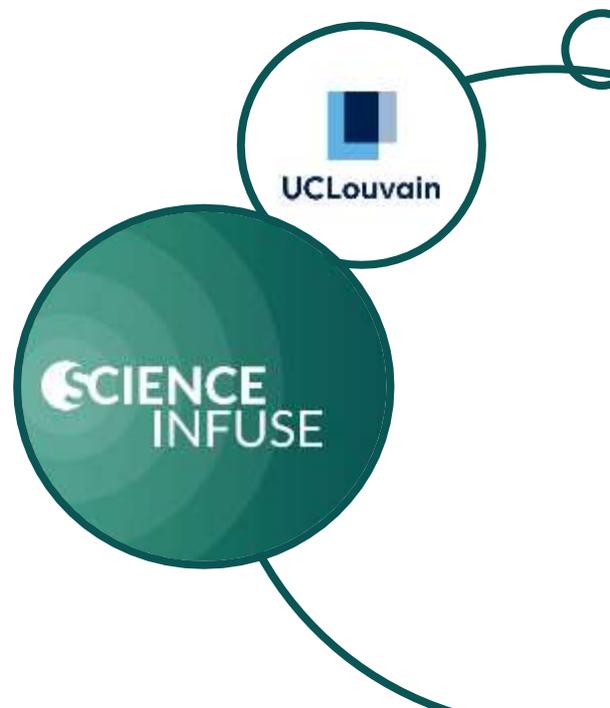
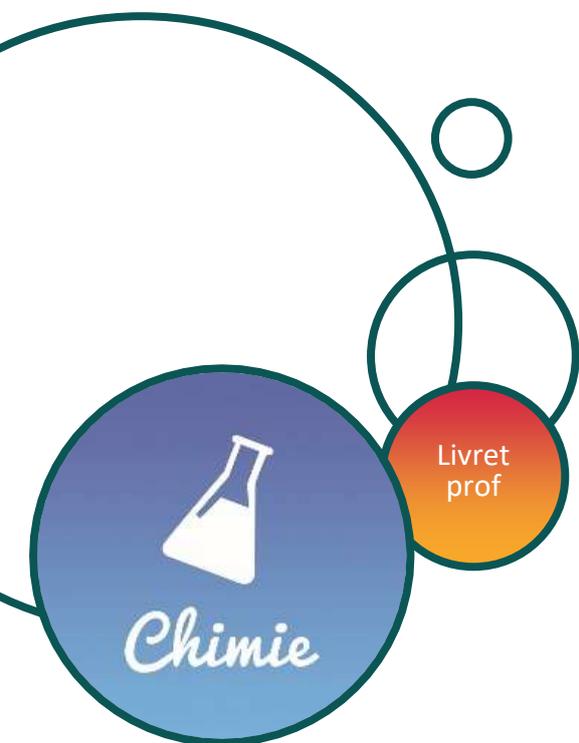


LES PILES

Dossier enseignant





Les piles

1. Introduction

L'objectif de cet atelier est de permettre à vos élèves, grâce à l'expérimentation, de comprendre le fonctionnement d'une pile et d'en fabriquer une. Au cours de cet atelier, les enfants réalisent des piles avec du matériel de la vie courante : du fromage, des taille-crayons, des crayons, des vis, du jus d'orange, du cuivre, du zinc, du magnésium, etc. Ces piles servent à faire fonctionner un petit moteur, une carte musicale, une ampoule ou encore une horloge.

Le livret professeur reprend les points suivants :

- Les modalités pratiques pour refaire cet atelier au sein de votre classe.
- Des ressources disponibles afin d'agrémenter votre cours sur l'électricité.
- Des conseils pour l'animation de l'atelier ainsi que le correctif du livret élèves.
- Quelques notions théoriques concernant les piles.

2. Matériel et réactifs

Cet atelier est facilement reproductible en classe. Voici la liste des réactifs et du matériel nécessaire à la réalisation de l'atelier avec 12 groupes de 2 élèves. Cette liste est donnée à titre indicatif, tous les éléments ne sont pas nécessaires. Un kit, en prêt gratuit à Scienceinfuse, peut être réservé à l'adresse <https://e-mediasciences.uclouvain.be/>.

Matériel

- 12 piles plates de 4,5 V
- 12 ampoules avec soquets
- 72 fils avec pinces crocodiles
- 48 lames de cuivre (ou clous en cuivre)
- 48 lames de zinc (ou clous en zinc)
- 48 gobelets
- 12 multimètres + câbles
- 12 ampoules Led
- 12 crayons
- 24 trombones
- 24 clous
- de la laine de verre

Réactifs

- oranges
- citrons
- pommes de terre
- terre
- yaourt
- coca-cola
- eau salée



3. Ressources disponibles

Afin d'aborder le thème de l'électricité et des piles, les kits suivantes sont disponibles à Scienceinfuse (Place Galilée, LLN)

- Aujourd'hui pour demain, les capteurs solaires (asbl Hypothèse)
- Eoliennes (asbl Hypothèse)
- Audit énergétique (Région Wallonne)
- Piles naturelles (Scienceinfuse)

Vous pouvez également consulter les sites suivants :

- <http://www.educapoles.org/fr/>
- <http://www.educ-energie.ulg.ac.be/>



4. Correctif du livret élève et pistes pour l'animation

a. Des objets contenant des piles

L'objectif de cette première partie est de faire prendre conscience aux élèves de l'omniprésence des piles dans leur quotidien.

Souvent, des propositions telles que « la télévision » ou « la radio » font surface. C'est l'occasion de discuter de la différence entre un appareil électrique fonctionnant « sur secteur » ou « avec des piles » ou encore des appareils pouvant faire les deux.

b. Quels sont les effets positifs et négatifs de l'utilisation de piles ?

Apports positifs	Apports négatifs
<i>Amélioration des conditions de vie de l'être humain ; la pile permet le fonctionnement de nombreux appareils pratiques tels que montre, calculatrice, appareil photo, etc.</i>	<i>Durée de vie limitée. Pollution car les piles contiennent des produits toxiques</i>
<i>Elle est petite</i>	
<i>Elle est transportable</i>	
<i>Elle peut être rechargée</i>	

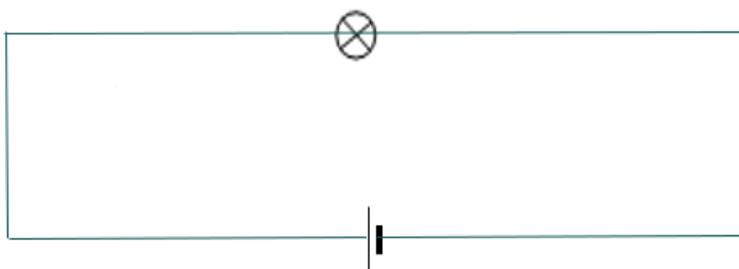


c. Premier défi : allumer une lampe avec une pile plate

Nous vous proposons de laisser faire les élèves, sans leur donner aucune consigne. Une fois le circuit réalisé, demandez-leur de faire différents tests (enlever un câble, l'accrocher ailleurs, etc.) et de mettre en évidence les éléments indispensables pour faire fonctionner la pile. Il nous semble important de souligner :

- Le caractère conducteur des métaux et isolants des non-métaux. Il est donc indispensable que la pince crocodile soit accrochée à une vis.
- Le fait que le circuit doit être fermé.

Voici un schéma correct du circuit réalisé.



d. Deuxième défi : construire une pile

Cette activité a pour objectif de faire découvrir aux élèves qu'une pile est composée de :

- Deux tiges de métaux différents. Ces tiges sont appelées **électrodes** et peuvent être en zinc, aluminium, fer, cuivre, or, argent, nickel, plomb, etc.
- Une substance conductrice (qui conduit l'électricité), appelée un **électrolyte**. Cette substance peut être très acide ou très basique.

e. Troisième défi : fabriquer la pile la plus performante

Durant cette activité, les élèves peuvent tester toutes les combinaisons qu'ils désirent. Il est souvent nécessaire de leur rappeler qu'il faut deux métaux différents et un électrolyte.

Au cours de leurs tests, ils vont faire les constats suivants, qu'il nous semble indispensable d'expliquer :

- La valeur affichée sur le voltmètre est parfois positive, parfois négative. S'ils inversent les câbles, les élèves constateront que la valeur affichée change de signe. Le plus simple, à ce stade, est de leur dire de ne pas tenir compte du signe affiché.



- La valeur affichée sur le voltmètre varie. Cela est dû au fait que les élèves bougent et que les contacts sont plus ou moins bons. Le mieux est d'utiliser des pinces crocodiles afin d'accrocher le voltmètre dans le circuit.
- La valeur affichée sur le voltmètre vaut parfois zéro alors que nous avons bien deux métaux différents qui baignent dans un électrolyte. Ceci est très probablement dû au fait que les deux métaux se touchent. Les électrons passent donc directement de l'un à l'autre sans emprunter le circuit extérieur.

Voici quelques exemples de résultats, donnés à titre indicatif.

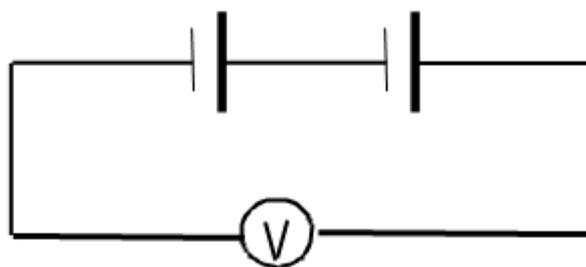
Métaux-électrodes	Solutions-électrolytes	Tension (volt)
<ul style="list-style-type: none"> • <i>Lame de zinc</i> • <i>Lame de cuivre</i> 	<i>Coca</i>	<i>0,98V</i>
<ul style="list-style-type: none"> • <i>Taille-crayon</i> • <i>Crayon</i> 	<i>Eau salée</i>	<i>1,02V</i>

f. Quatrième défi : comment augmenter encore la performance des piles ?

En terminant l'activité précédente, les élèves pourront constater qu'ils n'arrivent pas à produire plus de 1,5 à 2 V. Si nous voulons produire plus, il va falloir mettre les piles en série (c'est-à-dire les unes après les autres).

Les potentiels produits par chacune des piles s'additionnent. Attention, le contact entre « les deux piles » doit se faire entre deux métaux différents.

Voici le schéma du montage.





5. Quelques notions théoriques

Les piles et les accumulateurs permettent de produire de l'énergie électrique à partir de l'énergie chimique et présentent l'avantage de fonctionner de façon autonome. Actuellement, on retrouve les piles classiques, les piles à combustibles et les accumulateurs.

Dans la pile classique, les réactifs sont introduits en une fois et lorsqu'ils sont épuisés, on jette la pile.

Dans la pile à combustibles, les matières premières sont introduites au fur et à mesure du fonctionnement de la pile. Dès lors, de l'énergie électrique sera fournie aussi longtemps qu'on introduit des réactifs.

Les accumulateurs présentent la particularité de pouvoir être rechargés. Ils fonctionnent comme une pile classique lorsqu'on les décharge afin de produire de l'énergie électrique. Cependant, une fois les réactifs épuisés, on peut faire passer le courant dans le sens inverse : c'est la recharge. Dès lors, l'énergie électrique régénère les réactifs à partir des produits.

a. Constitution et fonctionnement

Une pile est formée de deux électrodes et d'un électrolyte. Une électrode est formée par un conducteur métallique qui conduit les électrons. L'électrolyte est la solution dans laquelle les électrodes sont plongées.

La pile fournit de l'énergie électrique par réaction d'oxydoréduction :

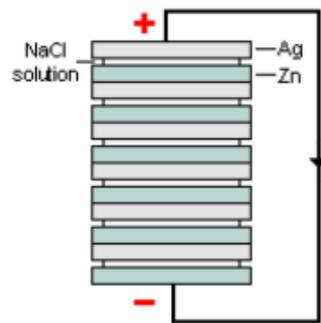
- L'oxydation se déroule à une des deux électrodes que l'on appelle ANODE ; celle-ci constitue la borne négative de la pile. Au cours de cette réaction d'oxydation, l'élément métallique va passer en solution en libérant des électrons : $M(s) \rightarrow M^{x+} + x e^-$
- La réduction se déroule à une des deux électrodes que l'on appelle CATHODE ; celle-ci constitue la borne positive de la pile. Au cours de cette réaction de réduction, les ions en solution se déposent, sous forme solide, sur l'électrode : $M^{y+} + y e^- \rightarrow M_{(s)}$

La somme des réactions d'oxydation et de réduction est la réaction d'oxydo-réduction. C'est elle qui fournit de l'énergie électrique. En effet, en reliant les deux électrodes par un circuit extérieur, nous obligeons les électrons produits à l'anode à circuler dans le circuit extérieur afin de rejoindre la cathode où ils seront utilisés comme réactifs.

b. Types de piles

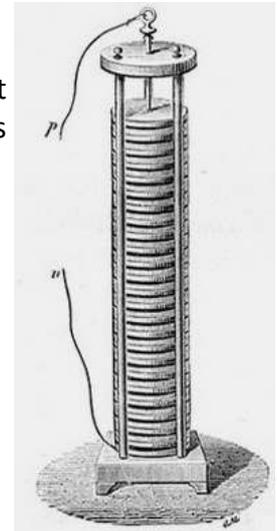
i. Pile Volta

En 1800, Volta annonça qu'il avait découvert la pile électrique. Il avait construit un appareil où étaient superposés des disques d'argent et des disques de zinc, séparés par des cartons imbibés d'eau salée.



Représentation schématique de la pile Volta

© Musée EDF Electropolis, Mulhouse
(<http://quick05.legtux.org/1/evo.php>)



Pile de Volta

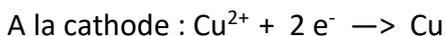
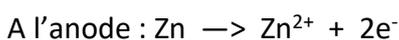
Gravure, XIXe siècle

© Musée EDF Electropolis, Mulhouse
(<http://www.cnes-observatoire.net>)

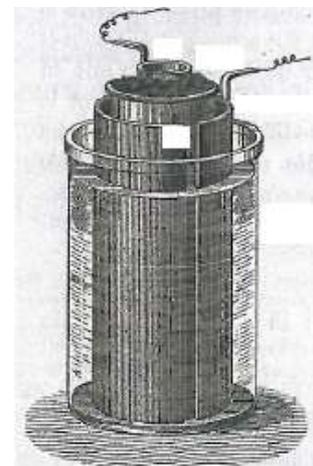
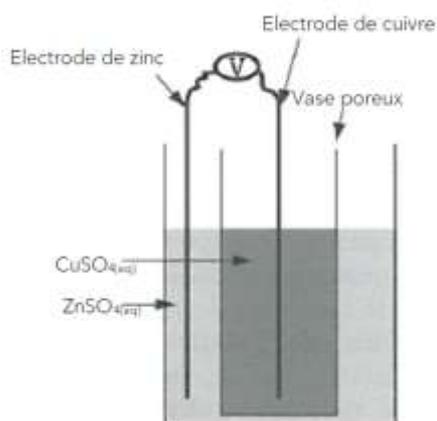
ii. Pile Daniell

En 1804, Daniell proposa un modèle avec un vase poreux contenant du zinc dans une solution de sulfate de zinc. La différence de potentiel ou tension mesurée aux bornes de cette pile était de 1,1 V, ce qui est plus élevée que celle de la pile de Volta (0,7 V).

Intéressons nous aux réactions chimiques :



La réaction globale est donc : $\text{Zn} + \text{Cu}^{2+} \rightarrow \text{Zn}^{2+} + \text{Cu} + \text{énergie électrique}$



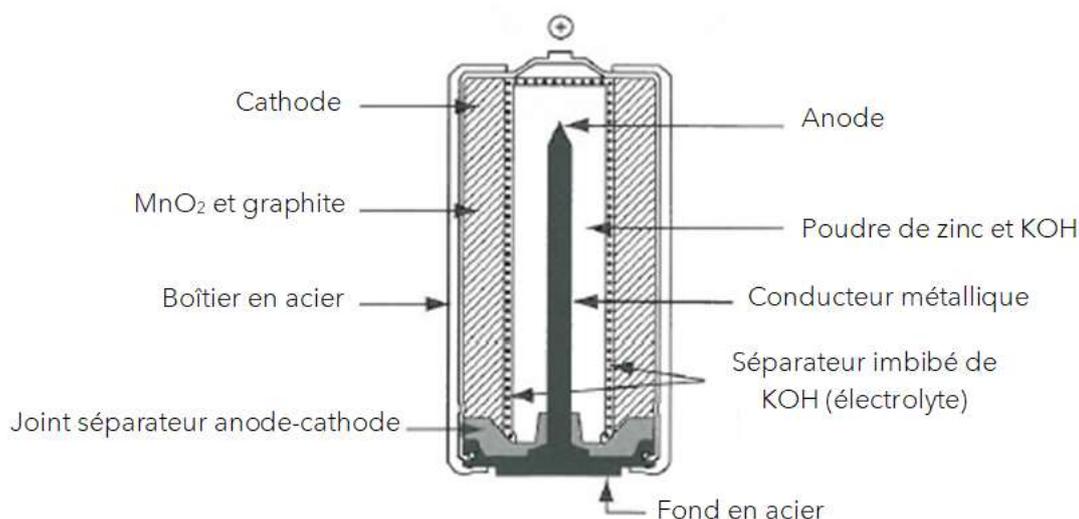
Représentations schématiques de la pile Daniell

(Pirson P., et al. Chimie 6e—sciences générales. De Boeck. 2011. Bruxelles. p.151)

iii. Pile alcaline

La pile alcaline est constituée :

- d'une anode constituée par un conducteur métallique placé au centre de la pile et en contact avec un gel de poudre de zinc et de KOH, d'où le nom de pile alcaline.
- d'un pont électrolytique de KOH qui permet le passage des ions.
- d'une cathode qui est un mélange homogène de MnO_2 et de poudre de carbone graphite afin d'améliorer la conductivité. Ce mélange est en contact avec le boîtier en acier qui forme un bouton au sommet de la pile.



Représentations schématiques de la pile alcaline

(Pirson P., et al. Chimie 6e—sciences générales. De Boeck. 2011. Bruxelles. p.153)

c. Toxicité et recyclage des piles

i. Récolte des piles usagées

En Belgique, on vend quelque 100 millions de piles par an. Lorsqu'elles sont usagées, certaines piles deviennent des déchets nocifs pour l'environnement. Mises en décharge, elles sont exposées aux intempéries. Leur enveloppe se détériore, leur contenu s'échappe et se trouve entraîné avec l'eau de pluie jusque dans les ruisseaux, les fleuves et les nappes phréatiques.

En Belgique, la société BEBAT organise depuis 1996 la collecte et le tri des piles usagées. Il y a près de 20 000 points de collecte dans les supermarchés, les écoles, les parcs à conteneurs, etc. Plus de 2 000 tonnes de piles sont récoltées chaque année, soit plus de 60%



des piles mises sur le marché. Après la collecte, le contenu des boîtes est trié pour séparer les piles boutons, les accumulateurs et les piles alcalines ou salines. Chaque catégorie de piles doit suivre une filière particulière pour être recyclée efficacement.

ii. Toxicité

Les piles sont des déchets dangereux, à l'origine de rejets de métaux lourds toxiques dans l'environnement (mercure, plomb, cadmium, zinc, nickel). Lorsqu'ils se retrouvent dans la chaîne alimentaire, les métaux lourds peuvent se révéler très toxiques pour l'homme ou pour l'animal. En effet, ils sont bien souvent cancérigènes et peuvent occasionner des allergies, des troubles du système reproducteur et des effets neurotoxiques.

De plus, la production exige beaucoup d'énergie (bien plus que l'énergie fournie par la pile lors de son utilisation) et une grande quantité de matières premières non renouvelables. Dès lors, la pollution due à la pile ne peut pas être limitée à la quantité de métaux lourds se trouvant après utilisation dans les déchets ménagers.

Notons que de toutes les piles ce sont les piles au mercure (pile bouton à oxyde de mercure) qui sont les plus dangereuses. En effet, une seule pile bouton contient assez de mercure pour polluer 500 litres d'eau pendant 50 ans! On reconnaît cette pile grâce au signe + entouré d'un cercle qui est gravé dessus.

- Mercure

Le mercure est un composé chimique toxique, surtout sous la forme de méthylmercure et de diméthylmercure. Ces deux composés sont facilement absorbés par les organismes vivants et se concentrent dans le cerveau et les reins. Ils s'éliminent très lentement. L'intoxication au mercure présente les symptômes suivants : fatigue, dérangements intestinaux, affections psychiques. Au niveau cellulaire, le mercure a des effets mutagènes et cancérigènes. Lorsque le mercure est rejeté dans les rivières, les microorganismes le transforment en méthyl et diméthylmercure. Ce dernier étant très volatil, il peut s'évaporer facilement pour retomber à d'autres endroits. Ainsi, même des lacs ou des rivières n'ayant jamais subi de rejet de mercure peuvent être contaminés. Le méthylmercure reste en milieu aquatique et pénètre dans la chaîne alimentaire (phytoplancton jusqu'au gros poissons puis aux oiseaux prédateurs). A chaque étape, la concentration est plus forte ; on parle de bio accumulation. Ainsi pour le brochet, la concentration du mercure peut être 3 000 fois plus élevée que celle de l'eau dans laquelle il vit.

- Cadmium

Comme dans le cas du mercure, ce qui menace l'homme est une intoxication lente due à l'accumulation continue de cadmium dans l'organisme. Ce métal s'accumule dans les reins et finit par provoquer une insuffisance rénale chronique. Ce qui menace réellement la santé de l'homme c'est la présence de cadmium dans l'eau potable.



- Plomb

Le plomb est toxique et s'accumule dans l'organisme au fil du temps. Les organes les plus sensibles sont le sang, la rate, la moelle, le système nerveux et les reins. L'absorption du plomb se fait par la nourriture et par l'inhalation de poussières.

- Zinc

En trop grande quantité, le zinc peut provoquer des douleurs d'estomac, des effets mutagènes et des aberrations chromosomiques. L'homme se contamine par l'alimentation.

- Nickel

Le nickel pose des problèmes d'allergies et d'eczéma. La contamination peut se produire lorsqu'on mange fréquemment des aliments cultivés sur un sol fortement pollué par du nickel. En effet, le nickel s'accumule dans les cultures et sa concentration peut devenir très importante dans les légumes.

- Manganèse

Une intoxication chronique au manganèse via l'eau contaminée se traduit par des atteintes neurologiques.

iii. Recyclage

Lors du recyclage, les piles sont séparées en quatre catégories : les piles boutons, les piles alcalines et salines, les piles rechargeables et les accumulateurs au plomb.

- Recyclage des piles boutons

Les piles boutons pouvant contenir du mercure sont envoyées chez Indaver Relight, près d'Anvers. Elles sont placées sous une cloche chauffante que l'on porte à 600°C. Sous l'effet de la chaleur, elles s'ouvrent et laissent s'échapper le mercure qui s'évapore. Un système automatique aspire ces vapeurs puis les refroidit. On obtient ainsi du mercure suffisamment pur qui sera revendu à l'industrie chimique. De leur côté, les carcasses des piles en acier sont récupérées et vendues à des aciéries.

- Recyclage des piles alcalines et salines

Les piles alcalines et salines sont envoyées chez Revatech à Engis. Dans une première phase, elles seront broyées. Grâce à un électro-aimant, on récupère les carcasses métalliques qui constituent une bonne part de la pile et qui sont revendues à des aciéries. Le reste est tamisé pour extraire le zinc métallique qui est revendu, ainsi que les fragments de plastique que l'on utilise comme combustible pour produire de l'énergie. Mais on obtient surtout une grande quantité de "masse noire". C'est un mélange riche en zinc et manganèse. Pour extraire ces métaux, on lave la poudre et on la dissout dans de l'acide. Après une série de traitements,



ces métaux seront utilisés pour la fabrication de composants électroniques destinés, par exemple, aux écrans d'ordinateurs.

- **Recyclage des piles rechargeables**

Les piles rechargeables au Ni-Cd sont traitées dans le sud de la France, dans les usines de la S.N.A.M. qui traitent les piles du monde entier pour en recycler le nickel et le cadmium. Si elles sont contenues dans des enveloppes en plastique, la première opération consiste à briser celles-ci pour en extraire les accumulateurs. Ceux-ci sont traités par pyrolyse. On brûle les déchets qui y sont mélangés tels que la peinture, les tissus séparateurs ou les résidus de plastique. L'opération est effectuée à une température relativement basse pour éviter que le cadmium ne commence à s'évaporer. Les accumulateurs sont ensuite placés sous une cloche chauffante qui les porte à une température nettement supérieure. Le cadmium s'évapore alors et s'échappe des accumulateurs. Par refroidissement, on obtient des lingots de cadmium. On récupère également le nickel qui est vendu pour la production d'acier. Les lingots de cadmium seront fondus une nouvelle fois pour atteindre un degré de pureté de 99,99%, puis il est coulé sous différentes formes. Il servira notamment à la fabrication de nouveaux accumulateurs.

- **Recyclage des piles et accumulateurs au plomb**

Le recyclage de ces petits accus se passe à Beerse, en Campine. Les batteries sont broyées afin d'en séparer les fractions de plastiques, d'acide et de plomb. Le plomb utilisé dans ces batteries est un alliage contenant une faible quantité d'antimoine ou de calcium. Il est traité dans un haut fourneau. On l'y fond pour le séparer des autres matières par simple gravité ; puis on le coule en lingots d'une tonne. Le plomb subira encore un raffinage pour en extraire certaines impuretés. Il est d'une qualité égale au plomb de première fusion provenant des mines. Il sera utilisé par exemple, pour la production de nouvelles batteries ou de matériaux pour le bâtiment.

d. Adaptation de nos comportements

Si les piles sont indispensables pour certains usages (pace maker, appareils auditifs), de nombreux appareils peuvent s'en passer : les montres, les calculatrices, les balances de cuisine, les réveils, etc. Lorsqu'on est amené à faire un achat, portons notre préférence sur des appareils fonctionnant avec d'autres sources d'énergie ou sur secteur. Ils sont plus écologiques et beaucoup plus économiques !

Renonçons aussi aux gadgets à piles (cartes de vœux musicales, baskets lumineuses, etc.) qui de plus finissent bien souvent leur (courte) vie à la poubelle. Veillons aussi à offrir à nos enfants des jouets sans pile.

Si on ne peut faire autrement que d'utiliser des piles, choisissons des piles rechargeables. Leur utilisation est déjà plus écologique. Parmi les piles rechargeables choisissons les piles les moins nocives pour l'environnement : celles au nickel-hydrure (NiMH).



Si nous ne pouvons utiliser des piles rechargeables, utilisons des piles "dites" sans mercure : piles "vertes" ou "Green Power".

En ce qui concerne les piles boutons, les moins polluantes sont celles au lithium. Viennent ensuite celles à oxyde d'argent et les piles zinc/air. Il n'existe pas de piles boutons rechargeables.

Après utilisation, surtout ne jetons jamais nos piles dans la nature ou dans la poubelle. Participons à la collecte BEBAT. Veillons à enlever les piles des objets que nous jetons à la poubelle.

e. Idée de prolongement

Afin d'aborder la problématique de la pollution et du recyclage des piles, nous vous proposons l'activité suivante.

Ce dimanche, Xavier et son frère Rudy se promenaient lorsque Rudy a jeté les piles usagées de sa lampe de poche dans l'étang. Xavier est scandalisé par ce geste car en classe après avoir étudié le fonctionnement des piles, le professeur leur avait dit qu'il ne fallait jamais les jeter dans la nature. Il aurait aimé expliquer à son frère pourquoi son geste est dangereux et non respectueux pour l'environnement mais des données lui manquaient...Il ne connaît pas assez le sujet. Lundi, il demande à son professeur d'approfondir ses connaissances. Ensemble, ils décident de créer un fascicule pour informer les élèves et leur famille. Le fascicule répondra aux questions suivantes :

- Au niveau environnemental, quelles sont les incidences du geste de Rudy ? Y a-t-il un danger pour la vie dans l'étang ? Et pour notre santé ? Quel volume d'eau a été pollué par cette pile ? Pour combien de temps ?
- Pourquoi récolte-t-on les piles ? Depuis quand ? Combien de piles sont récoltées ? Toutes les piles sont-elles récoltées ? Comment peut-on trier nos piles ?
- Toutes les piles ont-elles la même toxicité ? Quels sont les composants nocifs contenus dans les piles ?
- Que fait-on avec les piles récoltées ? Recyclage des piles boutons, des piles bâtons et des batteries.
- Comment peut-on changer notre comportement en matière d'utilisation des piles ?



f. Fonctionnement de la pile naturelle

Comme la plupart des aliments, le citron contient des ions divers (à des concentrations très faibles). Lorsque le zinc métallique entre en contact avec l'acide citrique, l'acide attaque les atomes de zinc qui se transforment en ions zinc (Zn^{2+}) chargés positivement et cela entraîne la libération de deux électrons : $\text{Zn} \rightarrow \text{Zn}^{2+} + 2 \text{e}^-$

Au contact de l'acide du citron, le cuivre se charge positivement. Les ions Cu^{2+} étant un oxydant plus fort que les ions hydronium (H_3O^+) présents dans l'acide citrique, ils attirent la plupart des électrons détachés du zinc : $\text{Cu}^{2+} + 2 \text{e}^- \rightarrow \text{Cu}$

Pour que les électrons circulent, il faut une connexion entre le zinc et le cuivre : un circuit. Dès lors, le cuivre attire les électrons issus du zinc. La tension créée provient donc de la différence relative qui existe entre la faculté du zinc et celle du cuivre à échanger leurs électrons.