

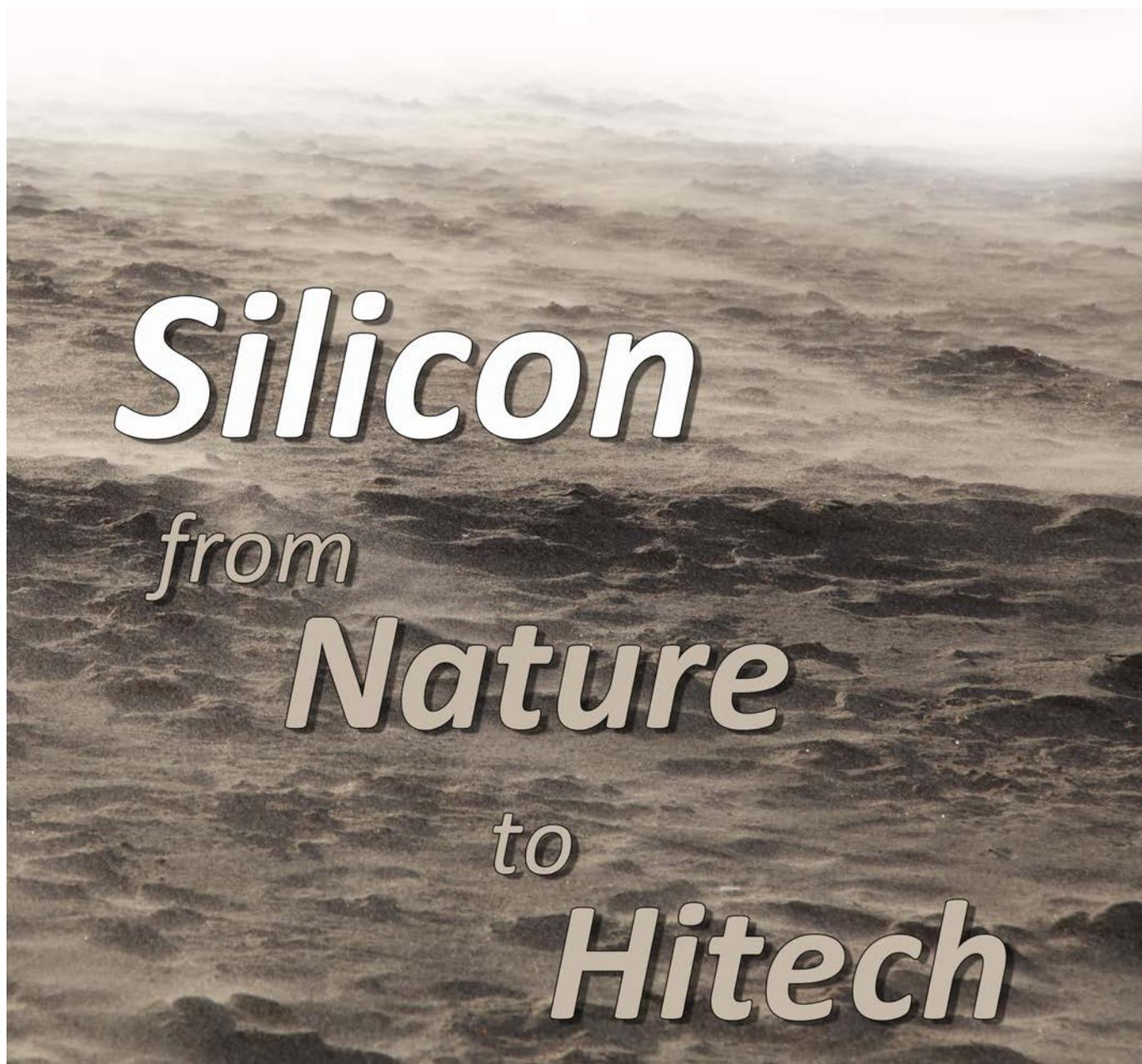


11th EUROPEAN UNION SCIENCE OLYMPIAD

Test 1

Feuille d'activité

Luxembourg, Mars 19th, 2013



pays:

Langue:

Instructions générales

Portez votre blouse et vos lunettes de protection dans le laboratoire durant toute l'épreuve.

Manger et boire est interdit dans le laboratoire

Vous devez porter des gants de protection lorsque vous manipulez des produits chimiques.

Tous les papiers, y compris les feuilles de brouillon, doivent être rendus à la fin du test.

Tous les résultats doivent être transcrits sur la feuille réponses.

Vous devez également rendre tous vos calculs en même temps que la feuille réponses.

Seule la feuille de réponses (première page colorée) et les feuilles attachées seront notées.

Les activités peuvent être accomplies dans l'ordre que vous souhaitez.

L'épreuve consiste en 3 activités et peuvent être réalisées soit individuellement soit en équipe.

Vous avez **3,5 heures** pour terminer l'épreuve 1

activité 1: 30 points

activité 2: 29 points

activité 3: 33 points

A la fin de l'épreuve laissez TOUT en place sur votre paillasse.

Vous ne pouvez rien emporter hors du laboratoire !



Une histoire de silicone

Le **silicium** dont le symbole est Si est un des 8 éléments les plus courants de l'univers. Plus de 90% de la croûte terrestre est composée de silicates sous différentes formes telles que la silice (SiO_2). Le minéral à base de silice le plus connu est le **quartz**. On peut le trouver sur les plages un peu partout dans le monde soit sous forme de grain de sable, dans une roche sédimentaire telle que le grès, dans le granite ou dans de nombreuses autres roches. Par exemple, la cité haute du Luxembourg est construite sur du grès qui contient un grand pourcentage de quartz.

Lorsque le SiO_2 est refroidi rapidement, il ne cristallise pas mais se solidifie comme du verre. Ce procédé est utilisé pour fabriquer des bouteilles en verre, du verre pour les vitres et des fibres de verre à base de boro-silicate.

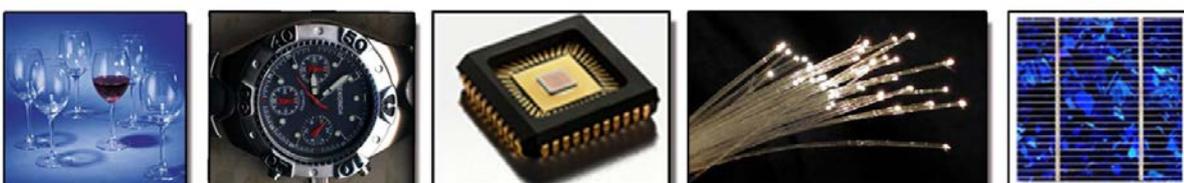
Aujourd'hui le silicium a de nombreuses utilisations dans les technologies modernes. Les **fibres optiques** utilisées intensément dans les systèmes de communication modernes sont à base de fibres de verre en silicium. Les fibres optiques transportent la lumière sur de grandes distances d'une extrémité à l'autre de la fibre. Assemblés en faisceau, ces fibres sont aussi utilisées pour l'éclairage des fibres laser.

La silice est aussi un composant essentiel dans l'informatique dans la mesure où des **semi-conducteurs** en silicium composent les **micro-puces**. Le cristal de roche a été utilisé pendant très longtemps comme **oscillateur** dans les montres et de nombreux autres produits électroniques. Les cellules solaires sont à base de grains de quartz (SiO_2) pour obtenir un cristal de silicium pur qui est ensuite tranché et poli pour former les fameuses gaufres de silicium. Elles constituent un élément clé dans les **cellules photovoltaïques** des panneaux solaires.

Le silicium est aussi un élément essentiel en biologie. La silicification dans et par les cellules est commune dans le monde biologique depuis des millions d'années. Le silicium est un **matériel biologique** important qu'on retrouve chez les bactéries, les unicellulaires, les plantes et les animaux. Par exemple, les microorganismes tels que les bactéries ont besoin de silicium pour fabriquer leurs microscopiques valves protectrices. Dans les nanotechnologies, la recherche sur les appareils en silicium tels que des **nanovecteurs**, utilisés pour cibler la distribution des médicaments dans le corps, peut constituer une avancée essentielle dans la modernisation des soins de santé personnalisés.

Dans l'exercice suivant, les équipes de l'EUSO devront résoudre différents problèmes concernant la silice dans la nature et dans les nouvelles technologies.

- **activité 1: Détermination du SiO_2 dans l'eau**
- **activité 2: Diatomées, vie dans une boîte en silice**
- **activité 3: SiO_2 dans la technologie des cellules solaires**



ACTIVITE 1 : DETERMINATION DE SiO₂ DANS L'EAU

Généralités

Le silicium se trouve dans la nature sous forme de silice (SiO₂) dans des cristaux (quartz, cristal de roche, améthyste, ...) ou à l'état microcristallin dans des roches (jaspe, silex, ...). La silice est le composé majeur dans le sable.

Quand on veut déterminer le silicium, c'est sous la forme SiO₂ que l'analyse est faite.

L'abondance de la silice dans certaines roches varie de 7 à 80 % et dans certains sols de 50 à 80 %. La concentration en silice dans les eaux naturelles est comprise entre 10 et 20 mg/litre.

La silice contenue dans l'eau réagit à pH 1,3 avec le molybdate d'ammonium pour former un acide molybdosilicique coloré en jaune clair. Il y a également formation d'acide phosphosilicique par réaction entre les phosphates contenus dans l'eau et le molybdate d'ammonium. Ce composé est gênant et il est détruit par ajout d'acide tartrique à la solution. On ajoute également de l'acide borique pour éliminer les interférences dues à des impuretés telles que les ions fluorures.

La coloration jaune clair de l'acide molybdosilicique est peu stable et ce composé n'est donc pas dosable directement par colorimétrie. Pour faire le dosage, on le réduit par de l'acide ascorbique et on obtient ainsi une coloration bleue bien stable.

L'intensité de cette coloration bleue est proportionnelle à la concentration en SiO₂ présent dans la solution. Elle peut être mesurée par un colorimètre (également appelé spectrophotomètre) à la longueur d'onde de 800 nm (nanomètres) car c'est à cette longueur d'onde que le composé bleu absorbe le maximum de lumière.

Pour les solutions diluées, il y a une relation entre l'absorbance (A) donnée par le colorimètre et la concentration (C). C'est la loi de Beer – Lambert :

$$A = \epsilon \cdot l \cdot C = K \cdot C$$

ϵ est le coefficient d'absorption molaire (coefficient d'extinction). Il est constant si on ne change pas la longueur d'onde, ce qui est le cas ici.

l est l'épaisseur de la cellule qui contient la solution. Elle est constante également.

K est donc une constante.

C est la concentration exprimée en moles/ litre.

Si l'on exprime la concentration en grammes/litre (que l'on représente par C_m), alors on a :

$$A = K' \cdot C_m$$

A est ainsi proportionnelle à C_m .

Le colorimètre (spectrophotomètre) est un appareil qui émet de la lumière au moyen d'une lampe. Cette lumière est filtrée pour ne laisser passer que la longueur d'onde 800 nm. Elle traverse une cuvette contenant une solution. L'absorption d'une certaine intensité de lumière est directement mesurée par le détecteur de l'appareil et est donnée sous forme d'une grandeur qu'on appelle l'absorbance.

Equipement et matériel

- Un marqueur, du papier millimétré et un chronomètre
- Une micropipette de 100 microlitres à volume ajustable (s'il y a un problème, demander l'aide de l'assistant)
- Une micropipette de 1000 microlitres à volume ajustable
- Des embouts de pipette (bleus et jaunes)
- 3 pipettes de 5 ml en plastique et une propipette (appareil pour effectuer les prélèvements)
- Des flacons Eppendorf de 2 ml
- Un support pour les flacons Eppendorf
- Des cuvettes en plastique pour faire les mesures au spectrophotomètre
- De l'eau distillée
- Une solution standard de silice (contenant exactement 1000 mg de Si par litre, exprimé en SI et non pas SiO_2) pour faire les échantillons qui serviront à calibrer le spectrophotomètre, c'est-à-dire à tracer la droite exprimée par la loi de Beer – Lambert. Cette solution est étiquetée « Si ».
- Une solution d'acide borique (de concentration 4 g dans 100 ml d'eau) étiquetée « Boric Acid »
- Une solution de molybdate d'ammonium (de concentration 5 g dans 100 ml d'eau) étiquetée « Molybdate »
- Une solution d'acide tartrique (de concentration 20 g dans 100 ml d'eau) étiquetée « Tartaric Acid »
- Une solution d'acide ascorbique (de concentration 5 g dans 100 ml d'eau) étiquetée « Ascorbic Acid »
- Une solution d'acide sulfurique (de concentration 5g d'acide (de masse volumique 1,84 g/ml) dans 100 ml d'eau) étiquetée « Sulfuric Acid »
- 3 solutions contenant une quantité inconnue de silice SiO_2 intitulées « unknown 1 », « unknown 2 » et « unknown 3 ».
- Un colorimètre (spectrophotomètre) réglé sur la longueur d'onde 800 nm.

Description de la tâche

Pour déterminer la concentration en SiO_2 dans les trois échantillons inconnus, il est nécessaire tout d'abord de mesurer l'absorbance de chaque solution standard. Ces solutions standards sont préparées par dilution de la solution stock de Si (concentration 1000 mg Si par litre). On trace alors la courbe d'étalonnage en portant l'absorbance mesurée en fonction de la concentration massique en SiO_2 pour chaque échantillon standard.

La concentration des solutions inconnues sera alors déterminée à partir de cette courbe d'étalonnage.

Activité 1.1 : Préparation des solutions étalons

- a) Calculer la concentration en SiO_2 (en mg/litre) de la solution stock dont on donne la concentration en Si (1000 mg Si/litre). Indiquer la valeur dans la feuille de réponse.
- b) A partir de la solution stock, préparer 10 ml d'une solution diluée 50 fois.
 - Calculer le volume de solution stock nécessaire à cet effet et le noter sur la feuille de réponse.
 - Pipeter 10 ml d'eau distillée et les introduire dans un flacon de 15 ml.

- De ces 10 ml d'eau distillée, il faut retirer la quantité calculée plus haut et la remplacer par le même volume de solution stock de Si. On obtient ainsi exactement 10 ml de solution que l'on appelle solution standard B.

c) A partir de cette solution standard B, on va préparer les solutions qui serviront à établir la courbe d'étalonnage. Pour cela, on va étiqueter les flacons de plastique de 2 ml par des numéros de 1 à 6. Le flacon 1 contient uniquement 2 ml d'eau, le flacon 2 contient 0,1 ml de solution B et 1,9 ml d'eau, et ainsi de suite comme indiqué dans le tableau 1.1. Pour faire ce travail, il faut utiliser la micropipette et les embouts adéquats.

Calculer la concentration de chacune des solutions étalons 1 à 6 et l'indiquer sur la feuille de réponses.

d) Etiqueter les flacons de volume 15 ml par des numéros 1 à 9. Les 6 premiers seront utilisés pour les solutions étalons et les 3 derniers pour les solutions inconnues.

Dans chaque flacon, on va maintenant ajouter les réactifs dans l'ordre suivant :

- 0,5 ml de la première solution étalon
- 5 ml d'acide borique en utilisant une pipette
- 5 ml d'eau en utilisant une pipette
- 1,2 ml d'acide sulfurique en utilisant une micropipette
- 0,4 ml de molybdate en utilisant une micropipette

	SiO ₂ solution (mL)	B Water (mL)
1	0	2
2	0.1	1.9
3	0.2	1.8
4	0.4	1.6
5	0.8	1.2
6	1.6	0.4

Table 1.1 : solutions étalons

- Couvrir le flacon, mélanger la solution en agitant et attendre 5 minutes
- e) Ajouter alors 0,4 ml d'acide tartrique en utilisant une micropipette
Couvrir le flacon, mélanger la solution en agitant et attendre 5 minutes
- f) Ajouter enfin 0,4 ml d'acide ascorbique en utilisant une micropipette.
Couvrir le flacon, mélanger la solution en agitant et attendre 5 minutes.

On refait la même chose pour les autres solutions de calibration et pour les solutions inconnues.

Activité 1.2 : Etablissement de la courbe d'étalonnage

Une fois les solutions préparées, on va effectuer les mesures d'absorbance.

Préparer à cet effet les cuvettes en plastique qui seront introduites dans le spectrophotomètre. Les numéroter de 1 à 9. Attention ne pas écrire sur les faces transparentes mais uniquement sur les faces mates.

Transférer les solutions 1 à 9 dans les cuvettes. Les remplir à $\frac{3}{4}$ de la capacité totale de la cuvette.

- g) Vérifier que le colorimètre est en fonctionnement. Il aura normalement été mis en route par le superviseur
- h) Insérer la cuvette 1 (qu'on appelle le blanc) dans le spectrophotomètre de telle sorte que la lumière passe par les faces transparentes
- i) Appuyer sur le bouton « zéro » : l'appareil indique alors la valeur 0.000
- j) Effectuer les mesures d'absorbance pour les différentes cuvettes en appuyant sur le bouton « result ». Indiquer les valeurs sur la feuille de réponse.

-
- k) Sur une feuille de papier millimétré, porter, pour les différentes solutions standards, en ordonnée les valeurs des absorbances et en abscisse les valeurs des concentrations en SiO_2
 - l) On constate que la courbe est en fait une droite. Déterminer ainsi la pente (coefficient angulaire ou coefficient directeur) de cette droite. Indiquer la valeur sur la feuille de réponse.
 - m) Déterminer les concentrations des trois solutions inconnues à partir des valeurs d'absorbance portées sur le graphique. La lecture des valeurs sur l'abscisse permet d'obtenir les concentrations.
 - n) Calculer également les concentrations à partir de la valeur de la pente de la droite déterminée plus haut. Indiquer les valeurs sur la feuille de réponse.

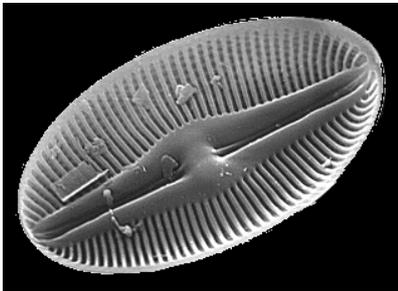
Activité 1.3 : Estimation des erreurs

Répondre aux questions indiquées dans le tableau 1.3.1

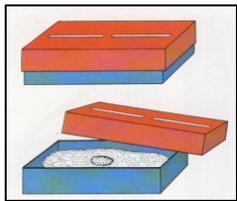
ACTIVITE 2: DIATOMÉES, VIE DANS UNE BOITE EN SILICE

Introduction sur les diatomées

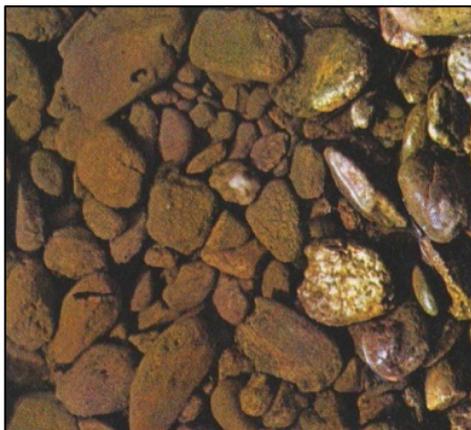
Les diatomées sont des algues unicellulaires photosynthétiques. Elles apparaissent fréquemment en couches brunâtres glissantes recouvrant les cailloux dans les rivières. Ces organismes construisent une paroi dure et poreuse appelée frustule, structure en forme de boîte composée de silice amorphe pure et de composants organiques. Les diatomées sont capables de synthétiser cette paroi de silice biogène à l'intérieur de la cellule, à basse température, par la polymérisation de monomères d'acide silicique ($\text{Si}(\text{OH})_4$) dissout dans l'eau.



La frustule est habituellement constituée de deux valves qui s'emboîtent. Les valves ont de nombreux pores et fentes qui permettent les échanges de matière avec le milieu extérieur.



Les diatomées vivent non seulement en eau douce mais aussi en eau de mer. On estime qu'elles contribuent à 45% de la production primaire totale des océans ; c'est le **phytoplancton** le plus abondant dans les océans, les diatomées sont responsables de l'absorption de 25% du dioxyde de carbone et produisent une grande part du dioxygène que les hommes respirent.

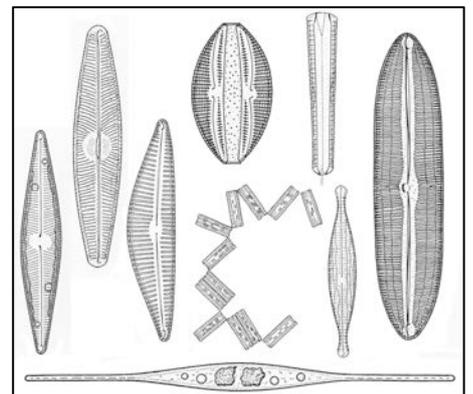
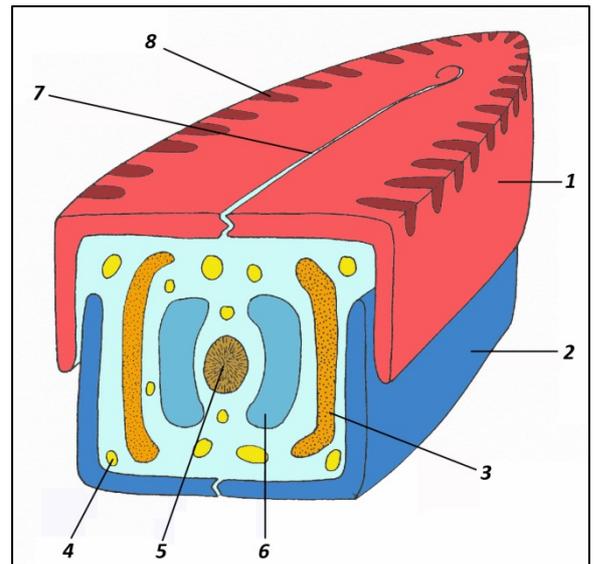


Lorsque les diatomées meurent, les frustules se déposent. La terre de diatomées, connue sous le nom diatomite est une roche sédimentaire siliceuse tendre qui est formée à partir de frustules diatomées fossilisées. Elle peut être réduite sous forme d'une fine poudre blanche très poreuse et absorbante qui présente diverses applications dans l'industrie moderne. L'étude des fossiles montre que la terre de diatomée s'est formée durant ou au début du Jurassique (-200 MA).

Les populations de diatomées sont couramment utilisées pour étudier les conditions environnementales passées et présentes et sont utilisées par les scientifiques comme bio-indicateurs pour étudier la qualité de l'eau.

Fig. 2.1: Anatomie d'une diatomée: (1) valve supérieure de la frustule (epitheca), (2) valve inférieure (hypotheca), (3) plastocyanine avec

(4) vacuole, (5) chloroplaste, (6) vacuole, (7) fente de rasage, (8) stries.



DESCRIPTION DE L'ACTIVITE

Échelle du micromètre oculaire

Dans la nature on distingue des milliers d'espèces de diatomées sur base de l'architecture de leur squelette siliceux, la plupart des diatomées sont unicellulaires, certaines forment des colonies.

Activité 2.1 Identification des espèces de diatomées

Chaque team dispose de deux préparations microscopiques de frustules de diatomées provenant des rivières luxembourgeoises, *Syre* et *Gander*. Les diatomées ont été préparées de telle manière que les préparations ne contiennent que les valves (frustules). Afin de les identifier, vous devrez utiliser le microscope permettant un grossissement de 1000X. Débutez votre observation avec l'objectif 10X puis 40X. Pour le grossissement final de 1000X vous devrez utiliser la technique de l'huile à immersion; il vous faudra placer une goutte d'huile à immersion entre la préparation et l'objectif.

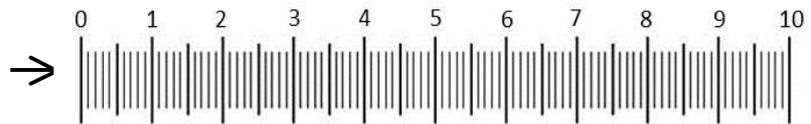
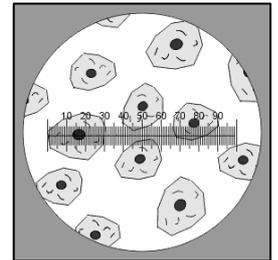


Joker: si vous ne savez pas réaliser la technique de l'huile à immersion, demandez l'aide d'un assistant de laboratoire. Vous perdrez cependant 3 points !

En annexe vous trouverez une clé de détermination simplifiée des espèces de diatomées présentes au Luxembourg. Afin d'identifier les différentes espèces présentes dans les préparations, vous étudierez les **dimensions des frustules** (longueur/largeur), la **présence de raphé** (voir Figure 2.1) et identifierez des **différences de structure à la surface des valves** (striations : présence, types et densité).

L'objectif de cette activité sera d'observer avec précision les valves présentes afin d'identifier les différences espèces.

On peut déterminer la longueur des frustules en utilisant le micromètre installé dans l'oculaire du microscope. Votre micromètre est divisé en 100 (petites) graduations/unités. Vous pouvez faire tourner l'oculaire de manière à bien l'orienter par rapport à la position de la frustule.



Le micromètre oculaire a été calibré pour chaque grossissement. La dimension exacte d'une graduation/unité du micromètre pour chaque grossissement est fournie dans le tableau du document sur la paillasse.

Identifiez les quatre espèces suivantes présentes dans les deux préparations à l'aide de la clé de détermination et déterminez la longueur moyenne de chacune d'elle. Pour ce faire, vous devrez mesurer au moins cinq valves de chaque espèce et examiner les deux préparations. (☞ voir feuille réponses).

Navicula cryptotenella (NCTE*)

Amphora pediculus (APED)

Mayamaea permitis (MPMI)

Nitzschia dissipata (NDIS)

(*) code of species name

	17 ≤ IPS < 20	13 ≤ IPS < 17	9 ≤ IPS < 13	5 ≤ IPS < 9	1 ≤ IPS < 5
	A = très bon	B = bon	C = tolérable	D = mauvais	E = très mauvais

~~IPS (sur 20)~~ = ~~IPS (sur 5)~~ × ~~4/5~~ × 3.75
 COUNTRY – Test 1 – Task Sheet
 IPS (sur 5) = $\frac{V \times A}{2}$

Activité 2.2 Détermination de la qualité de l'eau de deux rivières du Luxembourg

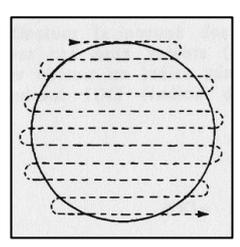
Les diatomées sont très sensibles au changement environnemental et peuvent être employées ainsi comme indicateurs pour la pollution de l'eau. On prélève un échantillon de diatomées en brossant les cailloux du fond de la rivière. A partir de la liste des espèces de diatomées fournie (tableau 1), on peut calculer un index de pollution.

L'index utilisé couramment dans toute l'Europe est l'index spécifique de Polluosensibilité (IPS). Cet index est basé sur la sensibilité de différents espèces de diatomées à l'eutrophisation et à la pollution organique et sur l'utilisation de toutes les espèces de diatomées trouvées sur le site.

Pour calculer l'IPS, on prend en considération **l'échelle écologique de tolérance (V)** de chaque espèce dans l'échantillon (marquée de 1 à 3 ; 3 correspondant aux espèces très peu tolérantes), **la sensibilité à la pollution (S)** de chaque espèce (marquée de 1 à 5, 5 correspondant aux espèces les plus sensibles) et **l'abondance (A)**, le nombre de valves de chaque espèce présente dans l'échantillon (voir le tableau 1).

L'abondance est déterminée en comptant les différentes espèces présentes dans chaque échantillon. La tolérance écologique et la sensibilité de chaque espèce sont données dans le tableau 1.

Les scientifiques du Centre de Recherche Public - Gabriel Lippmann au Luxembourg ont prélevé les échantillons d'eau et il vous incombe maintenant d'examiner chacun d'eux au microscope pour déterminer le nombre d'espèces différentes de diatomées qui sont présentes.



- D'abord vous devrez identifier les différentes espèces présentes avec un grossissement de 1000x. Ensuite vous devez compter le nombre de frustules/valves de chaque espèce (abondance A) et **noter le résultat sur la feuille réponses**. Afin d'éviter une double comptabilité, vous devrez choisir un secteur intéressant de l'échantillon, et faire le comptage selon les indications de la figure ci-dessous. Attention à compter d'abord les plus petites espèces! Pour obtenir un index IPS statistiquement fiable, vous devez compter au moins 200 individus sur chaque préparation.

- En utilisant vos données calculez l'index (IPS), dans une échelle de 1 à 5, à l'aide de la formule:

L'IPS (sur 5) doit être rééchelonné pour obtenir une valeur **finale IPS** dans une échelle de 1 (très mauvaise qualité écologique) à 20 (très bonne qualité écologique). On l'obtient facilement en utilisant la formule de conversion suivante:

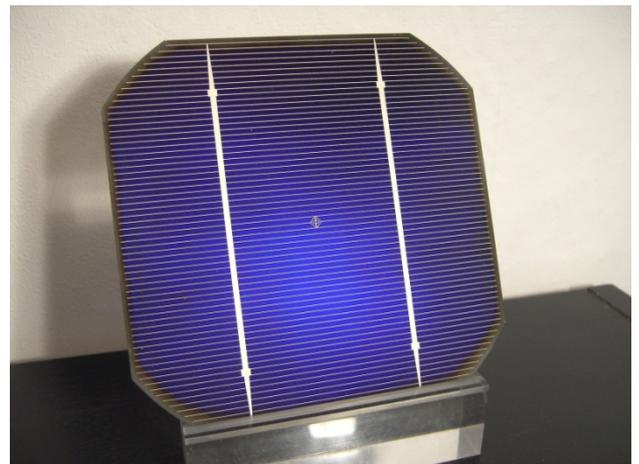
Vous pouvez maintenant déterminer la qualité biologique de l'eau des deux rivières (*Syre* et *Gander*) en utilisant la table de tolérance suivante: ☞ voir feuille réponses.

espèces de diatomées	Code	S	V
Question 2A : Diatomées et technologie (1 point)			
<i>Achnanthes saprophilum</i>	ADSA	3	1
Alfred Bernhard Nobel (1833- 1896) était un célèbre chimiste, ingénieur et inventeur suédois. Sa fortune personnelle a été utilisée pour instaurer à titre posthume les célèbres prix Nobel.	APED	4	1
Il a utilisé la terre de diatomées, une roche sédimentaire siliceuse pour sa plus fameuse invention.	CLCT	5	1
Laquelle des inventions suivantes l'a rendu riche et célèbre ? → Voir feuille réponses.	DMON	4	2
<i>Diatoma vulgare</i>	DVUL	4	1
Tableau I : tableau de référence pour la sensibilité à la pollution (S) et l'échelle de tolérance écologique (V) des diatomées représentées (voir la clé de détermination)			
<i>Eolimna minima</i>	EOMI	2,2	1
<i>Eolimna subminuscula</i>	ESBM	2	1
<i>Gomphonema olivaceum</i>	GOLI	4.6	1
<i>Gomphonema parvulum</i>	GPAR	2	1
<i>Mayamaea permitis</i>	MPMI	2.3	1
<i>Navicula cryptotenella</i>	NCTE	4	1
<i>Navicula gregaria</i>	NGRE	3.4	1
<i>Navicula lanceolata</i>	NLAN	3.8	1
<i>Navicula tripunctata</i>	NTPT	4.4	2
<i>Nitzschia dissipata</i>	NDIS	4	3
<i>Nitzschia sociabilis</i>	NSOC	3	3
<i>Nitzschia soratensis</i>	NSTS	1	3
<i>Rhoicosphenia abbreviata</i>	RABB	4	1
<i>Ulnaria ulna</i>	UULN	3	1

ACTIVITE 3 : SiO₂ dans la technologie des cellules solaires

Informations à propos des cellules solaires

Les cellules photovoltaïques ou les cellules solaires sont les éléments de base des **modules solaires** utilisés sur les toits (voir figure 3.1 ci-dessous). Ils ont une face bleue métallique ou noire, avec une surface de 100 cm². Les fines lignes argentées visibles à la surface (voir figure 3.2 ci-dessous) représentent une **grille de contact**. La surface est recouverte d'une **couche anti-réflexion**. Une couche de verre est alors utilisée pour protéger les cellules.



Quand elles sont éclairées, les cellules solaires convertissent l'énergie lumineuse en énergie électrique.

Une cellule solaire est faite de deux couches de semi-conducteurs en silicium (Si) dopés de façon différente. Dans la figure 3.3 ci-dessous, la couche supérieure est un semi-conducteur de **type n** alors que la couche inférieure est composée d'une matière semi-conductrice de **type p**. Les deux types de semi-conducteurs contiennent de petites quantités d'atomes dopants.

Dans un semi-conducteur de **type n**, chaque atome dopant possède un électron de plus que nécessaire pour intégrer la structure cristalline du silicium. Cet excès d'électrons se comporte de la même façon que des électrons mobiles dans un métal ; ils peuvent aussi produire un courant électrique. En perdant des électrons, les atomes dopants deviennent des ions dopants chargés positivement.

Dans un semi-conducteur de **type p**, chaque atome dopant possède un électron de moins que nécessaire pour intégrer la structure cristalline du silicium. Cette vacance, appelé trou, peut être occupé par un électron d'un atome de silicium proche créant ainsi un trou dans cet atome de silicium, qui lui-même sera occupé par un électron d'un autre atome de silicium, etc. Par conséquent, les trous sont libres de bouger et de se comporter comme des charges positives et mobiles. Comme les électrons libres de la couche n, ils peuvent aussi produire un courant électrique. En recevant des électrons, les atomes dopants deviennent des ions dopants chargés négativement.

Lorsque la couche n et la couche p sont mises en contact, les électrons de la couche n près de la jonction p-n s'associent avec les trous de la couche p. Le résultat de ce processus est la formation d'une zone appelée : zone de déplétion (sans aucun porteur de charge mobile) avec une distribution de charges, formée par les ions dopants comme illustré dans la figure 3.3. Cette distribution de charges crée une différence de potentiel électrique (tension électrique) dans la zone de déplétion.

Comme suggéré dans la figure 3.3, la couche supérieure (la couche n) de la cellule solaire est exposée à la lumière. C'est une couche très fine (0,5 à 1 μm) qui permet à un maximum de lumière d'atteindre la zone de déplétion. En général, la couche inférieure (couche p) a une épaisseur qui va de 300 μm à 500 μm .

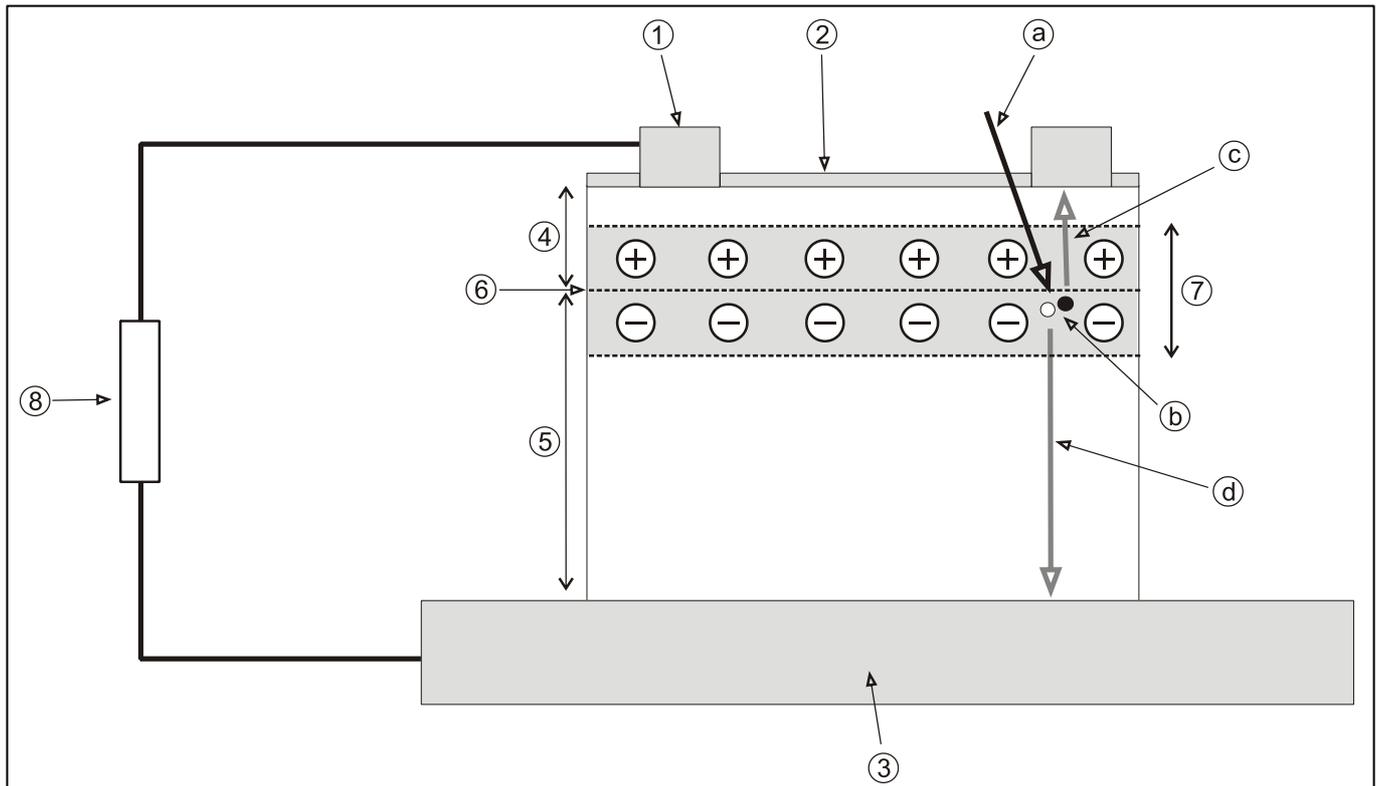


Figure 3.3 : structure d'une cellule solaire. (1) grille de contact ; (2) couverture anti-réflexion ; (3) base ; (4) semi-conducteur de type n ; (5) semi-conducteur de type p ; (6) jonction n-p ; zone de déplétion ; (7) résistance extérieure

Fonctionnement d'une cellule solaire : (a) photon incident , (b) création d'une paire électron-trou induit par le photon, (c) sens du mouvement de l'électron, (d) sens du mouvement du trou.

La lumière incidente arrivant sur la cellule solaire (= flux de photons) passe à travers la très fine zone n pour être ensuite absorbée par la zone de déplétion. L'énergie d'un seul photon absorbé peut être utilisée pour créer une paire électron-trou dans la zone de déplétion et aussi pour chauffer la cellule solaire. Cet événement a lieu avec une certaine probabilité, décrit par un rendement quantique. Dans une cellule solaire, lorsque le rendement quantique est élevé, une grande partie des photons incidents crée des paires d'électron-trou

La tension aux bornes de la zone de déplétion fait passer l'électron vers la couche supérieure (où celui-ci est collecté par la grille de contact) et conduit le trou vers la base. Si une résistance extérieure de valeur R est reliée à la cellule comme illustré dans la figure 3.3, l'électron repasse à travers la résistance vers la base, où il s'associe à nouveau avec le trou : un courant électrique circule.

Question 3A

Le **rendement** η du **module solaire** est défini par

(formule 1)

Si on éclaire le module solaire par un nombre important de photons par seconde (noté N), quels sont parmi les facteurs suivants ceux qui réduiront le rendement du module solaire ? (Les photons portant chacun suffisamment d'énergie pour créer une paire d'électrons)

- La réduction de N
- L'augmentation de la surface de la grille de contact
- La réflexion d'une partie de la lumière incidente
- Le choix d'une cellule solaire avec un rendement quantique plus faible
- L'augmentation de l'énergie des photons (supposant un rendement quantique non variable)
- L'augmentation de la saleté sur la couche de verre
- Une couche de semi-conducteur de type n plus épaisse
- Une couche de semi-conducteur de type p plus épaisse
- Le choix d'une résistance élevée
- Le choix d'une résistance faible

☞ Notez vos réponses sur la feuille de réponses.

Description des tâches

Vous devez :

- mesurer la tension U_{OC} du circuit ouvert aux bornes de la cellule éclairée et l'intensité du courant I_{SC} qui traverse la cellule.
- étudier les caractéristiques courant – tension et puissance – tension de la cellule
- étudier le montage en série et en parallèle de deux cellules solaires,
- et finalement, suggérer comment assembler de nombreuses cellules pour construire un module solaire avec une tension et une puissance de sortie données.

Equipement et matériel

- source de lumière (lampe halogène 120W/230V)
- 2 cellules solaires
- 2 multimètres
- 1 morceau de bois
- Un potentiomètre à résistances variables obtenues par combinaisons de 3 résistances (100 Ω , 10 Ω et 5 Ω) pouvant aller de 0 à 115 Ω .

- 7 fils de connexion
- Une règle
- 2 feuilles de papier millimétré

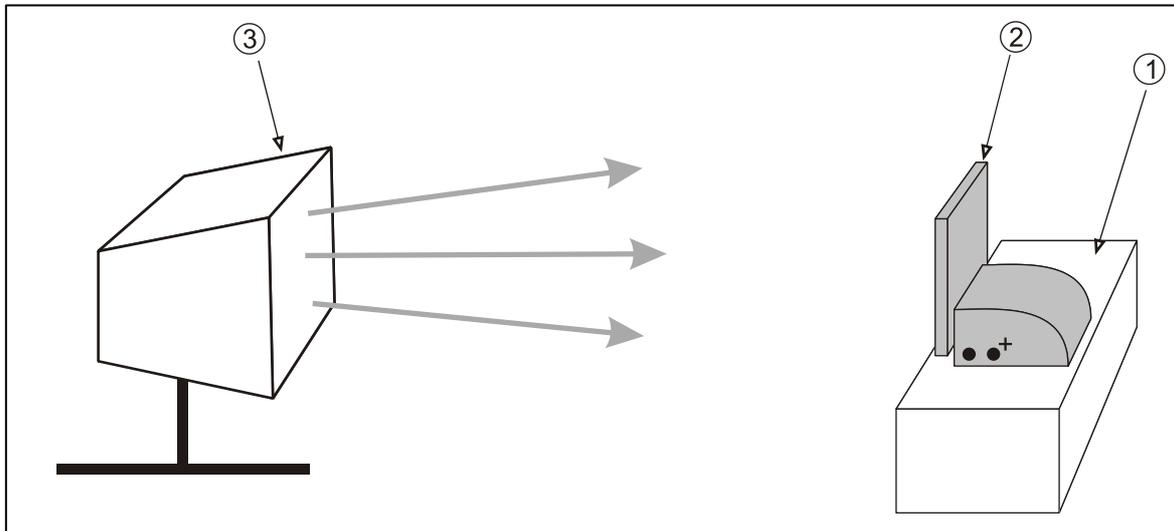


Figure 3.4 : Montage de l'expérience : (1) morceau de bois, (2) cellule solaire, (3) lampe

Réalisez le montage comme indiqué par la figure 3.4. La cellule doit être éclairée de façon optimale.

ATTENTION !!! Le boîtier noir de la lampe est très chaud

Activité 3.1 : tension U_{OC} en circuit ouvert et intensité du courant I_{SC} en court-circuit.

La distance entre la lampe et la cellule doit être d'environ 35 cm.

Pour mesurer la tension d'un circuit ouvert aux bornes de la cellule éclairée, branchez un multimètre comme montré dans la figure 3.5.

- notez le numéro de la source de lumière et le numéro de la cellule (située à l'arrière) sur votre feuille de réponse
- Tournez le bouton rotatif sur la position 2 V du multimètre (V=)
- Allumez la lampe et mesurez U_{OC} .
- Notez la valeur sur la feuille de réponse.
- Laissez la lumière allumée.

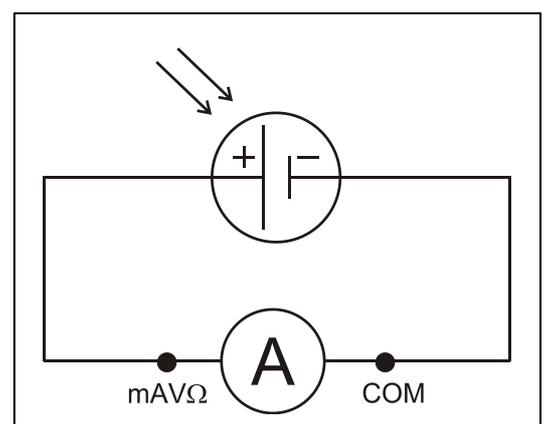
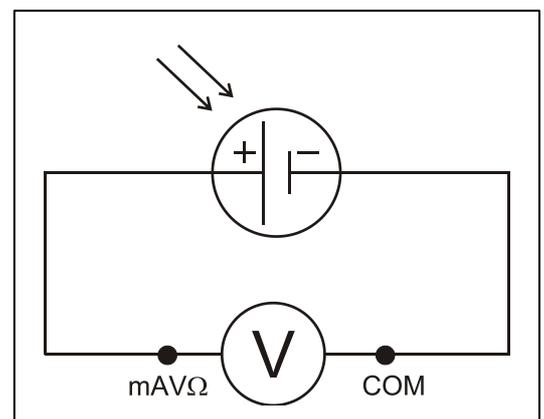


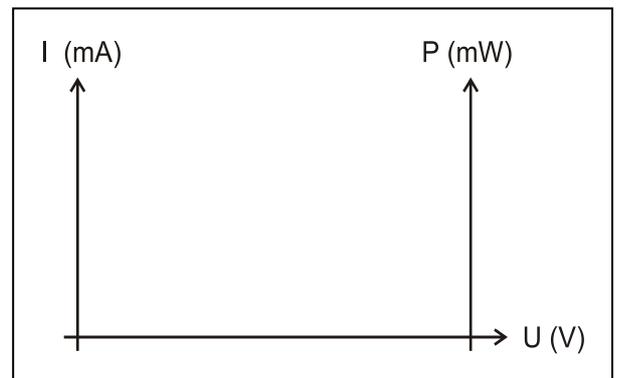
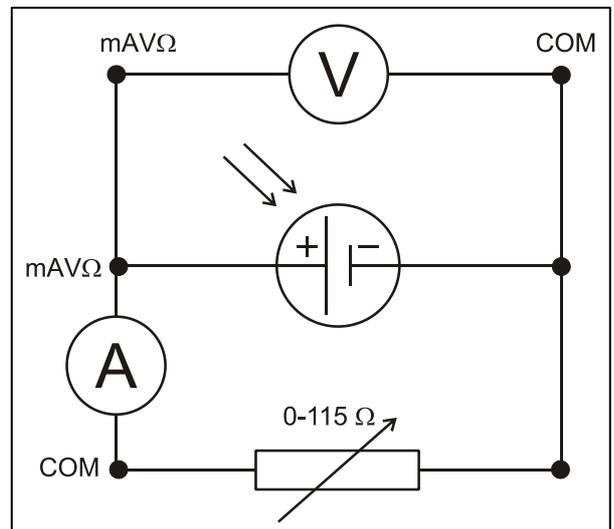
Figure 3.6: diagramme d'un court-circuit

Pour mesurer l'intensité du courant circulant dans la cellule éclairée, branchez le multimètre comme montré dans la figure 3.6.

- Tournez le bouton rotatif sur la position 200 mA du multimètre (A=)
 - Mesurez I_{SC} .
- ☞ Notez la valeur sur la feuille de réponse.

Activité 3.2 : caractéristiques courant–tension et puissance–tension

- Laissez la cellule solaire en place (à environ 35 cm de la lampe) et montez le circuit comme indiqué dans la figure 3.7. Utilisez le potentiomètre à résistances variables.
- Faites varier la résistance du potentiomètre (en **tournant doucement les boutons**) pour changer l'intensité du courant circulant dans le circuit.
- Mesurez l'intensité du courant I et la tension U dans la cellule pour différentes résistances de charge.
- Notez les valeurs de I et de U dans le tableau sur votre feuille de réponses.
- Tracez le graphe représentant l'évolution de l'intensité du courant I en fonction de la tension U comme indiqué dans la figure 3.8.
- Calculez la puissance électrique $P = UI$, et notez les valeurs dans le tableau sur votre feuille de réponses.
- Tracez le graphe représentant l'évolution de la puissance P en fonction de la tension U comme indiqué dans la figure 3.8.



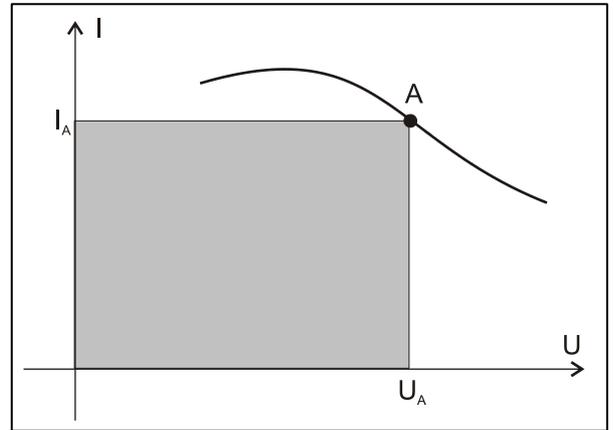
Quand la cellule solaire fonctionne avec une tension U_A et une intensité I_A , le point A correspondant sur le graphe I-U est appelé le point opératoire. (voir figure 3.9)

Le rectangle déterminé par U_A et I_A est appelé rectangle de puissance. La surface de ce rectangle associée au point opératoire A est égale à la puissance générée au point A.

Une cellule solaire devrait fonctionner à son point de puissance maximum avec les coordonnées (U_{max}, I_{max}) sur le graphe I-U.

Identifiez le point de puissance maximum sur votre graphe et dessinez le rectangle de puissance correspondant.

Notez les valeurs de U_{max} , I_{max} et P_{max} sur la feuille de réponse.



Question 3B

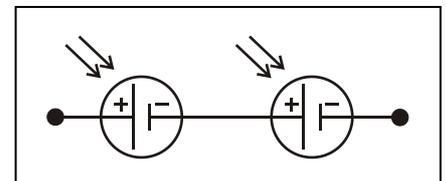
Le rendement de votre cellule solaire (voir formule 1) au point de puissance maximum est de l'ordre de 8%. Quelle est la puissance de la lumière incidente par unité de surface dans votre expérience. Notez vos résultats sur la feuille de réponses.

Activité 3.3 : Montages de cellules solaires

En pratique, dans un module solaire, les cellules sont assemblées en série et en parallèle. Le circuit que vous allez utiliser est celui de la figure 3.7, que ce soit pour une cellule simple ou deux cellules combinées.

Montages en série (voir figure 3.10)

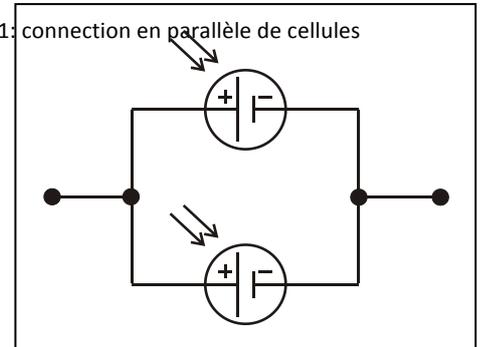
- Installez les deux cellules solaires devant la lampe à environ 50 cm pour qu'elles soient éclairées de façon optimale.
- Mesurez la tension aux bornes de chaque cellule, séparément, pour une intensité de courant de 40 mA.
- Reliez les deux cellules en série et mesurez la tension aux bornes de l'ensemble des deux cellules pour la même intensité de courant de 40 mA.
- Notez les numéros des deux cellules et les valeurs trouvées dans le tableau de la feuille de réponses.



Montages en parallèle (voir figure 3.11)

- Laissez les deux cellules solaires devant la lampe à environ 50 cm.
- Mesurez l'intensité du courant pour chaque cellule séparément.
- Pour une tension de 0,40 V, branchez les deux cellules en parallèle et mesurez l'intensité du courant aux bornes de l'ensemble des deux cellules pour la même tension de 0,40 V.
- Notez le numéro de la cellule et les valeurs trouvées dans le tableau de la feuille de réponses.

Figure 3.11: connection en parallèle de cellules



Question 3C

Considérons une cellule solaire avec un point de puissance maximum $U_{\max} = 0,4 \text{ V}$ et $I_{\max} = 0,125 \text{ A}$. En utilisant plusieurs cellules, construisez un module produisant (au point de puissance maximum) une puissance électrique de 15 W pour une tension de 12 V.

Pour cela, vous devez utiliser les montages en série et en parallèle.

- Combien de cellules faut-il brancher en série ?
- Combien de ces circuits en série faut-il brancher en parallèle ?

☞ Notez vos résultats sur la feuille de réponse