  $M$  de l'astre et de la distance  $r$ .

**I.B – Les points de Lagrange**

On considère le système formé par la Terre, de centre de masse  $T$  et de masse  $M_T$ , et le Soleil, de centre de masse  $S$  et de masse  $M_S$ . On note  $D = ST$  la distance Terre-Soleil et  $A \in [ST]$  le centre de masse du système (figure 1). On définit le référentiel de Copernic  $(\mathcal{R}_c) = (A, \vec{u}_X, \vec{u}_Y, \vec{u}_Z)$  supposé galiléen. Dans ce référentiel, la Terre et le Soleil sont en rotation autour de  $A$  à la vitesse angulaire  $\omega$  calculée à la question 3 en prenant  $r = D$  et  $M = M_S + M_T$ . On définit alors le référentiel  $(\mathcal{R}) = (A, \vec{e}_x, \vec{e}_y, \vec{e}_z)$  animé d'un mouvement de rotation uniforme à la vitesse angulaire  $\omega$  autour de l'axe  $(Az)$  fixe dans  $(\mathcal{R}_c)$ .

On appelle points de Lagrange, les points d'équilibre gravitationnel dans le référentiel  $(\mathcal{R})$  précédent. On démontre qu'il en existe cinq notés  $L_1, L_2, L_3, L_4$  et  $L_5$ . Leurs positions sont fonction du rapport de masse

$$a = \frac{M_T}{M_S}$$

## Centrale Physique et Chimie 1 MP 2023 — Corrigé

Ce corrigé est proposé par Nicolas Nelson (ENS Ulm) et Alexandre Herault (professeur en CPGE) ; il a été relu par Étienne Martel (docteur en physique), Frédéric Barbosa (professeur agrégé) et Stéphane Ravier (professeur en CPGE).

---

Ce sujet propose l'étude de deux méthodes différentes d'atténuation du réchauffement climatique. Il est composé de deux parties indépendantes, chacune s'intéressant à l'une des méthodes proposées et se terminant par une évaluation du coût de mise en œuvre.

- La première partie s'intéresse à la possibilité d'installer, entre la Terre et le Soleil, un écran pour atténuer le rayonnement solaire. On étudie rapidement l'optique du problème pour se concentrer ensuite sur la dynamique des modules spatiaux qui portent l'écran, et déterminer en particulier la stabilité et la position du point de Lagrange  $L_1$  où est placé l'écran. Quelques questions de chimie sont présentes dans cette partie, notamment de cristallographie et d'oxydoréduction autour du dioxyde de titane, matériau qui pourrait être utilisé pour construire les modules. La fabrication des flyers se fait par électrolyse. Notons que la question 21, non guidée, est très difficile ; il fallait avoir l'idée de réaliser les bonnes considérations géométriques et mener le calcul technique rigoureusement.
- La seconde partie aborde la rénovation énergétique de bâtiments. Diffusion thermique et thermodynamique sont les principaux thèmes utilisés. L'étude se fait sur une copropriété dont les caractéristiques sont décrites, et on s'intéresse à quelques actions à court et moyen terme qui peuvent être envisagées pour réduire sa consommation énergétique et ses émissions de gaz à effet de serre.

Ce sujet a l'avantage de balayer une large partie du programme des deux années de prépa, comme l'optique, la mécanique du point, la dynamique en référentiels non galiléens, la résolution numérique d'équations différentielles, la cristallographie, l'oxydoréduction, la diffusion thermique et la thermodynamique. Il constitue un outil de révision complet et représentatif des épreuves du concours Centrale-Supélec.



CONCOURS CENTRALE-SUPÉLEC

4 heures

Calculatrice autorisée

MP

2023

# Physique-chimie 2

*Errare humanum est, perseverare diabolicum*

Ce sujet propose d'étudier deux découvertes qui finalement n'en furent pas ! Il est constitué de deux parties indépendantes.

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.

Les grandeurs complexes sont notées soulignées.

Certaines données numériques et un formulaire sont disponibles en fin d'énoncé ; d'autres données relèvent de l'initiative du candidat.

## I La chasse au péritio

En astronomie, les sursauts radio rapides (*fast radio burst*) sont de brèves émissions radio intenses, d'une durée allant d'une fraction de milliseconde à 3 secondes, dont l'origine est encore mal comprise. Ils sont étudiés à l'aide de radiotélescopes, comme celui de Parkes en Australie. En 2010, 16 sursauts atypiques ont été découverts, dont on a essayé de comprendre l'origine. Ils ont été appelés péritios (*perytions*), du nom de l'animal imaginaire maléfique, mi-oiseau et mi-cerf, au plumage bleu ou vert.

Après s'être intéressé à la structure d'un miroir de radiotélescope, on détaillera les péritios, pour en arriver à leur origine, finalement identifiée en 2015.

### I.A – Un miroir pour les ondes électromagnétiques

#### I.A.1)

**Q 1.** Énoncer les équations de Maxwell. Que deviennent-elles dans une région vide de charges et de courants ?

On se placera dans cette situation dans toute la sous-partie I.A.

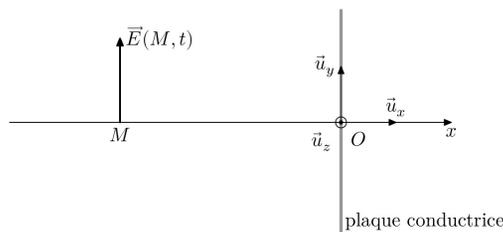
**Q 2.** En déduire l'équation de propagation vérifiée par le champ électrique (équation de d'Alembert).

On considère une onde électromagnétique dans le demi-espace  $x < 0$ , dont le champ électrique est de la forme

$$\vec{E}_i(M, t) = E_0 \cos(\omega t - kx) \vec{u}_y. \quad (I.1)$$

**Q 3.** Préciser la direction et le sens de propagation de cette onde ainsi que son état de polarisation. Établir la relation, dite relation de dispersion, entre  $k$  et  $\omega$ .

Cette onde rencontre une plaque métallique plane, constituée d'un conducteur parfait, dont la surface est située en  $x = 0$  (figure 1).



**Figure 1** Onde électromagnétique rencontrant un conducteur parfait

On rappelle les relations de passage du champ électromagnétique entre un milieu 1 et un milieu 2,

$$\vec{E}_2(M, t) - \vec{E}_1(M, t) = \frac{\sigma(M, t)}{\varepsilon_0} \vec{n}_{1 \rightarrow 2} \quad (I.2)$$

$$\vec{B}_2(M, t) - \vec{B}_1(M, t) = \mu_0 \vec{j}_s(M, t) \wedge \vec{n}_{1 \rightarrow 2} \quad (I.3)$$

## Centrale Physique et Chimie 2 MP 2023 — Corrigé

Ce corrigé est proposé par Étienne Martel (docteur en physique) et Alexandre Herault (professeur en CPGE) ; il a été relu par Nicolas Nelson (ENS Ulm), Frédéric Barbosa (professeur agrégé) et Stéphane Ravier (professeur en CPGE).

---

Ce sujet est composée de deux parties indépendantes, l'une de physique et l'autre de chimie. Il étudie deux découvertes qui, finalement, n'en furent pas.

- La première partie, de physique, se concentre sur l'électromagnétisme. Elle contient trois exercices. Le premier traite de la réflexion d'une onde à l'interface entre le vide et un conducteur parfait. On aborde ensuite la propagation d'une onde dans un plasma. Le dernier exercice reprend quelques aspects des conducteurs parfaits en étudiant ceux dont la conductivité est finie, ce qui permet de travailler sur les ondes évanescentes pénétrant dans un métal.
- Dans la seconde partie, consacrée à la chimie, on s'intéresse au potassium et au chlorate de potassium, qui est un constituant présent dans la pointe des allumettes. Cette partie, plus courte que la première, a pour thème central l'oxydoréduction. On étudie une électrolyse, un diagramme potentiel-pH et une réaction de précipitation. Les questions posées sont très classiques et ne présentent pas de difficulté particulière.

Ce sujet permet de bonnes révisions sur l'électromagnétisme, au niveau de la propagation, de l'absorption et de la dispersion des ondes dans des milieux autres que le vide. Il fallait être à l'aise avec la manipulation des champs complexes et réels associés, puisque le sujet passe plusieurs fois de l'un à l'autre. De même, la seconde partie est un très bon exercice d'entraînement pour réviser des thèmes classiques de la chimie dans la filière MP.

A2023 – PHYSIQUE I MP



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

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

CONCOURS 2023

PREMIÈRE ÉPREUVE DE PHYSIQUE

Durée de l'épreuve : 3 heures

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

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

PHYSIQUE I - MP

*L'énoncé de cette épreuve comporte 7 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 MP-MPI 2023 — Corrigé

Ce corrigé est proposé par Valentin Clarisse (École Polytechnique) ; il a été relu par Hector Abel (doctorant à l'École Polytechnique) et Frédéric Barbosa (professeur agrégé).

---

Le sujet porte sur les fonctions spéciales, une classe de fonctions mathématiques qui interviennent dans plusieurs problèmes physiques classiques. Elles correspondent en général à des quantités qu'on ne sait pas calculer, auquel cas l'étude de ces fonctions permet d'en établir des développements limités, des développements asymptotiques, etc. Le sujet se compose de trois parties indépendantes, chacune consacrée à l'étude d'un problème physique utilisant une fonction mathématique spéciale. Plusieurs parties du programme sont mobilisées : frottements linéaires, pendule, équation de la chaleur, changement d'état. Les deux premières parties comportent des programmes à rédiger dans le langage Python.

- La partie I s'intéresse à la chute d'une masse avec frottements linéaires, ce qui fait intervenir la fonction  $W$  de Lambert. L'objectif est le calcul de l'angle de tir pour optimiser la portée en présence de frottements linéaires.
- La partie suivante porte sur le pendule simple sans l'approximation des petits angles, en exploitant l'intégrale elliptique de première espèce.
- La dernière partie aborde le problème de Stefan, à l'aide de la fonction d'erreur de Gauss. L'objectif est la détermination de l'épaisseur d'une croûte de lave.

Ce sujet permet de réviser des exercices classiques, notamment le pendule simple sans l'approximation des petits angles, et des techniques usuelles sur les bilans thermiques. Il ne présente pas de difficulté conceptuelle. C'est un bon entraînement à la rapidité et à la rigueur, et l'occasion de vérifier que les fondamentaux sont solides.

## A2023 – PHYSIQUE II MP



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

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

CONCOURS 2023

DEUXIÈME ÉPREUVE DE PHYSIQUE

Durée de l'épreuve : 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 II - MP*

*L'énoncé de cette épreuve comporte 5 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 MP 2023 — Corrigé

Ce corrigé est proposé par Hector Abel (doctorant à l'École Polytechnique) ; il a été relu par Valentin Clarisse (École Polytechnique) et Steve Arneaux (professeur en CPGE).

---

Ce sujet a pour thème les déformations élastiques des ressorts et des solides déformables. Il aborde les propriétés macroscopiques puis microscopiques à l'origine de ces déformations, ainsi qu'une application expérimentale pour mesurer le mouvement brownien.

- Dans la partie I, on examine la réponse linéaire des ressorts élastiques à une sollicitation extérieure. On introduit la constante de raideur  $k$  qui mesure sa résistance à la déformation ainsi que le module d'élasticité  $E$ . On explore les propriétés fondamentales des ressorts élastiques et les associations de ressorts. On aborde ensuite le problème d'une tige élastique en rotation, qui s'allonge sous l'effet des forces centrifuges.
- La partie II généralise notre compréhension des déformations élastiques en abordant le module d'élasticité des solides déformables, en particulier le lien entre les propriétés macroscopiques et microscopiques des matériaux. Un modèle quantique permet de comprendre l'origine de l'énergie à fournir pour compresser un solide.
- Dans la partie III, une expérience met en relation les oscillations d'un ressort et l'agitation thermique du gaz dans lequel il est plongé. On étudie comment le mouvement brownien des particules du gaz entraîne les variations de longueur du ressort.

Ce sujet offre une exploration complète des déformations élastiques, en abordant à la fois les ressorts élastiques linéaires, les solides déformables et le mouvement brownien. Il n'est pas idéal pour tester ses connaissances de cours de manière exhaustive, mais il permet de revoir des notions de première année sur les ressorts et de refaire de la mécanique tout en étant très vigilant sur l'orientation des forces et les erreurs de signe. De plus, il introduit un modèle quantique à 3 dimensions et aborde la physique statistique. C'est l'occasion d'appliquer des concepts fondamentaux à des questions originales et complexes, en faisant preuve de rigueur dans les raisonnements et dans les calculs.

A2023 – CHIMIE MP



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

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

CONCOURS 2023

ÉPREUVE DE CHIMIE

Durée de l'épreuve : 1 heure 30 minutes

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 - MP*

*L'énoncé de cette épreuve comporte 5 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 MP 2023 — Corrigé

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

---

Ce problème a pour thème le complexe de chrome  $\text{CrO}_5$ . Il est composé de trois parties indépendantes.

- La première partie, la plus longue, comporte des études structurales de la molécule. On s'intéresse aux degrés d'oxydation possibles pour l'élément oxygène et plus particulièrement à la molécule de peroxyde d'hydrogène  $\text{H}_2\text{O}_2$  qui, comme le complexe étudié, comporte des atomes d'oxygène au degré +I.
- La deuxième partie étudie la formation de  $\text{CrO}_5$ . On écrit l'équation de réaction sans grande aide du sujet, puis une étude de l'absorbance de la solution est menée. La façon dont cette étude est conduite n'est pas classique. Elle utilise des grandeurs et des notations qui pouvaient dérouter les candidats. Les questions de cette partie sont souvent calculatoires et techniques.
- La troisième partie, la plus courte, traite de l'évolution cinétique des solutions aqueuses de  $\text{CrO}_5$ . On écrit de nouveau une équation de réaction, puis on mène une étude cinétique.

Cette épreuve, qui dure 1h30 seulement, est un exercice spécifique auquel il faut se préparer. Ce sujet est assez long mais de nombreuses questions dans la première partie ne nécessitent qu'une réponse concise et précise qu'il convenait de donner rapidement. La difficulté de cette épreuve est assez élevée en raison, notamment, d'équations de réaction non évidentes et pour lesquelles on n'est pas beaucoup guidé. Il est également regrettable que l'étude de l'absorbance ne soit pas faite de manière plus classique.

**ECOLE POLYTECHNIQUE  
ECOLES NORMALES SUPERIEURES**

**CONCOURS D'ADMISSION 2023**

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

**FILIERE MP - Epreuve n° 5**

**PHYSIQUE (XULSR)**

***Durée : 4 heures***

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

## X/ENS Physique MP 2023 — Corrigé

Ce corrigé est proposé par Jérôme Lambert (enseignant-chercheur) ; il a été relu par Jacques Ding (École Polytechnique) et Frédéric Barbosa (professeur agrégé).

---

Ce sujet porte sur l'énergie nucléaire. Il aborde d'abord la fusion (qui n'est pas encore une réalité industrielle), puis la fission. Les deux parties sont totalement indépendantes.

- Dans la partie I, on construit un modèle unidimensionnel de fusion nucléaire basé sur une description de l'effet tunnel, et l'on évalue l'impact sur le taux de réaction de différents paramètres tels que la température, la masse et la charge des particules. Cette partie repose sur les chapitres de physique quantique et statistique.
- Dans la seconde partie, on décrit le fonctionnement d'une centrale nucléaire en mettant l'accent sur l'échange thermique entre la source chaude et le fluide caloporteur. On étudie deux modèles qui permettent d'analyser l'influence de la rapidité du cycle sur le rendement, la puissance échangée et l'entropie créée. Les chapitres utilisés sont ceux portant sur les transferts thermiques et la thermodynamique en général.

Pour traiter ce sujet, une bonne connaissance du cours et une aisance en calcul étaient requises (puisque les calculatrices n'étaient pas autorisées). Par l'étendue du programme couvert, et parce que les deux parties sont très intéressantes et proposent des applications concrètes des résultats théoriques obtenus, ce problème – assez court et de difficulté raisonnable pour la banque X-ENS – constitue un excellent entraînement pour ce concours.

## **ECOLE POLYTECHNIQUE**

### **CONCOURS D'ADMISSION 2023**

**MARDI 18 AVRIL 2023**

**14h00 - 18h00**

**FILIERE MP - Epreuve n° 4**

**PHYSIQUE ET SCIENCES  
DE L'INGÉNIEUR (X)**

***Durée : 4 heures***

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

*Cette composition ne concerne qu'une partie des candidats de la  
filière MP, les autres candidats effectuant simultanément la composition  
d'Informatique A.*

*Pour la filière MP, il y a donc deux enveloppes de Sujets pour cette  
séance.*

# X Physique et Sciences de l'ingénieur MP 2023

## Corrigé

Ce corrigé est proposé par Jacques Ding (École Polytechnique) ; il a été relu par Jérôme Lambert (enseignant-chercheur) et Cyril Ravat (professeur en CPGE).

---

Le sujet traite du fonctionnement d'un laser continu et de son asservissement en fréquence. Les domaines abordés sont principalement les ondes électromagnétiques et la physique quantique.

- La partie 1 constitue l'essentiel du sujet. On étudie les principes physiques de fonctionnement d'un laser en régime permanent. On commence par des questions d'optique ondulatoire où les principales propriétés d'une cavité linéaire sont établies. On aborde ensuite l'interaction lumière-matière au sein du milieu amplificateur dans le modèle d'un système à deux états. Les connaissances en physique quantique sont mobilisées. Enfin, on s'intéresse aux équations caractéristiques du point de fonctionnement du laser.
- La seconde partie traite plus spécifiquement de l'asservissement du laser. Les chapitres d'asservissement et de correction de Sciences de l'ingénieur sont utilisés, sans toutefois nécessiter de développement approfondi.

Dans la continuité des épreuves de Physique et Sciences de l'ingénieur de l'X, ce sujet utilise les outils vus en cours pour aborder une thématique hors programme, ici le fonctionnement d'un laser. Aucune connaissance préalable sur ce dispositif n'est nécessaire, car les notions requises sont introduites progressivement par l'énoncé. Par ailleurs, les deux parties du sujet sont liées mais les résultats de nombreuses questions sont rappelés dans l'énoncé. Dans cette épreuve, les candidats ayant lu et compris le sujet dans sa globalité pouvaient anticiper les résultats demandés.