

## CONCOURS GÉNÉRAL DES LYCÉES

—

SESSION 2015

—

**SCIENCES PHYSIQUES ET CHIMIQUES EN LABORATOIRE**

(Classes de terminale STL)

PREMIERE PARTIE

Durée : 5 heures

—

*L'usage de la calculatrice est autorisé***Consignes aux candidats**

- Utiliser un stylo foncé
- N'utiliser ni colle, ni agrafe
- Numéroté chaque page en bas à droite (numéro de page / nombre total de pages)
- Sur chaque copie, renseigner l'en-tête + l'identification du concours :

Concours

C	G	L
---	---	---

Section/Option

C	G	L	Y	C
---	---	---	---	---

Epreuve

C	O	M	P	O
---	---	---	---	---

Matière

S	P	C	L
---	---	---	---







## Thème général : Sciences et science-fiction

D'après le dictionnaire Larousse, « *la science-fiction est un genre littéraire ou cinématographique qui invente des mondes, des sociétés et des êtres situés dans des espaces temps fictifs (souvent futurs) impliquant des sciences, des technologies* ». Le Petit Robert définit quant à lui la science-fiction comme « *un genre littéraire qui fait intervenir le scientifiquement et technologiquement possible dans l'imaginaire romanesque* ».

Les films de science-fiction ne manquent donc pas de s'emparer de propriétés scientifiques et d'objets technologiques pour les extrapoler parfois au-delà de la réalité. C'est le cas pour les héros et super-héros de ces films, à travers l'usage de capacités physiques, physiologiques et psychiques hors du commun ou de technologies innovantes très audacieuses.

L'épreuve se propose de s'interroger sur la réalité scientifique, physique et chimique, de quelques prouesses ou objets utilisés par deux super-héros : le premier est *le jedi Obi Wan Kenobi*, héros de *Star Wars*, qui fait appel d'une part à la nature et d'autre part à la technologie pour marcher sur les parois verticales et respirer sous l'eau, le second est *Spiderman*, qui arrête une rame de métro lancé à pleine vitesse et utilise des fils pour se déplacer ou agir, fils semblables à ceux produits par les araignées.

- |    |   |    |
|----|---|----|
| A. | <i>Star Wars – Épisode III : chevauchée sur les parois de Pau City</i> -----        | 2  |
| B. | <i>Star Wars - Episode III : plongée au fond du gouffre</i> -----                   | 6  |
| C. | <i>Spiderman contre le docteur Octopus : arrêt de la rame du métro aérien</i> ----- | 11 |
| D. | <i>Spiderman : des fils semblables à ceux d'une toile d'araignée</i> -----          | 16 |

### Recommandations pour les candidats

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

*Il est souhaitable qu'un futur lauréat du concours général montre sa maîtrise dans les différents domaines de la chimie et de la physique. Il lui est donc fortement conseillé d'aborder toutes les parties.*

*La qualité de l'argumentation scientifique, les initiatives et l'analyse critique des résultats seront valorisées.*

## Données

Accélération de la pesanteur :  $g = 9,81 \text{ m.s}^{-2}$

Constante des gaz parfaits :  $R = 8,314 \text{ J.mol}^{-1}.\text{K}^{-1}$

Masse molaire atomique de l'oxygène :  $M(\text{O}) = 16 \text{ g.mol}^{-1}$

Charge d'une mole d'électrons :  $Q = 96500 \text{ C}$

Distance : 1 mile = 1609,344 m

Pression : 1 pascal = 1 newton par mètre-carré

## A. Star Wars – Épisode III : chevauchée sur les parois de Pau City

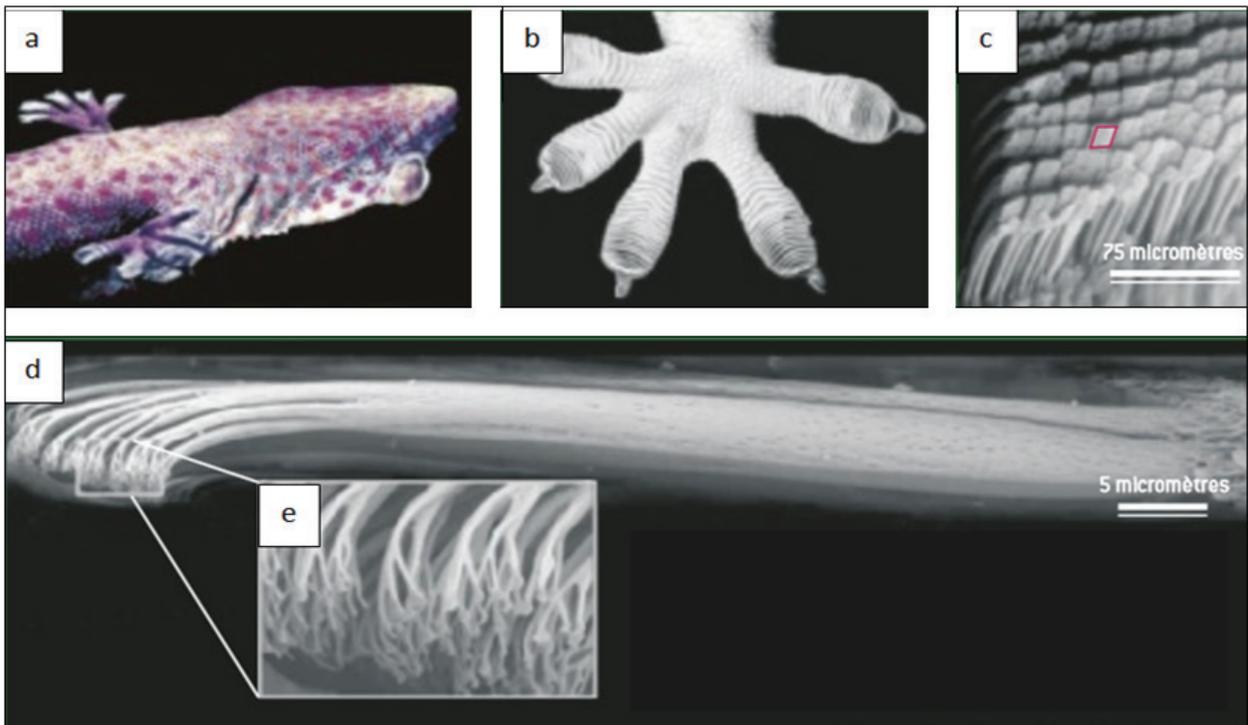
Juste avant l'exécution de l'Ordre 66, demandée par Palpatine aux soldats clones, le Jedi Obi-Wan Kenobi utilise une femelle Varactyl du nom de Boga pour parcourir les parois de Pau City afin de mettre un terme aux agissements du Général Grievous. Boga permet, à Obi-Wan qui le chevauche, de grimper sur les parois très obliques presque verticales sans effort.



La capacité de Boga à marcher sur les parois est-elle envisageable d'un point de vue scientifique ?

Pour répondre à cette question, nous allons étudier l'exemple du gecko, petit lézard capable de grimper sur des murs et des plafonds de natures très différentes, de coller et de décoller ses pattes en quelques millisecondes, pouvant ainsi se déplacer à des vitesses atteignant plusieurs mètres par seconde. Ce défi du gecko aux lois de la pesanteur fascine les scientifiques.

### Document 1 : structure des pattes du gecko - Photographies de Kellar Autumn



Le système adhésif des geckos (a) a une structure hiérarchisée. Le gecko possède 4 pattes, et chaque patte comporte 5 orteils (b). Les orteils "fractals" du gecko sont recouverts par des millions de poils appelés sétules, composés de kératine et disposés en une sorte de quadrillage (c). À leur extrémité, ces sétules (d) se scindent eux-mêmes en poils encore plus fins, appelés spatules (e), se terminant par une structure en forme de spatule, d'où leur nom.

Un sétule mesure 110 micromètres de long pour 4 micromètres de large. Chaque sétule contient plusieurs centaines de spatules mesurant 200 nanomètres de long et de large. La surface d'une patte (orteils + voute plantaire) de gecko en contact avec une paroi lisse est environ celle d'un carré de 1 cm de côté. On dénombre 15 000 sétules par  $\text{mm}^2$  de patte. Cette anatomie particulière permet à un gecko de 50 g de résister à une force de traction de près de 20 N ! À titre de comparaison, c'est comme si un homme de 80 kg supportait une masse de 3,2 tonnes. Cette adhérence exceptionnelle fonctionne sur n'importe quel type de surface, lisse ou rugueuse, et même sous l'eau.

## Document 2 : les hypothèses successives pour expliquer les propriétés particulières d'adhésion du gecko

Une des premières hypothèses est de considérer la succion, c'est-à-dire un effet de ventouse. Mais cette hypothèse a déjà été écartée il y a longtemps car des chercheurs ont montré que les pattes des geckos adhéraient même sous vide.

La deuxième hypothèse s'appuie sur l'idée que les spatules agiraient comme des micro-crochets qui pourraient profiter des aspérités de la surface pour ancrer l'animal. Là aussi ce mécanisme a été écarté.

La troisième hypothèse repose sur les forces capillaires que pourrait créer une fine pellicule d'eau entre la surface et la patte du gecko. Il s'agit en gros du même principe qui fait que le rideau de douche adhère au carrelage quand il est mouillé. Cette hypothèse a semble-t-il tenu assez longtemps, mais a été récemment contredite par des expériences menées par l'équipe de Kellar Autumn (Lewis & Clark College - Portland - Oregon) qui ont permis de montrer que le gecko est insensible à la nature de la surface à laquelle il se colle : les pattes de gecko adhèrent même aux surfaces lisses super-hydrophobes, comme l'arséniure de gallium (GaAs).

C'est seulement en 2000 que des chercheurs américains ont publié un article dans lequel ils décrivent le mécanisme d'adhésion du gecko aux murs par les forces de Van der Waals. Les spatules permettent aux pattes du gecko d'aller « coller » à une surface par des forces de Van der Waals car elles approchent la surface à une échelle nanométrique, condition nécessaire à l'existence des forces de Van der Waals qui ne sont significatives qu'à courtes distances. Ce sont des interactions de nature électrostatique qui ont lieu entre les nuages électroniques des atomes : la déformation du nuage électronique d'un atome peut créer une polarisation de l'atome (un côté sera chargé positivement  $\delta^+$  et l'autre négativement  $\delta^-$ ). Si l'extrémité des sétules du gecko rencontre une surface, il arrivera par moments que le côté  $\delta^+$  de l'atome du sétule en contact avec la surface rencontre un côté  $\delta^-$ , les charges étant opposées, les deux côtés s'attireront, c'est le principe des liaisons intermoléculaires qui assurent la cohésion de la matière.

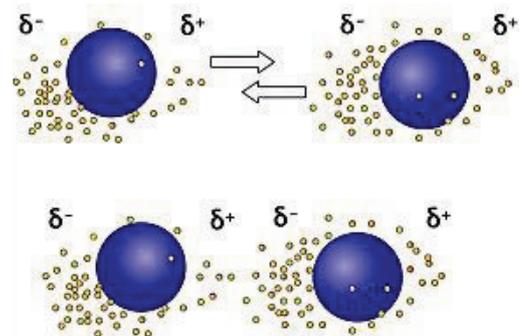
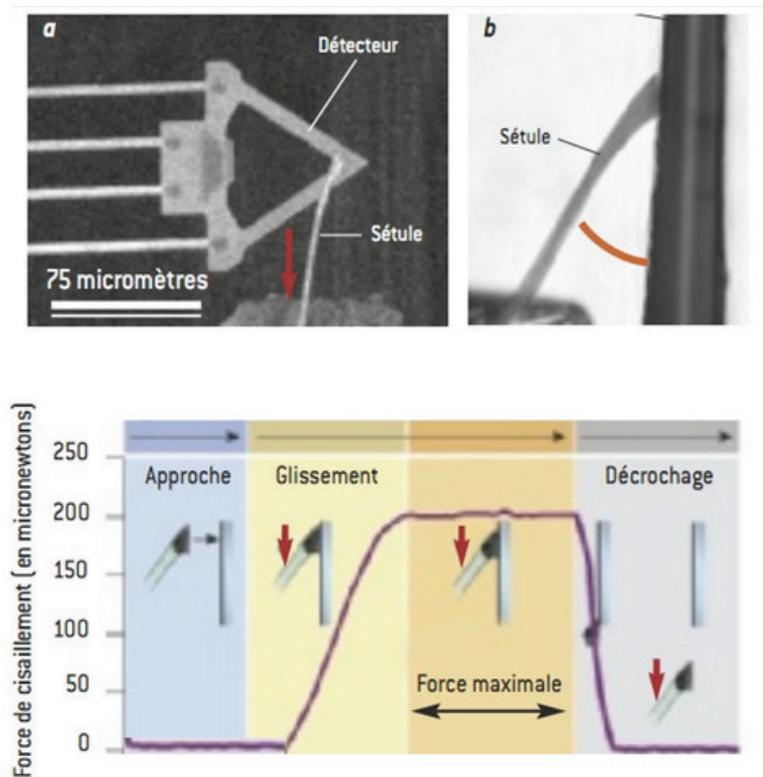


Schéma de l'attraction électrique entre deux atomes

### Document 3 : résultats des expériences menées par l'équipe de Kellar Autumn

À l'aide d'un microdétecteur électromécanique, l'équipe de Kellar Autumn a réalisé des expériences sur les sétules des geckos, afin de mesurer la valeur maximale de la force de cisaillement que peut supporter un unique sétule, tout en restant collé à la surface verticale. La force de cisaillement est une force qui s'applique de manière tangentielle ou parallèle à une face d'un matériau, cette force s'oppose au glissement. L'expérience consiste à faire adhérer un sétule au microdétecteur, puis à le tirer parallèlement à la surface de celui-ci, afin de pouvoir ainsi mesurer cette force. Une courbe résumant les résultats de cette expérience est donnée ci-dessous. On constate également que l'angle entre la surface et le sétule détermine la force de cisaillement, et que lorsque cet angle est supérieur à  $30^\circ$ , le sétule se détache de la surface. Ainsi, lors du mouvement de rotation de la patte du gecko, les poils doivent changer d'orientation, ce qui décolle les sétules de la surface.



Résultats des mesures de forces de cisaillement réalisées sur un unique sétule

### Document 4 : des expériences sur le gecko de Kellar Autumn aux applications industrielles

Une équipe de chercheurs est parvenue à concevoir un adhésif dont seulement  $40 \text{ cm}^2$  posés sur une surface verticale peuvent supporter près de 317 kg, prouesse encore jamais réalisée à une telle échelle. Cet adhésif est essentiellement composé d'un polymère très commun, le polydiméthylsiloxane (PDMS), souvent présent dans les shampoings ou encore utilisé comme additif alimentaire (E900), agent anti-moussant dans les boissons. C'est un polymère très prometteur pour le développement d'un adhésif puissant, réversible, durable et peu onéreux. Les principaux problèmes rencontrés pour le reproduire à plus grande échelle sont la faible durée de vie de poils conçus artificiellement qui ne peuvent se renouveler, ainsi que la difficulté à reproduire la capacité qu'ont les geckos à se coller et se décoller à volonté, et ce jusqu'à plus de 10 fois par seconde.

1. En utilisant les données du document 1, estimer le nombre total de sétules d'un gecko.
2. D'après les résultats des expériences de l'équipe de Kellar Autumn, déterminer la valeur de la force verticale maximale que peut supporter un sétule sans se détacher de la paroi. Si chaque sétule du gecko est capable de résister à cette force, déterminer alors quelle serait en théorie la valeur de la force verticale qui déclencherait la rupture de l'adhésion d'un gecko se trouvant sur une paroi verticale.
3. Quelle masse maximale pourrait en théorie soutenir un gecko placé sur une surface verticale ?
4. En fait, le gecko a une force d'adhésion maximale réelle de 20 N (voir le document 1). En déduire le pourcentage de sétules réellement actifs pour que le gecko adhère à la surface verticale avec une telle force.
5. À l'aide d'un raisonnement quantitatif, justifier la phrase suivante du document 1 : " À titre de comparaison c'est comme si un homme de 80 kg supportait une masse de 3,2 tonnes".
6. Expliquer le principe de fonctionnement d'une ventouse en quelques phrases, et à l'aide d'un schéma. Expliquer pourquoi l'intervention de l'effet de ventouse, évoqué dans la première hypothèse du document 2 pour expliquer les propriétés d'adhésion du gecko, a été rejetée par les scientifiques.
7. Pourquoi la deuxième hypothèse du document 2 n'est-elle pas valide ?
8. Finalement, les forces de Van der Waals sont responsables de l'adhésion des geckos aux surfaces. Entre deux surfaces planes séparées d'une distance  $D$ , la force d'attraction de Van der Waals notée  $F$ , rapportée à l'unité de surface en interaction et exprimée en conséquence en  $\text{N}\cdot\text{m}^{-2}$ , a pour expression :  $F = \frac{C}{6D^3}$  où  $C$  est une constante. Établir l'inventaire des forces agissant sur le gecko de masse  $m$ , immobile suspendu au plafond, et appliquer la première loi de Newton pour en déduire l'expression littérale de la surface de contact, notée  $S$ , du gecko avec le plafond.
9. En déduire la valeur de la surface de contact  $S$  pour un gecko de 50 g sachant que  $C = 10^{-19} \text{ N}\cdot\text{m}$  et  $D = 3\cdot 10^{-10} \text{ m}$  (distance usuelle entre deux atomes). Présenter le résultat en ne gardant qu'un seul chiffre significatif.
10. En déduire le nombre de spatules nécessairement sollicitées par les pattes du gecko pour qu'il puisse tenir au plafond.
11. Le gecko étudié possède 750 spatules par sétule. En évaluant le nombre de sétules sollicitées lors de l'adhésion du gecko de 50 g au plafond, déterminer le pourcentage de spatules parmi celles des sétules collés qu'utilise donc le gecko pour se maintenir sur une surface lisse. Commenter.
12. En émettant l'hypothèse que Boga posséderait des pattes en peau de gecko, présenter un raisonnement argumenté permettant de répondre à la question posée : est-il possible pour Boga d'escalader les murs aussi facilement avec Obi-Wan sur son dos ?

*Indication : on supposera que la surface totale de contact de Boga avec les parois est équivalente à la surface d'un disque de rayon 50 cm et que la masse de Boga et Obi-Wan est estimée à une tonne. À la lumière des résultats précédents concernant le système d'adhésion du gecko, réaliser les calculs nécessaires pour pouvoir conclure.*

13. Au cours d'une ascension verticale effectuée à une vitesse constante de valeur égale à  $8 \text{ m.s}^{-1}$ , lors d'une course effrénée avec le général Grievous, Boga et Obi-Wan chutent soudainement de 4 m avant de se rattraper à la paroi. Développer une démarche scientifique permettant de conclure sur la possibilité pour Boga et Obi-Wan de s'arrêter sur une distance de moins de 3 m, distance qui les sépare d'un précipice.

*Indication : déterminer tout d'abord la vitesse atteinte au moment où ils se rattrapent à la paroi puis la force de frottement supposée constante nécessaire pour les stopper.*

14. Imaginer quelques applications technologiques possibles des recherches conduites par les scientifiques pour reproduire le mécanisme d'adhésion du gecko.

## B. Star Wars - Episode III : plongée au fond du gouffre

N'arrivant finalement pas à se maintenir sur la paroi, Obi-Wan chute dans un lac au fond du gouffre. Pour s'échapper, il lui faut nager sous les eaux du lac souterrain et il fait usage pour ceci d'un petit dispositif qui lui permet de respirer sous l'eau. Ce dispositif apparaît déjà lors de l'épisode I (The Phantom Menace) au cours duquel Obi-Wan rejoint la cité immergée d'Otoh Gunga. Il suffit de le placer dans la bouche et voilà que l'on peut respirer normalement sous l'eau ; de l'eau douce a priori dans les situations envisagées, puisqu'Otoh Gunga est sous un lac et que l'eau au fond des gouffres est généralement issue des ruissellements d'eau de pluie. Dans les lacs, la concentration en dioxygène est de l'ordre de  $300 \mu\text{mol.L}^{-1}$ .



Le document 5 regroupe quelques données disponibles sur l'encyclopédie libre Wookiepédia<sup>1</sup> à propos de ce respirateur subaquatique.

### Document 5 : Caractéristiques du A99 Aquata Breather

- Masse : 200 g
- Autonomie : 2 h
- Principe de fonctionnement : le dispositif permet la respiration en milieu aquatique (mais également dans l'espace) par filtration des gaz présents dans l'environnement et association des gaz filtrés avec du dioxygène issu d'un réservoir miniature de  $10 \text{ cm}^3$  où il est stocké sous forme comprimée.

source : [http://starwars.wikia.com/wiki/A99\\_aquata\\_breather](http://starwars.wikia.com/wiki/A99_aquata_breather) (2014) ; Star Wars : The Complete Visual Dictionary (2006)

<sup>1</sup> Wookiepédia est une encyclopédie collaborative et multilingue sur l'univers de Star Wars fonctionnant sur le principe du wiki.

# I. Réalisme d'un dispositif de respiration subaquatique

## 1. Extraction de gaz dans l'eau par utilisation d'une membrane

On s'intéresse dans un premier temps au dispositif d'extraction des gaz.

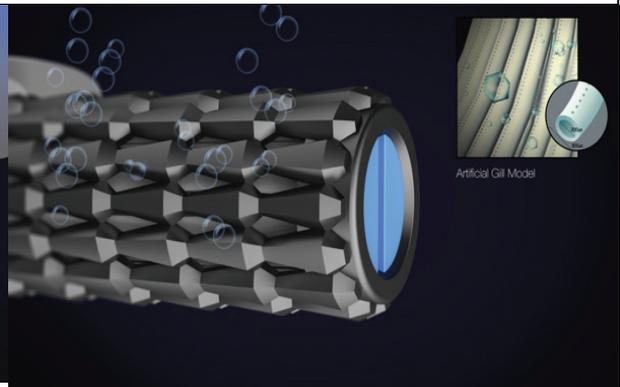
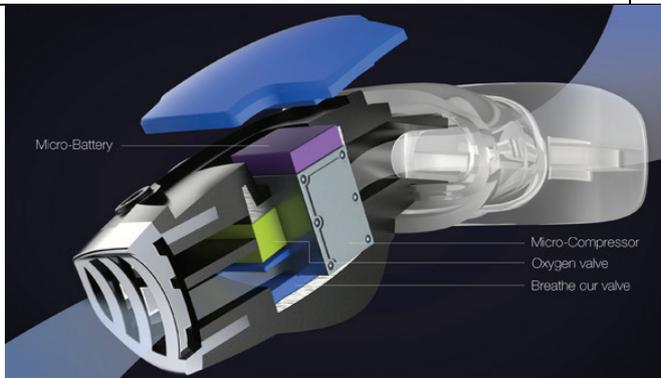
Un peu de bibliographie sur internet conduit aisément à l'adresse suivante :

<https://www.behance.net/gallery/13434535/TRITON>

Un dispositif, le Triton, conçu par le coréen Jeabyun Yeon, y est présenté comme respirateur subaquatique ; l'étude de ce dispositif va nous permettre, par analogie, d'analyser le système utilisé par Obi-Wan. Le document 6 reprend quelques informations de cette page internet.

### Document 6 : Respirateur portable TRITON

Le Triton a été conçu comme un système de branchies artificielles. Une membrane permet de filtrer l'eau pour en extraire le dioxygène sur le principe d'une passoire : les molécules de dioxygène peuvent passer à travers les pores de la membrane alors que les molécules d'eau restent bloquées. Le dioxygène ainsi filtré est comprimé grâce à un dispositif commandé par un micro-processeur, le tout alimenté par une batterie de dernière génération. Le système ne requiert aucune réserve externe de dioxygène.



Diamètre des branchies artificielles (tubes blancs insérés dans la structure, voir encadré ci-dessus) :

- externe : 300  $\mu\text{m}$
- interne : 200  $\mu\text{m}$

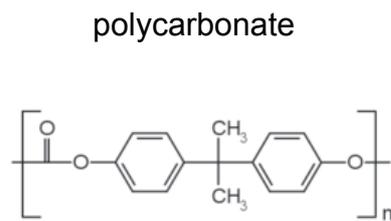
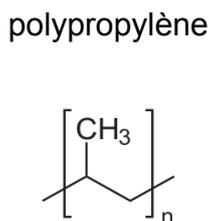
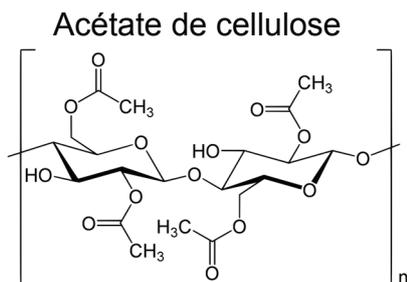
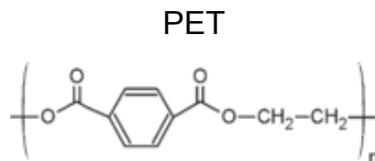
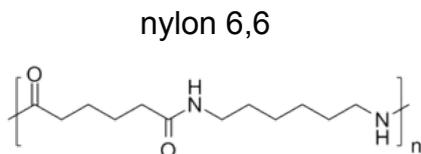
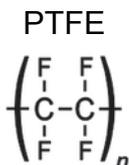
source : <https://www.behance.net/gallery/13434535/TRITON>

Les membranes de filtration peuvent être de natures variées : organiques ou minérales. Dans les masques à gaz, elles sont souvent associées à des systèmes qui réagissent avec les gaz toxiques de façon à les bloquer. Ce type d'association est ici tout à fait

Tournez la page S.V.P.

envisageable puisque le respirateur doit pouvoir fonctionner en milieu hostile. Le document 7 propose quelques polymères utilisés pour des membranes.

**Document 7 : Quelques polymères utilisables pour les membranes**



**15.** Indiquer les groupes caractéristiques présents dans les macromolécules du document 7 et les familles correspondantes.

**16.** Par l'analyse de la réactivité des groupes caractéristiques vis-à-vis des acides et des bases, identifier les polymères qui sont utilisables si des espèces chimiques acides ou basiques s'accroissent sur la membrane lors de la filtration de l'eau.

En réalité, les milieux d'utilisation du respirateur ne sont jamais trop acides ou basiques au point de détruire les membranes. D'autres critères doivent être retenus pour l'élaboration du respirateur.

**17.** Parmi les polymères du document 7, le(s)quel(s) semble(nt) s'accorder le mieux avec les principes de la chimie verte ? Justifier.

Le polymère doit pouvoir être fonctionnalisé de façon à pouvoir réagir avec les composés toxiques qui vont se présenter sur la membrane. La fonctionnalisation passe soit par l'intercalation de groupes caractéristiques au cours de la réaction de polymérisation, soit par la fixation de groupes réactifs sur la chaîne après la polymérisation. Cette solution peut apparaître plus souple car elle permet de fixer des molécules variées sur la chaîne.

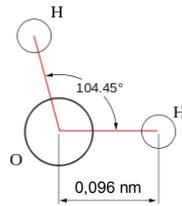
**18.** Parmi les polymères du document 7, le(s)quel(s) semble(nt) s'accorder le mieux avec une fonctionnalisation a posteriori ?

**19.** En déduire quel polymère vous semble le plus adapté à la fabrication d'une membrane fonctionnelle dont on sait qu'elle ne sera pas soumise à des conditions extrêmes de pH.

## Document 8 : Caractéristiques de quelques molécules

Eau :

- géométrie :



- rayon d'action moyen des interactions intermoléculaires engagées par une molécule d'eau : environ 0,3 nm.

Dioxygène :

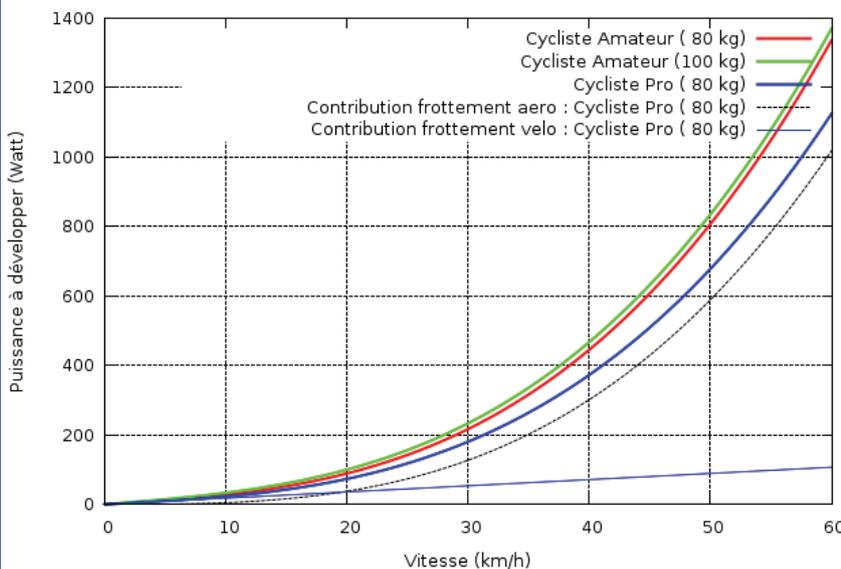
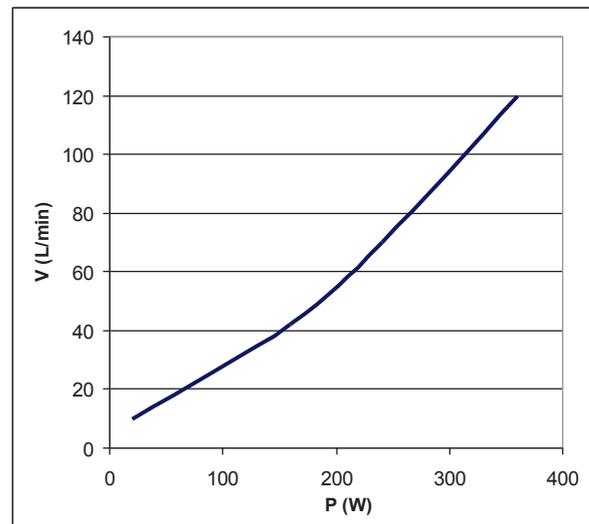
- distance entre les deux atomes d'oxygène :  $d(\text{O}-\text{O}) = 0,13 \text{ nm}$
- rayon d'action moyen des interactions intermoléculaires engagées par une molécule de dioxygène : environ 0,2 nm.

## Document 9 : Respiration et effort

Volume d'air inspiré par minute en fonction de la puissance de l'effort

Proportion de dioxygène :

- dans l'air inspiré : environ 20 %
- dans l'air expiré : environ 15 %



Puissance développée par des cyclistes en fonction de la vitesse (Revue de Physique Appliquée 19 (1984) pp 349–357, citée dans Wikipedia)

Tournez la page S.V.P.

- 20.** À l'aide du document 8, estimer la gamme de dimensions des pores de la membrane qui peut permettre la séparation du dioxygène et de l'eau. Commenter.
- 21.** En admettant que la technologie permette de réaliser la séparation de ces deux espèces, estimer la quantité d'eau à filtrer pendant une heure de plongée dans les conditions d'utilisation normale du respirateur pour répondre aux besoins physiologiques en dioxygène du plongeur. La démarche suivie pour déterminer cette valeur sera explicitée.
- 22.** Cette quantité d'eau à filtrer est-elle réaliste ? Conclure.

Revenons au respirateur subaquatique d'Obi-Wan. On vient de montrer qu'il pouvait difficilement se comporter en simples branchies artificielles, comme le suggère le respirateur Triton de Jeabyun Yeon ; ce dernier n'est d'ailleurs qu'un objet décrit sur une page web et dont la présentation pseudo-scientifique est mise en défaut en fin de page, après une réflexion sur son fonctionnement.

L'encyclopédie Wookieepedia mentionne d'ailleurs la présence d'un réservoir miniature de dioxygène comprimé dans le dispositif de respiration utilisé par Obi Wan.

## 2. Apport de gaz par le réservoir miniature de dioxygène

Le respirateur subaquatique d'Obi-Wan doit fournir non seulement le dioxygène nécessaire à la respiration, mais aussi le gaz inerte qui permet d'avoir une respiration normale. La concentration en gaz inerte dans l'eau est à peu près deux fois supérieure à celle du dioxygène.

- 23.** Le respirateur d'Obi-Wan peut-il fournir suffisamment de gaz inerte par simple filtration de l'eau ? Doit-il y avoir un autre gaz que le dioxygène dans le réservoir miniature ?
- 24.** Compte tenu de l'autonomie du respirateur A99 Aquata Breather, évaluer la quantité de matière de gaz contenue dans le réservoir.
- 25.** En déduire la valeur de la pression qui doit être atteinte dans le réservoir miniature avant son utilisation. Commenter le résultat.

## II. Un apport complémentaire de dioxygène par électrolyse de l'eau

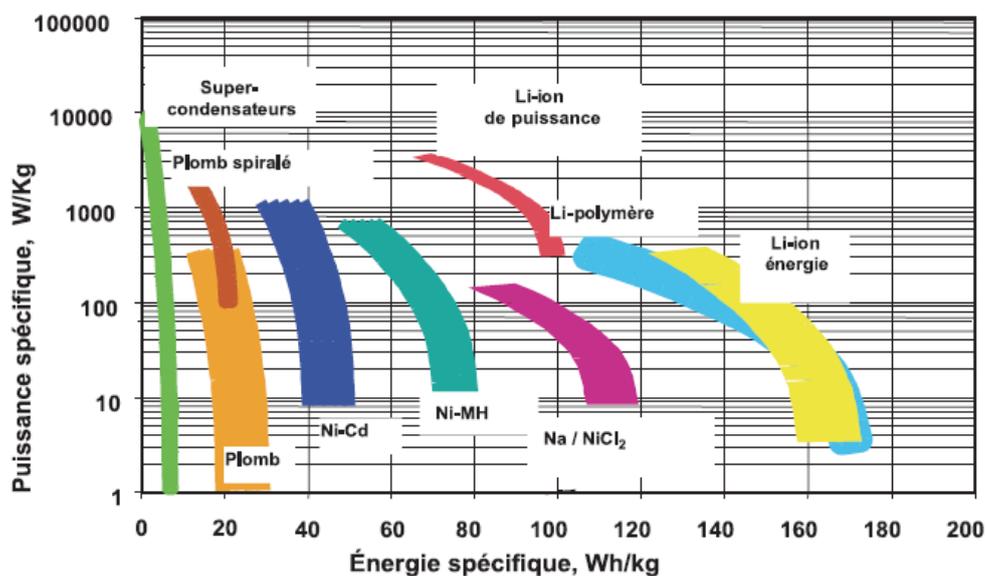
D'après l'étude qui vient d'être menée, le respirateur subaquatique décrit dans l'encyclopédie Wookieepedia ne permet pas la survie d'un homme sous l'eau. Il faut donc envisager de le compléter par un autre dispositif producteur de dioxygène.

L'eau est une source de dioxygène pour peu qu'on apporte de l'énergie nécessaire pour effectuer sa décomposition en dioxygène et dihydrogène. L'énergie peut être apportée sous forme d'énergie électrique : on appelle alors *électrolyse* cette décomposition.

- 26.** Écrire l'équation de la réaction de décomposition de l'eau.
- 27.** Réaliser le schéma du dispositif d'électrolyse en prenant comme source d'énergie électrique une batterie et comme électrodes deux fils de platine. Indiquer les réactions aux électrodes et l'électrode à relier au dispositif de collecte du dioxygène.
- 28.** À l'aide de l'estimation de la quantité de dioxygène nécessaire à une respiration normale lors de l'effort, prévoir la quantité d'électrons (en mole) nécessaire à la production de dioxygène en une heure.

29. En admettant que l'électrolyse fonctionne sous une tension de 3 V environ, estimer l'ordre de grandeur de la puissance nécessaire pour la batterie d'alimentation. On rappelle que l'intensité est la charge électrique traversant le circuit par unité de temps.
30. La batterie, intégrée au respirateur, doit nécessairement avoir une masse limitée ; si la valeur de cette dernière est de l'ordre de 1 g, identifier le type de batterie adapté à l'aide du document 10.
31. Proposer des alternatives aux solutions envisagées précédemment pour la mise en œuvre d'un respirateur subaquatique.

### Document 10 : Diagramme puissance/énergie pour les principaux types d'accumulateurs



source : M. Broussely , L'Actualité Chimique n°356, 2011

## C. Spiderman contre le docteur Octopus : arrêt de la rame du métro aérien

Dans le deuxième volet du film Spiderman, de Sam Raimi, sorti en 2004, Peter Parker affronte le Docteur Octopus et ses 4 bras mécaniques accrochés à son dos. Dans un des affrontements, l'homme araignée et le vilain Docteur se retrouvent sur le dessus d'une rame de métro aérienne, lorsque le Docteur Octopus actionne la manette d'accélération de la rame jusqu'à son maximum et s'enfuit en détruisant bien entendu les commandes du train et notamment son système de freinage. Spiderman se retrouve alors avec une rame bondée de passagers et doit tout faire pour arrêter celle-ci avant d'atteindre l'extrémité de la voie ferrée.



Tournez la page S.V.P.

## I. Analyse de la rame en mouvement

La rame est constituée de deux motrices (une à l'avant et une à l'arrière) qui encadrent dix wagons.

La masse de l'ensemble (passagers compris) a une valeur  $M = 300$  tonnes.

L'indication du tableau de bord de la motrice en circulation normale est donnée ci-contre.

MPH = Miles Per Hour



32. Montrer que la valeur de l'énergie cinétique  $E_{cf}$  de la rame est d'environ 82 MJ.

Après l'action du Docteur Octopus, la rame accélère, et en une durée  $\Delta t = 2,5$  s, l'indication du tableau de bord devient la suivante :



33. Déterminer la valeur atteinte par l'énergie cinétique  $E_{cf}$  de la rame.

34. En déduire la valeur du travail  $W_m$  fourni par les moteurs pour atteindre cette vitesse, ainsi que la valeur de la puissance mécanique  $P_m$  correspondante, sachant que la rame est horizontale (on négligera l'influence des frottements).

35. En surchauffe, les moteurs s'arrêtent, alors que la fin de la voie ferrée se trouve à une distance de 1100 m. En l'absence de frottements, quelle serait la valeur de la vitesse à la fin de la voie ferrée ? Justifier.

36. Pour arrêter la rame avant la fin de la voie, il est nécessaire d'appliquer une force supplémentaire. Représenter le schéma de l'ensemble des forces alors appliquées à la rame. Déterminer la valeur  $F$  de la force supplémentaire, supposée constante, qui doit être appliquée pour arrêter le wagon avant que la rame ne tombe du haut de la voie.



37. Justifier alors l'emploi d'un super-héros en évaluant la masse qu'il pourrait soulever avec une telle force.

## II. Première tentative d'arrêter le train

La première idée à laquelle pense Peter Parker consiste à se jeter sur les rails afin d'utiliser son pied en appui sur les traverses des rails comme frein, calant ainsi la rame dans son dos comme l'illustre la photo ci-contre. On suppose que la force appliquée par le pied de Spiderman sur une traverse est  $F_S = 2,0 \times 10^7 \text{ N}$  et que la surface de contact entre le pied et la traverse est  $S = 100 \text{ cm}^2$ .



38. Calculer la pression exercée par le pied de Spiderman sur la traverse.

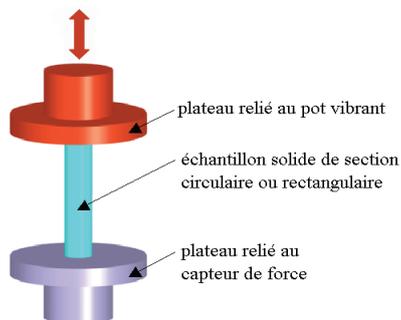
### Document 11 : Propriétés des traverses de la voie ferrée

Les traverses utilisées sur la voie ferrée du métro newyorkais sont en chêne. Le tableau suivant, issu du Centre Technique du Bois et de l'Aménagement, énumère les caractéristiques de différents bois soumis à des contraintes spécifiques.

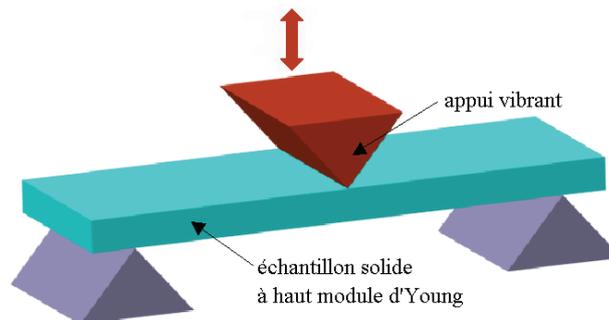
	Chêne	Douglas	Epicéa
Contrainte de rupture de compression axiale (Mpa)	58	55	45
Contrainte de rupture de traction axiale (Mpa)	100	93	85
Module de rupture en flexion (Mpa)	97	85	71
Module d'élasticité longitudinale en flexion (Mpa)	12 500	12 100	11 000
Résistance au choc (Nm/cm <sup>2</sup> )	6,2	4,8	4,5
Dureté Monnin (mm <sup>-1</sup> )	3,5	2,2	1,4
Dureté Brinell parallèle aux fibres (N/mm <sup>2</sup> )	57	44	31
Dureté Brinell perpendiculaire aux fibres (N/mm <sup>2</sup> )	32	18	13

### Document 12 : Contraintes et module d'élasticité

Un matériau subit principalement deux types de contraintes : en traction-compression et en flexion :



Traction-compression



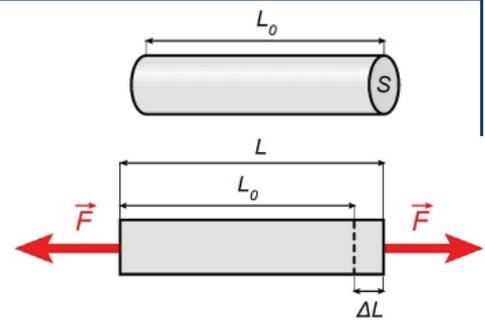
Flexion

La contrainte subie par un matériau se caractérise par la force surfacique  $\sigma$  exprimée en pascal :  $\sigma = \frac{F}{S}$  ;  $F$  étant la force appliquée sur une surface  $S$  du matériau.

Dans la zone d'élasticité du matériau, la force surfacique  $\sigma$  est proportionnelle à la déformation  $e = \frac{\Delta L}{L_0}$  qu'elle engendre, soit  $\sigma = Ee$  où  $E$  est appelé module d'Young.

Dans la zone d'élasticité, cette déformation redevient nulle lorsque cesse la contrainte.

Lorsque la contrainte dépasse la limite d'élasticité, la déformation du matériau devient irréversible.



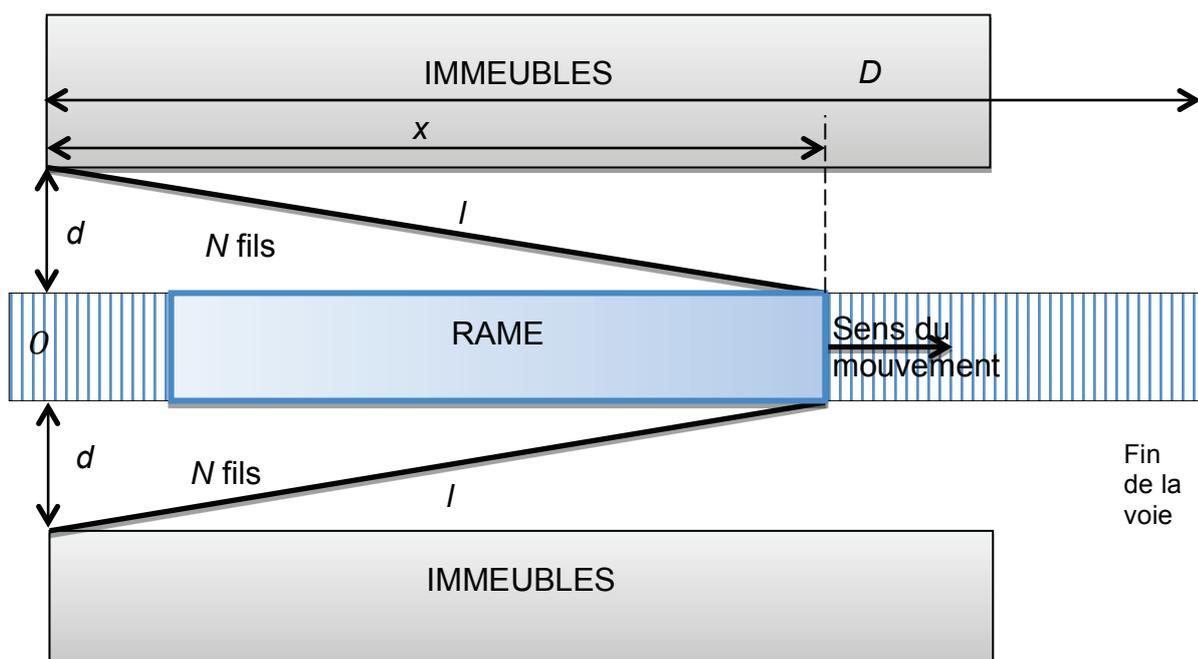
39. Après avoir identifié la contrainte subie par la traverse, expliquer alors pourquoi cette première tentative de Spiderman ne lui permet pas d'arrêter le train dans sa course folle.

### III. Seconde tentative

La seconde idée qui vient à l'esprit de Peter Parker consiste à tendre des fils de soie entre ses bras et les immeubles placés de part et d'autre de la rame comme le montre la photo suivante.



Pour simplifier la situation, l'ensemble des soies tissées sera modélisé par  $N$  fils (tous de longueur  $l$ ), placés d'un côté de la rame et par le même nombre  $N$  de fils de même longueur  $l$  placés symétriquement de l'autre côté, comme indiqué sur le schéma suivant :



On considère le système constitué de la rame, des  $2N$  fils et de Spiderman évoluant sans frottements sur les rails. On suppose aussi l'absence de force motrice.

Le système possède une énergie potentielle élastique pouvant être exprimée sous la forme  $E_p = kl^2$  où  $l$  est la longueur de chaque fil (très supérieure à la longueur du fil non étiré) et  $2k$  la constante de raideur de l'ensemble des  $2N$  fils constituant la toile tissée par Spiderman. Au moment de l'accroche des fils sur les immeubles, pris comme instant initial, Spiderman se trouve alors au point O et la rame possède une vitesse initiale  $V_0$ .

Données :  $k = 4,0 \times 10^3 \text{ N.m}^{-1}$  ;  $D = 200 \text{ m}$  ;  $V_0 = 36 \text{ m.s}^{-1}$  ;  $M = 300 \text{ tonnes}$

40. Justifier que l'énergie mécanique du système se conserve au cours du temps.
41. Exprimer l'énergie mécanique du système à l'instant initial en fonction de  $M$ ,  $V_0$ ,  $k$  et  $d$  puis à un instant  $t$  au point d'abscisse  $x$  lorsque la vitesse est  $V$ .
42. Le train s'arrête-t-il avant d'arriver à la fin de la voie ?
43. Commenter la photo du film ci-contre.



La soie d'araignée possède l'avantage d'être peu dense et de posséder un module d'Young peu élevé, ce qui signifie qu'elle est très élastique. La transformation de Peter Parker en homme araignée fut déclenchée par une morsure d'araignée radioactive lui conférant ses pouvoirs. L'araignée la plus répandue aux Etats-Unis est la Nephila clavipes, dont les propriétés de sa soie sont résumées dans le tableau suivant :

Masse volumique ( $\text{g.cm}^{-3}$ )	Module d'Young (GPa)	Déformation à la rupture $\epsilon_R$ (%)
1,3	8	35

Chaque fil envoyé par Spiderman a une forme cylindrique de longueur initiale  $L_0 = 5 \text{ m}$  et de masse  $m = 1,7 \text{ kg}$ . On supposera que la masse ainsi que la surface du fil restent approximativement constantes.

En fin d'action, au moment où les  $2N$  fils sont pratiquement colinéaires à la direction du mouvement du train, Spiderman applique sur l'ensemble de ces fils une force totale de valeur  $F_S = 2,0 \times 10^7 \text{ N}$ .

44. Déterminer le nombre  $2N$  de fils nécessaires que Spiderman doit tisser pour arrêter le train. Commenter la faisabilité de la méthode choisie par le super-héros.

## D. Spiderman : utilisation de fils semblables à ceux d'une toile d'araignée

Quand il a besoin de se déplacer « dans les airs » ou pour arrêter la rame de métro, Spiderman s'aide de fils tout à fait semblables à ceux que tisse une araignée.



De nombreuses études ont été effectuées afin de déterminer la nature des fils d'araignée car, comme illustré à la question précédente, leurs propriétés (solidité, élasticité ...) sont exceptionnelles.

### Document 13 : Les secrets de la résistance de la soie d'araignée enfin révélés

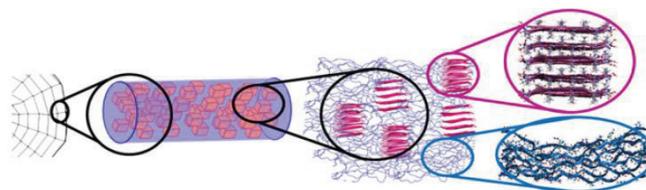
La soie d'araignée tire son élasticité et sa résistance de sa composition particulière et complexe. Aujourd'hui, des chercheurs semblent avoir percé ses secrets et possèdent désormais les clés pour recréer artificiellement une matière de même résistance.

Solide comme l'acier, plus résistante que la fibre d'aramide (mieux connue sous la marque déposée Kevlar) pour une densité plus faible que le coton ou le nylon, cette matière étonnante existe et n'est autre que la soie d'araignée. Sur une toile, chaque fil peut absorber de grandes quantités d'énergie sans rompre, comme lors de l'impact d'un insecte volant.

L'ensemble de ces qualités uniques a fait rêver pendant longtemps les scientifiques, qui souhaiteraient parvenir à créer des matériaux synthétiques analogues pour confectionner des objets très résistants. Mais actuellement, les fibres artificielles n'atteignent pas le niveau des fibres naturelles et les arachnides élevées pour produire les fibres naturelles s'entredévorent. Il est donc nécessaire de mieux comprendre l'origine des incroyables propriétés de la soie d'araignée, un secret percé par des biophysiciens de l'*Institute for Theoretical Studies*, basé à Heidelberg en Allemagne.

#### La soie : un entremêlement de peptides

Comme celle du ver à soie, la fibre synthétisée par les araignées est constituée d'un subtil mélange de deux composants : l'un cristallin et l'autre amorphe. L'élément cristallin, environ 10 à 25 % de la fibre, est formé de l'assemblage de petits peptides de 6 à 10 acides aminés contenant des répétitions d'alanine ou d'alanine et de glycine. Ces peptides s'organisent en cristaux de 2 à 5 nanomètres de côté, grâce à des liaisons hydrogène entre différentes couches de peptides superposés (appelées feuillet  $\beta$ ).



La soie d'araignée est constituée de composants cristallins très organisés (rose) et amorphes, plus désordonnés (bleu). © *Biophysical Journal*

Au contraire de son acolyte, le composant amorphe n'est pas constitué d'un réseau organisé de molécules. Les peptides qui le constituent sont plus longs et plus riches en glycine et leur empilement semble aléatoire.

Si la composante amorphe est nécessaire à l'élasticité de la soie, et assure la répartition de la tension tout le long du fil, les cristaux, quant à eux, rendent la structure solide

### Deux modélisations pour comprendre l'origine de la résistance

Pour mieux comprendre le rôle et les interactions existant entre les deux types de matière, les chercheurs ont utilisé deux outils de modélisation à deux échelles différentes.

La première est la simulation de dynamique moléculaire, qui permet de modéliser le mouvement d'un groupe d'atomes dans le temps. Connaissant les séquences exactes des protéines impliquées dans les deux composants de la soie de l'épeire diadème (*Araneus diadematus*) et les interactions respectives de chacun des 300 000 atomes pris en compte, un savant calcul basé sur des algorithmes permet de les imaginer en action.

En plus de l'échelle atomique, une seconde méthode de modélisation (méthode des éléments finis) s'intéressant cette fois à l'échelle globale du fil de soie a été utilisée. Elle est utilisée couramment pour permettre de représenter idéalement des objets sous forme de maillage, où chaque maille possède des paramètres particuliers et connus. Concrètement, la résistance d'une voiture à un choc peut être modélisée de cette façon, grâce aux calculs permettant d'observer le réarrangement du maillage.

Cette double approche, appliquée à la modélisation de différentes architectures de la fibre de soie, a permis aux chercheurs de montrer que la meilleure résistance est obtenue lorsque les composants cristallins et amorphes se succèdent sous forme de disques empilés, plutôt que lorsqu'ils s'associent de façon aléatoire. Ces résultats, publiés dans la revue *Biophysical Journal*, devraient alors permettre d'aider à recréer artificiellement cette matière unique qui continue de fasciner.

Le 03/03/2011 à 10:31 - Par Claire Peltier, Futura-Sciences

La glycine et l'alanine sont deux acides aminés dont quelques propriétés physico-chimiques sont données dans le **tableau 1** ci-dessous :

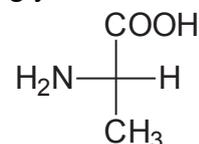
	glycine	L-alanine	D-alanine
Formule semi-développée	$\text{H}_2\text{N}-\text{CH}_2-\underset{\text{O}}{\underset{\parallel}{\text{C}}}-\text{OH}$	$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\   \\ \text{H}_2\text{N}-\text{CH}-\underset{\text{O}}{\underset{\parallel}{\text{C}}}-\text{OH} \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\   \\ \text{H}_2\text{N}-\text{CH}-\underset{\text{O}}{\underset{\parallel}{\text{C}}}-\text{OH} \end{array}$
Température de fusion (°C)	235 (décomposition)	296	
pK <sub>a</sub> (—COOH/—COO <sup>-</sup> )	2,4	2,3	
pK <sub>a</sub> (—NH <sub>3</sub> <sup>+</sup> /—NH <sub>2</sub> )	9,7	9,7	
Pouvoir rotatoire spécifique (°.g <sup>-1</sup> .L.cm <sup>-1</sup> )	0	+13,7 (solution à 20,6 g.L <sup>-1</sup> dans HCl à 6 mol.L <sup>-1</sup> )	

Tableau 1 : propriétés physico-chimiques de la glycine, la L-alanine et la D-alanine

## I. Étude structurale de la glycine et de l'alanine

45. Reproduire les formules semi-développées planes de la glycine et de l'alanine sur la copie et entourer les groupes caractéristiques que possèdent ces deux composés. Justifier que le nom de l'alanine, en nomenclature officielle, est l'acide 2-aminopropanoïque. Donner le nom, en nomenclature officielle, de la glycine.

L'alanine naturelle, représentée ci-contre avec les conventions de Fischer, est la L-alanine.

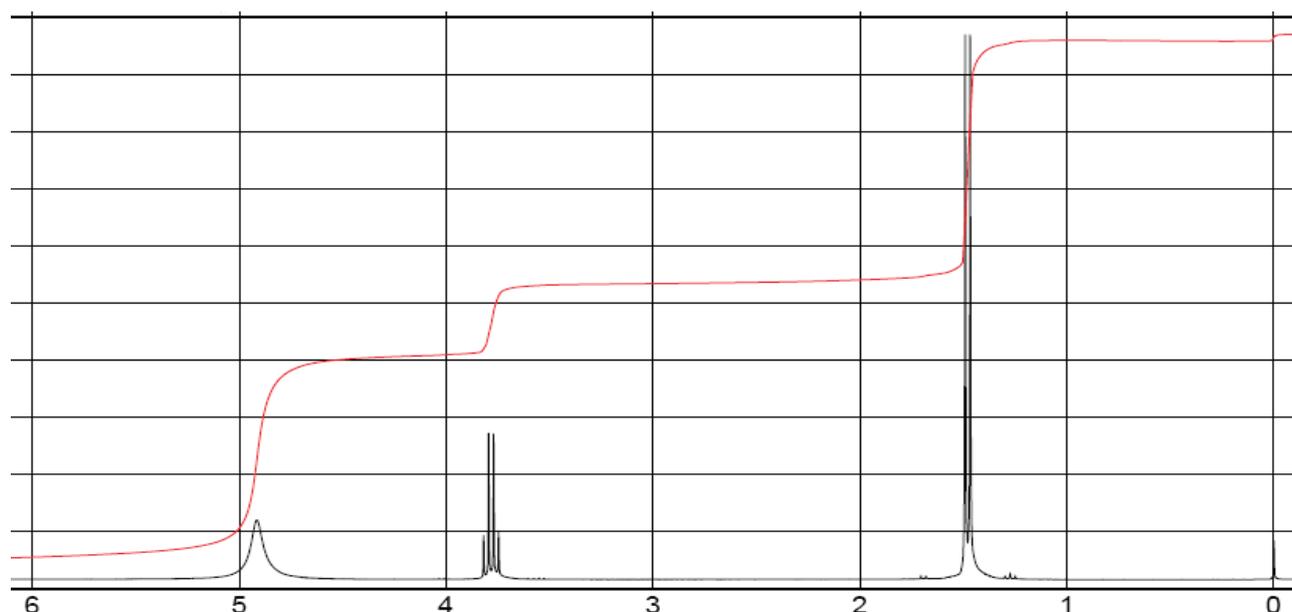


46. Que signifie le « L » dans L-alanine ?
47. Représenter la D-alanine, en utilisant les conventions de Fischer.
48. Compléter la colonne du **tableau 1**, reproduit en **annexe à la fin du sujet**, avec les propriétés physico-chimiques manquantes de la D-alanine.
49. Expliquer pourquoi le pouvoir rotatoire spécifique de la glycine est nul.

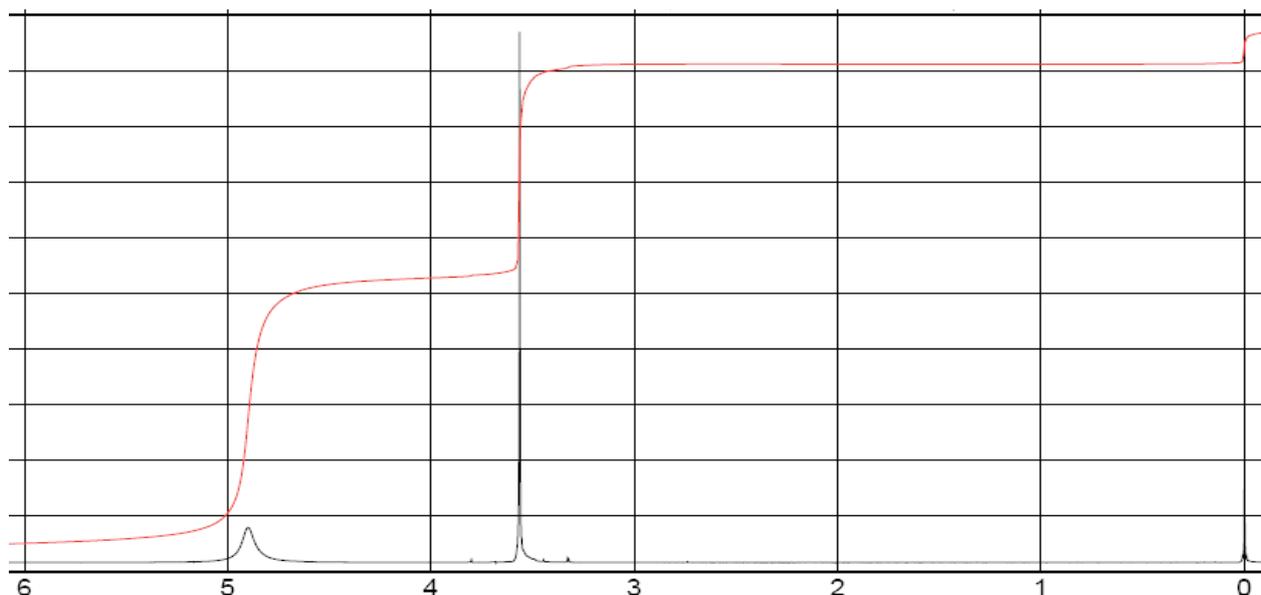
Différentes méthodes spectrales peuvent être utilisées pour identifier la glycine et l'alanine.

50. La première méthode, la plus rapide à mettre en œuvre, est l'utilisation d'un spectromètre infrarouge et pourtant, dans ce cas précis, il sera impossible d'attribuer un spectre à une de ces deux espèces. Pourquoi ?
51. La deuxième méthode consiste à tracer les spectres RMN-<sup>1</sup>H de ces deux espèces et on obtient alors les deux spectres différents reproduits ci-après.

Spectre n°1



## Spectre n°2



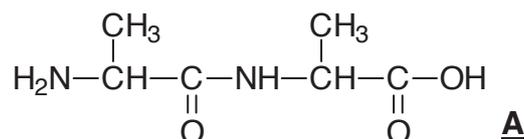
A l'aide d'un raisonnement que l'on explicitera, attribuer chacun des deux spectres à un des deux acides aminés.

Les spectres RMN-<sup>1</sup>H de la D-alanine et de la L-alanine sont-ils identiques ou différents ?

## II. Synthèse d'une séquence d'un polypeptide

### Formation d'un dipeptide

Si deux molécules d'alanine réagissent l'une avec l'autre, on obtient un dipeptide **A**, que l'on peut nommer Ala-Ala et dont la formule est reproduite ci-dessous :

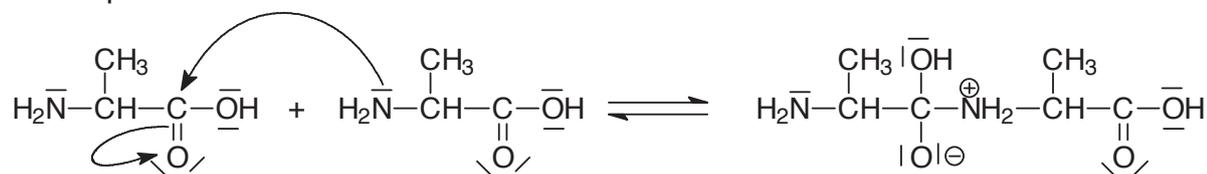


52. Écrire l'équation de formation de ce dipeptide. Donner le nom de la nouvelle liaison formée et celui de la fonction créée.

53. Lors de cette transformation, une réaction intramoléculaire, est en compétition avec la réaction de formation du dipeptide **A**. À l'aide des données du **tableau 1**, indiquer la nature de cette réaction et écrire son équation.

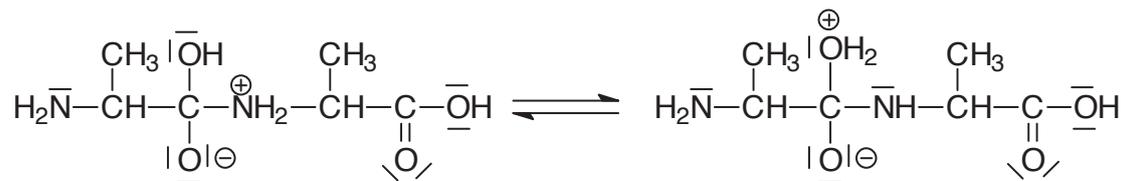
Le mécanisme de formation du dipeptide Ala-Ala est proposé ci-après :

1<sup>ère</sup> étape :

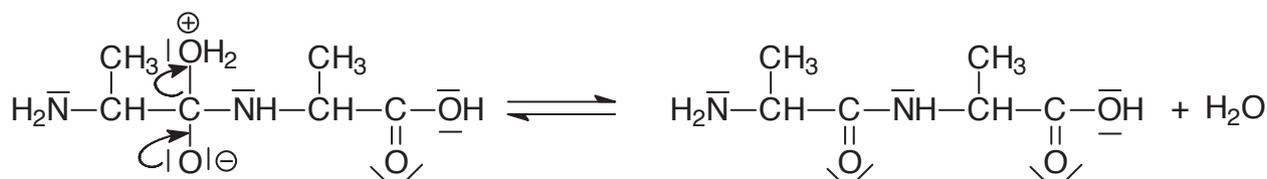


Tournez la page S.V.P.

2<sup>ème</sup> étape : transfert de proton



3<sup>ème</sup> étape : élimination d'eau



54. Indiquer la nature de la 1<sup>ère</sup> étape du mécanisme en utilisant des mots de la liste suivante : substitution, addition, élimination, électrophile, nucléophile, radicalaire.

55. Expliquer pourquoi la réaction entre une molécule de glycine et une molécule d'alanine est susceptible de donner deux dipeptides « mixtes » différents

### Formation d'un polypeptide

56. Par réaction du dipeptide **A** avec deux autres molécules d'alanine, on obtient un tétrapeptide. Écrire sa formule et identifier le « motif » **M** qui se répète dans ce peptide.

Par réaction d'un très grand nombre de molécules d'alanine, on obtient un polypeptide sous forme d'une longue chaîne relativement rigide, mais avec cependant une mobilité autour du groupe amide suffisante pour adopter toute une variété de conformations. Les chaînes de peptides se placent parallèlement les unes aux autres et la formation de liaisons hydrogène entre-elles assure la solidité ainsi que l'élasticité du fil obtenu.

57. Donner la formule générale de la protéine que l'on peut nommer poly-alanine sous la forme  $A-(M)_n-B$ , A et B étant les extrémités de la chaîne.

58. Expliquer ce qu'est une liaison hydrogène en précisant les conditions requises pour sa formation. Comparer la force d'une liaison hydrogène avec celle d'une liaison covalente. Sur le schéma en **annexe à la fin du sujet**, représenter quelques liaisons hydrogène existant entre les chaînes de protéines formant un feuillet  $\beta$ .

**Fin de l'épreuve**



## Annexe à rendre avec la copie

**Tableau 1 à compléter**

	glycine	L-alanine	D-alanine
Formule semi-développée plane	$\text{H}_2\text{N}-\text{CH}_2-\text{C}(=\text{O})-\text{OH}$	$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\   \\ \text{H}_2\text{N}-\text{CH}-\text{C}(=\text{O})-\text{OH} \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\   \\ \text{H}_2\text{N}-\text{CH}-\text{C}(=\text{O})-\text{OH} \end{array}$
Température de fusion (°C)	235 (décomposition)	296	
$\text{pK}_a(\text{---COOH}/\text{---COO}^-)$	2,4	2,3	
$\text{pK}_a(\text{---NH}_3^+/\text{---NH}_2)$	9,7	9,7	
Pouvoir rotatoire spécifique (°·g <sup>-1</sup> ·L·cm <sup>-1</sup> )	0	+13,7 (solution à 20,6 g·L <sup>-1</sup> dans HCl à 6 mol·L <sup>-1</sup> )	

### Schéma de diverses chaînes de poly-alanine organisées en feuillets β

