

BACCALAURÉAT GÉNÉRAL

PHYSIQUE – CHIMIE

Série S

Durée de l'épreuve : 3 heures 30

Coefficient : 8

L'usage de la calculatrice électronique est autorisé

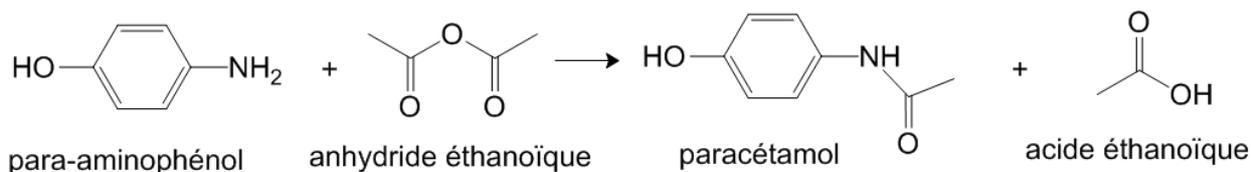
Ce sujet comporte 3 exercices présentés
sur 10 pages numérotées de 1 à 10, y compris celle-ci.

Exercice I : Synthèse du paracétamol (9 points)

Le paracétamol ou **para-acétyl-amino-phénol** est un antipyrétique, entre autres, synthétisé pour la première fois par Harmon Northrop Morse en 1878. Jusque-là les antipyrétiques étaient obtenus à partir de préparations réalisées avec des écorces de Cinchona ou de Saule. Le paracétamol découvert par Morse ne fut commercialisé qu'une cinquantaine d'années plus tard sous le nom de paracétamol.

Remarque : Le genre Cinchona rassemble en vérité une vingtaine d'espèces d'arbres ou d'arbustes, tous originaires d'Amérique du Sud.

La synthèse du paracétamol peut être réalisée au laboratoire à partir du para-aminophénol et de l'anhydride éthanoïque. L'équation de la réaction de la synthèse est la suivante :



Les différentes phases d'un protocole de synthèse sont décrites ci-après :

- **Phase n°1 :**

Dans un erlenmeyer de 150 mL, introduire 2,7 g de para-aminophénol, 25 mL d'eau distillée, 2 mL d'acide éthanoïque pur prélevés à la pipette graduée, et un barreau aimanté. Adapter sur l'erlenmeyer un réfrigérant à air et plonger pendant 10 minutes dans un bain-marie à 80°C placé sur un agitateur magnétique chauffant.

- **Phase n°2 :**

Ramener la solution à température ambiante puis, sous la hotte, enlever le réfrigérant à air et ajouter lentement 3,5 mL d'anhydride éthanoïque au mélange précédent. L'addition terminée, adapter le réfrigérant à air et placer à nouveau le mélange au bain-marie à 80°C pendant 10 minutes.

- **Phase n°3 :**

Refroidir le mélange réactionnel dans un bain d'eau glacée et attendre la cristallisation complète. Amorcer le cas échéant, la formation du paracétamol solide à l'aide d'un agitateur en verre. Filtrer les cristaux sur Büchner (sous pression réduite). Rincer le solide avec un minimum d'eau glacée, puis le récupérer dans un erlenmeyer.

- **Phase n°4 :**

Dans l'erlenmeyer contenant le solide, introduire au maximum 20 mL d'eau distillée et chauffer le mélange placé sur un agitateur magnétique chauffant jusqu'à dissolution complète du solide. Laisser refroidir lentement jusqu'à l'amorce de la cristallisation, puis la terminer dans un mélange eau-glace.

Filtrer sous pression réduite les cristaux obtenus et les récupérer dans une coupelle. Sécher les cristaux dans une étuve à 80 °C, puis peser le solide obtenu.

- **Phase n°5 :**

Éluant : mélange CHCl₃ (chloroforme) et CH₃OH (méthanol) ; 60/40 en volume.

Échantillons :

1 mL d'éluant + une pointe de spatule de 4-aminophénol.

1 mL d'éluant + une pointe de spatule de paracétamol synthétisé et purifié.

1 mL d'éluant + une pointe de spatule de paracétamol du commerce.

Révélation sous UV ($\lambda = 254 \text{ nm}$)

Données :

- *Électronégativité (échelle de Pauling) de quelques éléments chimiques :*

Numéro atomique	Nom	Symbole	Électronégativité (Pauling)
1	Hydrogène	H	2,20
6	Carbone	C	2,55
7	Azote	N	3,04
8	Oxygène	O	3,44

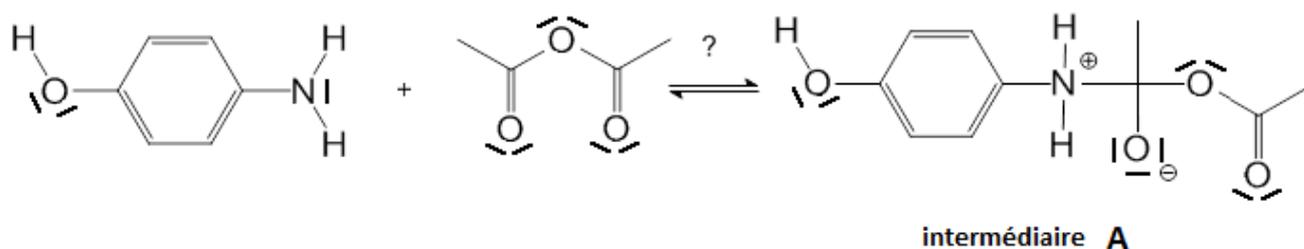
- *Données physico-chimiques*

Composé	Aspect à 25°C et sous 10 ⁵ Pa	Risques	Solubilité dans l'eau	Temp. de fusion en °C	Temp. d'ébullition en °C	Masse molaire en g.mol ⁻¹
Para-aminophénol	Solide blanc		8 g.L ⁻¹ à 20°C 33 g.L ⁻¹ à 60°C 85 g.L ⁻¹ à 100°C Solubilité accrue en solution aqueuse d'acide éthanoïque	186	284	109
Anhydride éthanoïque	Liquide incolore de densité 1,08		Réagit avec l'eau en donnant l'acide dont il est issu	- 73	136	102
Paracétamol	Solide blanc		10 g.L ⁻¹ à 20°C 250 g.L ⁻¹ à 100°C	168	388	151
Acide éthanoïque	Liquide incolore de densité 1,05		Très grande solubilité de 0 °C à 100 °C	17	118	60

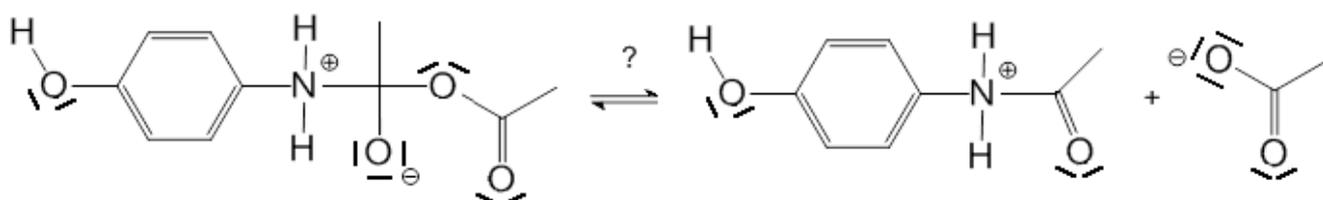
Questions :

1. Recopier, avec soin sur votre copie, les molécules de para-aminophénol et de paracétamol, et entourer les groupes caractéristiques sur ces deux molécules. Préciser les familles de composés qui leur sont associées.
2. Identifier, en justifiant votre réponse, les deux sites donneurs de doublets d'électrons présents sur la molécule de para-aminophénol.
3. Le mécanisme simplifié de la réaction de synthèse du paracétamol peut être modélisé par les trois étapes représentées en page suivante :

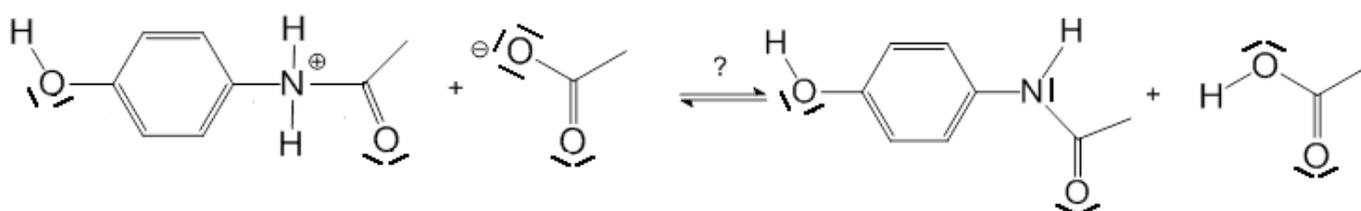
Étape n°1



Étape n°2



Étape n°3



3.1 Reproduire sur votre copie, l'étape n°1 de ce mécanisme et représenter la (ou les) flèche(s) courbe(s) qui rend(ent) compte de l'obtention de l'intermédiaire **A**. Justifier votre schéma.

3.2 Indiquer la catégorie de chacune des réactions des trois étapes du mécanisme.

4. Un autre déplacement de doublets d'électrons pourrait intervenir dans l'étape 1 et produire un intermédiaire **B** différent de l'intermédiaire **A**.

4.1 Représenter ce déplacement de doublets d'électrons, en reproduisant sur votre copie cette première étape qui conduirait à l'intermédiaire **B**.

4.2 A partir de cet intermédiaire **B**, et en supposant deux étapes analogues aux étapes 2 et 3, donner la formule topologique du produit final **E** qui serait alors formé.

5. En réalité, seul le paracétamol est obtenu lors de la mise en œuvre de ce protocole de synthèse. Quelle propriété possède donc cette réaction entre le para-aminophénol et l'anhydride éthanóique ?

6. Analyse du protocole expérimental.

6.1 Donner un nom à chacune des cinq phases du protocole expérimental de synthèse mis en œuvre au laboratoire.

6.2 À l'aide de vos connaissances et des documents fournis, justifier le choix des techniques utilisées dans les phases 3 et 4 du protocole expérimental, en rédigeant un texte précis et concis.

6.3 Déterminer la masse maximale de paracétamol qui peut être obtenue à partir du protocole expérimental mis en œuvre. Expliciter votre démarche pour la déterminer.

Exercice II : La nouvelle façon de se poser sur Mars (6 points)

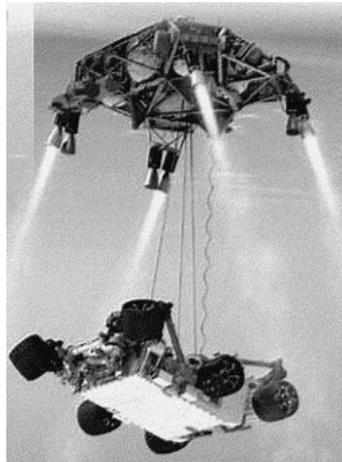
« Arrivé sur Mars le 6 août 2012, Curiosity, robot mobile (rover) de la NASA n'a pour le moment pas révolutionné notre connaissance de cette planète. Pourtant, l'agence spatiale américaine considère déjà la mission comme un immense succès. Pourquoi ? Parce qu'elle a réussi à faire atterrir sans encombre le plus gros rover de l'histoire de l'exploration martienne : longueur = 3 m ; largeur = 2,7 m ; hauteur = 2,2 m ; masse = 900 kg. Et qu'elle a ainsi démontré l'efficacité d'une nouvelle technique d'atterrissage automatique extraterrestre. Cette technique audacieuse a mis en œuvre une « grue volante » pour déposer tout en douceur le robot au bout de trois filins. [...]

Faire atterrir une sonde sur Mars est un exercice périlleux, comme l'ont prouvé les échecs de plusieurs missions. La dernière en date fût Beagle 2, qui s'est écrasée au sol en 2003.

La principale difficulté vient du fait que l'atmosphère martienne est très ténue : moins de 1% de la pression de l'atmosphère terrestre. Résultat, l'utilisation d'un bouclier thermique, qui tire parti de la friction sur les couches atmosphériques, puis d'un parachute de très grande taille, comme on le fait pour le retour d'engins sur Terre, ne suffit pas pour freiner l'engin. Il faut faire appel à un autre dispositif pour le ralentir encore un peu plus et le poser sans danger. [...]

Dans la tête des ingénieurs de la NASA a émergé alors une [nouvelle] idée. Elle était inspirée par les hélicoptères de l'armée américaine baptisés « grue volante », capables de transporter et de déposer au sol des charges de plusieurs tonnes à l'extrémité d'un filin. Dans la version spatiale de cette grue volante, c'est un étage de descente propulsé par huit rétrofusées qui joue le rôle de l'hélicoptère ».

D'après La recherche n°471- Janvier 2013



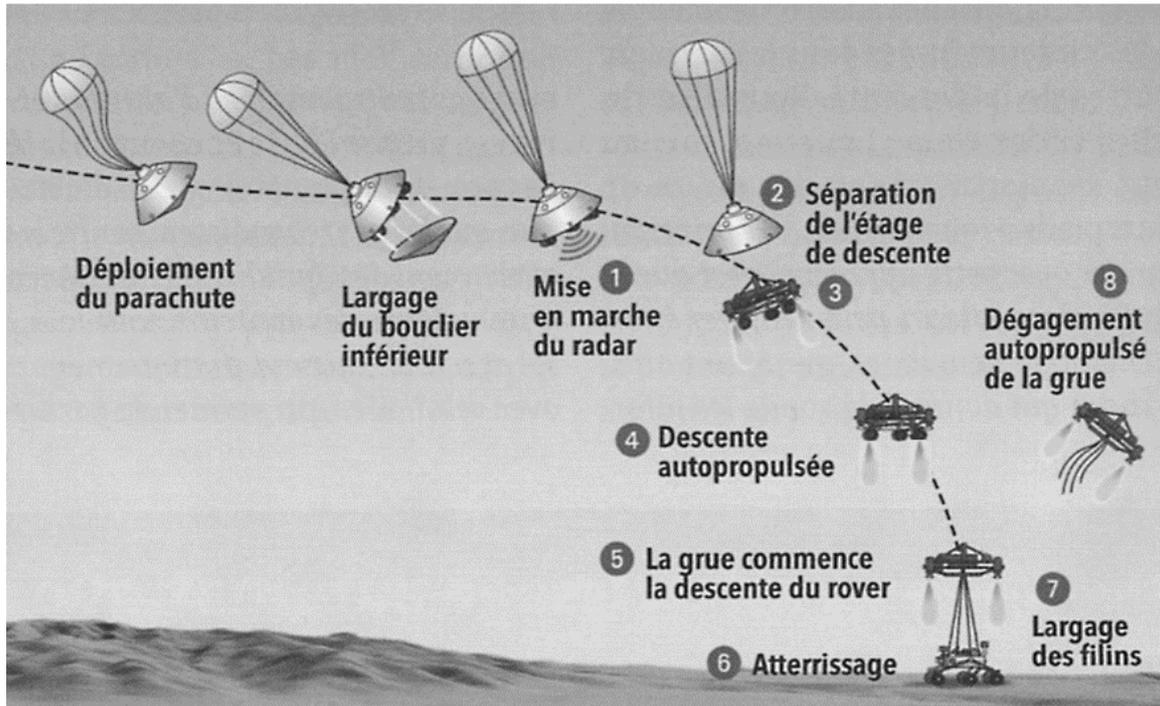
Les 3 parties de cet exercice sont indépendantes.

Données :

Célérité de la lumière dans le vide : $c = 3,0 \times 10^8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$

Champ de pesanteur au voisinage de la surface de Mars : $g = 3,7 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$

Document 1 : Les principales étapes de l'atterrissage de Curiosity sur Mars.



Après sa descente sous un parachute, la capsule allume son radar pour contrôler sa vitesse et son altitude (1). À 2 kilomètres d'altitude et à une vitesse de 100 mètres par seconde, l'étage de descente, auquel est rattaché le rover, se sépare de la capsule (2) et allume ses 8 moteurs fusées (3) pour ralentir jusqu'à faire du « quasi-surplace » (4). À 20 mètres du sol, l'étage de descente a une vitesse de 75 centimètres par seconde seulement, il commence alors à descendre le robot au bout de trois filins de 7,50 mètres (5). L'engin dépose Curiosity en douceur (6). Les filins sont coupés, ainsi que le « cordon ombilical » qui permettait à l'ordinateur de bord du rover de contrôler la manœuvre (7). L'étage de descente augmente alors la poussée de ses moteurs pour aller s'écraser à 150 mètres du lieu d'atterrissage (8).

D'après *La recherche* n°471- Janvier 2013

1. La descente autopropulsée.

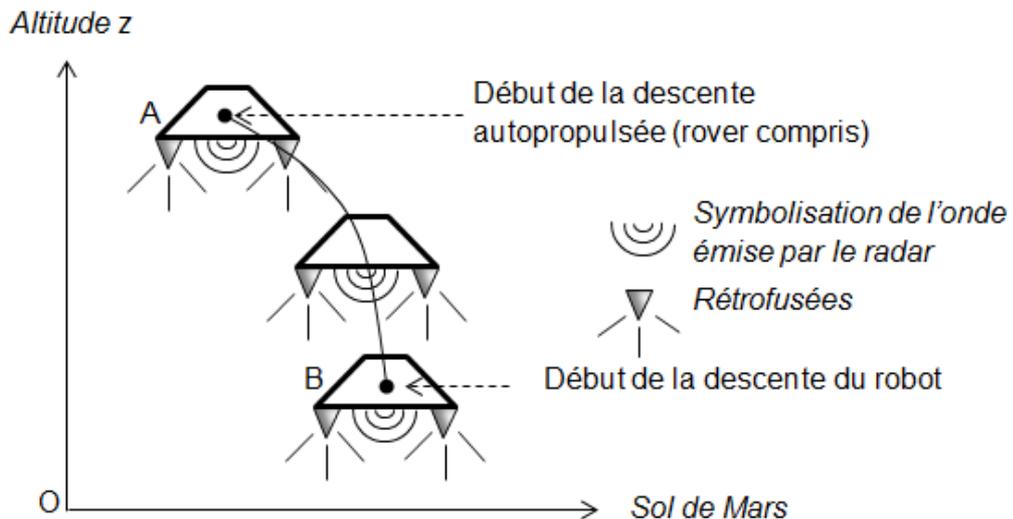


Figure 1

On admet que la masse m de l'étage de descente (rover compris) reste à peu près constante lors de la descente et vaut environ $2,0 \times 10^3$ kg, et que le champ de pesanteur martien \vec{g} est uniforme durant cette phase.

- 1.1. Établir l'expression du travail du poids $W(\vec{P})$ de l'étage de descente, lors de son déplacement du point A au point B définis sur la figure 1 de la page précédente, en fonction de m , g , AB et de l'angle (\vec{P}, \overline{AB}) noté θ .
- 1.2. En s'appuyant sur un schéma, établir l'expression du travail du poids $W(\vec{P})$ en fonction notamment des altitudes z_A et z_B , respectivement du point A et du point B.
- 1.3. Déterminer la valeur du travail du poids entre A et B et commenter son signe.
- 1.4. Évolution de l'énergie mécanique de l'étage de descente.
 - 1.4.1. Déterminer la valeur de l'énergie mécanique E_m de l'étage de descente au point A et au point B.
 - 1.4.2. L'énergie mécanique de l'étage de descente évolue-t-elle au cours du mouvement entre les points A et B ? Interpréter qualitativement ce résultat.

2. Les secondes les plus longues de la mission.

À partir des données du document 1 et en faisant différentes hypothèses, estimer la durée Δt de la phase de descente du robot entre le moment où la grue commence à le descendre et son atterrissage sur le sol martien.

Toute initiative prise pour résoudre cette question, ainsi que la qualité de la rédaction explicitant la démarche suivie seront valorisées.

3. Dégagement autopropulsé de l'étage de descente désolidarisé du rover.

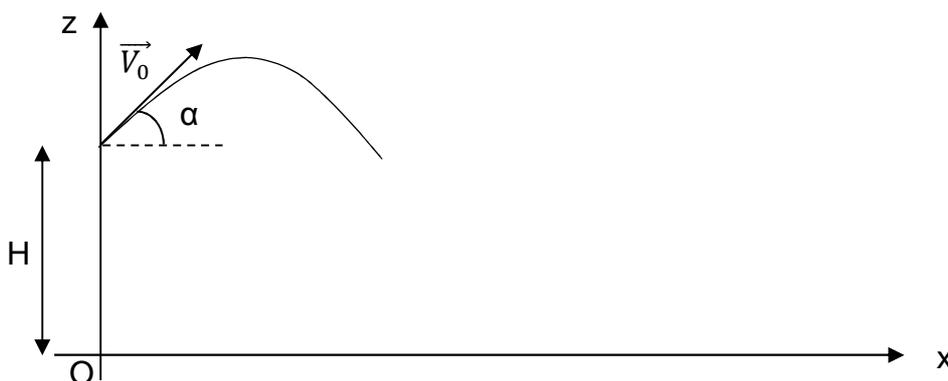
Une fois le rover déposé, la poussée des moteurs augmente et propulse verticalement l'étage de descente jusqu'à une altitude de 50 m au-dessus du sol martien. L'étage s'incline alors d'un angle de 45° par rapport à l'horizontal et les moteurs se coupent.

- 3.1. À partir du moment où les moteurs se coupent, l'étage de descente a un mouvement de chute libre. Justifier.
- 3.2. A l'aide des informations données sur l'équation de la trajectoire d'un mouvement de chute libre, déterminer la valeur de la vitesse initiale V_0 minimale permettant d'écarter l'étage de descente d'au moins 150 m du lieu d'atterrissage du rover.

Donnée :

Dans un champ de pesanteur uniforme, l'équation de la trajectoire d'un mouvement de chute libre avec vitesse et altitude initiales s'écrit :

$$z(x) = -\frac{g x^2}{2 V_0^2 \cos^2 \alpha} + x \tan \alpha + H$$



Exercice III : Effet piézoélectrique (5 points)

La déformation, sous l'effet d'une action mécanique, de certains cristaux ou céramiques dits anisotropes, induit l'apparition d'une tension électrique U ; c'est l'effet piézoélectrique direct, découvert en 1880 par Pierre et Jacques Curie.

Document 1 : Modélisation simplifiée de l'effet piézoélectrique au niveau microscopique

Un cristal entier est constitué d'un empilement régulier de petits arrangements qui se répètent dans les trois directions de l'espace.
Considérons au niveau microscopique, un arrangement d'anions et de cations schématisé sur la figure 1, tel qu'il peut en exister dans un cristal.

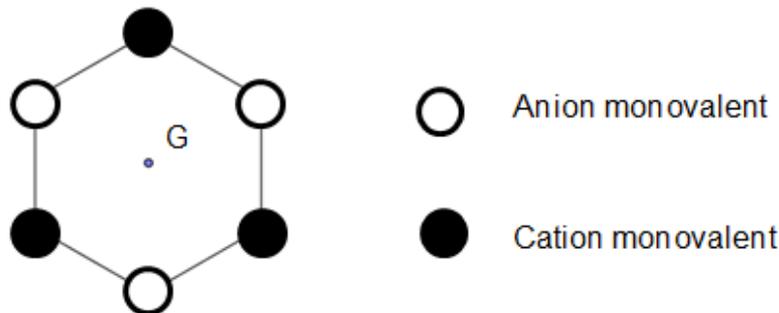


Figure 1 : exemple d'arrangement d'anions et de cations dans un cristal

Quand aucune contrainte mécanique n'agit sur le cristal, pour chaque arrangement élémentaire, le « centre » des charges électriques positives coïncide avec celui des charges électriques négatives (point G sur la figure 1). En revanche, dès que le cristal est comprimé, cette coïncidence disparaît, comme le montre le schéma de la figure 2 (points G^+ pour les charges positives et G^- pour les charges négatives). Cette compression est modélisée par deux forces opposées de même module F ; la séparation est d'autant plus importante que la compression est grande.

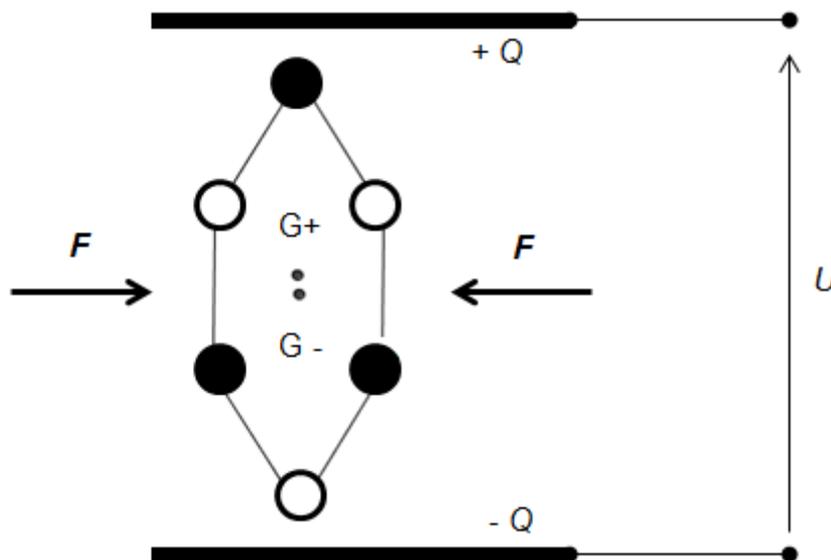


Figure 2 : soumis à une compression, le cristal se déforme et une tension électrique U apparaît : c'est l'effet piézoélectrique direct.

Cette dissymétrie des « centres » de charges électriques pour chaque arrangement élémentaire conduit à l'apparition de charges électriques sur les faces extérieures du cristal, générant ainsi un champ électrique. Une tension électrique U , mesurable, apparaît alors entre les deux surfaces extérieures du cristal. En pratique, ces surfaces sont métallisées pour permettre les connexions nécessaires à l'utilisation du cristal dans un circuit électronique.

Document 2 : Caractéristiques du fonctionnement d'un capteur piézoélectrique au niveau macroscopique.

Le capteur photographié sur la figure 3 un comportement un peu différent du cristal décrit en introduction.

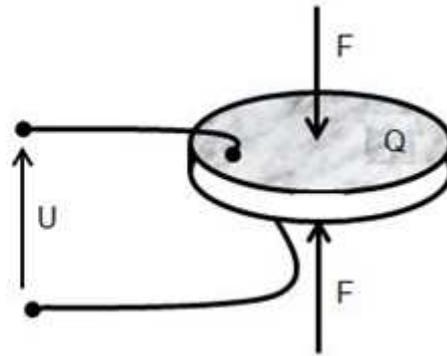
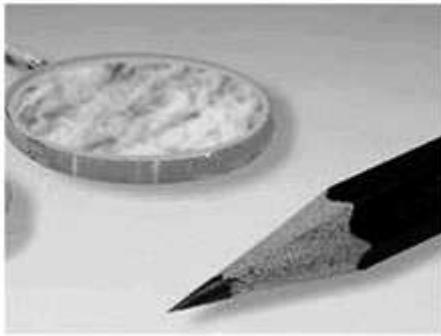


Figure 3 : exemple de capteur de force piézoélectrique prêt à être incorporé dans un circuit électrique.

D'après <http://www.hbm.com>

En effet, les charges électriques apparaissent **sur** les faces soumises à l'action mécanique modélisée par les deux forces opposées de module F ; une charge électrique $+Q$ ($Q > 0$) apparaît sur la face supérieure tandis qu'une charge $-Q$ apparaît sur l'autre face. Le module F de la force et la charge Q sont proportionnels ; le coefficient de proportionnalité β est appelé constante piézoélectrique.

$$\beta = 5 \times 10^{-5} \text{ C} \cdot \text{N}^{-1} \text{ pour le capteur de la figure 3.}$$

La charge Q est également proportionnelle à la tension électrique U qui apparaît entre les deux faces : $Q = CU$ où la charge Q est exprimée en coulomb et la tension électrique U en volt.

$$C = 125 \times 10^{-12} \text{ F (farad) pour le capteur de la figure 3.}$$

Document 3 : Exemples de matériaux piézoélectriques et d'utilisations de ces matériaux

Les cristaux naturels ne sont pas les seuls à présenter des propriétés piézoélectriques. Les céramiques dites techniques, qu'il ne faut pas confondre avec celles dédiées à la céramique d'art ou à la porcelaine, du type zircotitanate de plomb (PZT) en particulier ou des polymères, tel le polyvinylidène difluoré (PVDF), présentent aussi d'excellentes propriétés piézoélectriques. Toutefois, pour que ces propriétés apparaissent, ces matériaux nécessitent au préalable un traitement particulier.

Les utilisations des céramiques techniques et des polymères sont tellement nombreuses qu'il n'est pas possible ici d'en dresser la liste, d'autant que leurs propriétés ne se résument pas à la seule piézoélectricité. On peut néanmoins, de ce dernier point de vue, citer quelques exemples d'applications rassemblées dans le tableau suivant :

Utilisations des matériaux piézoélectriques	Fonction	Où les trouve-t-on ?
Transducteurs électro-acoustiques	Conversion d'une onde acoustique en signal électrique et inversement.	Microphone ; haut-parleur ; sonar ; échographe ; radar de recul...
Capteurs de force ou de pression	Conversion d'une action mécanique en signal électrique.	Dynamomètre ; balance ; accéléromètre ; manomètre, baromètre ; airbag ; manette de jeu vidéo...

Résolution de problème

On souhaite utiliser le capteur piézoélectrique de la figure 3, connecté aux bornes d'un voltmètre, pour mesurer des niveaux d'intensité sonore.

Données :

- Relation entre l'intensité sonore I , en un point M du milieu de propagation, et l'amplitude de la pression acoustique p en ce point :

$$I = \frac{p^2}{2\rho c}$$

Où ρ désigne la masse volumique du milieu de propagation et c la célérité de l'onde sonore dans ce milieu.

- Valeurs de l'intensité sonore de référence I_0 et de p_0 l'amplitude de la pression acoustique de référence liée à I_0 .

$$I_0 = 1,0 \times 10^{-12} \text{ W}\cdot\text{m}^{-2} ; p_0 = 2 \times 10^{-5} \text{ Pa.}$$

- Niveaux d'intensité sonore :

130 dB	Seuil intolérable
120 dB	Réacteur d'avion à 10 m
110 dB	Atelier de chaudronnerie
100 dB	Marteau-piqueur à 2 m
90 dB	Atelier de tissage
80 dB	Rue bruyante
60 dB	Conversation vive
50 dB	Musique douce
40 dB	Conversation normale
30 dB	Résidence tranquille

D'après <http://www.developpement-durable.gouv.fr>

Questions préalables

- Représenter le champ électrique macroscopique généré par l'apparition des charges électriques sur les faces extérieures du cristal schématisées sur la figure 2.
- Montrer que le niveau d'intensité sonore L et la pression p sont reliés par la relation :

$$L = 20 \log \frac{p}{p_0}$$

Problème.

- On connecte le capteur piézoélectrique de la figure 3 aux bornes d'un voltmètre.

Évaluer l'ordre de grandeur de la tension électrique U affichée par le voltmètre quand le capteur piézoélectrique est soumis à un son d'intensité sonore $L = 50$ dB, placé à 50 cm d'une source sonore ?

Peut-on prévoir d'utiliser ce capteur pour réaliser un sonomètre ?

Remarque : Le candidat doit faire preuve d'initiatives. L'analyse des données, la démarche suivie et l'analyse critique seront évaluées. Elles nécessitent d'être correctement présentées.