

Séquence 13 Optimisation de la gestion et de l'utilisation de l'énergie

Contenu : Transport et stockage de l'énergie. Accumulateur électrochimique et pile à combustible. Sous-produits de l'industrie nucléaire. Décroissance radioactive. Effet de serre.

Compétences : Rechercher et exploiter des informations pour comprendre : la nécessité de stocker et de transporter l'énergie ; l'utilisation de l'électricité comme mode de transfert de l'énergie ; la problématique de la gestion des déchets radioactifs. Analyser une courbe de décroissance radioactive. Faire preuve d'esprit critique : discuter des avantages et des inconvénients de l'exploitation d'une ressource énergétique, y compris en terme d'empreinte environnementale.

Exploiter les informations d'un document pour comparer l'utilisation de différentes ressources énergétiques.

I – Les problèmes liés à l'exploitation des ressources

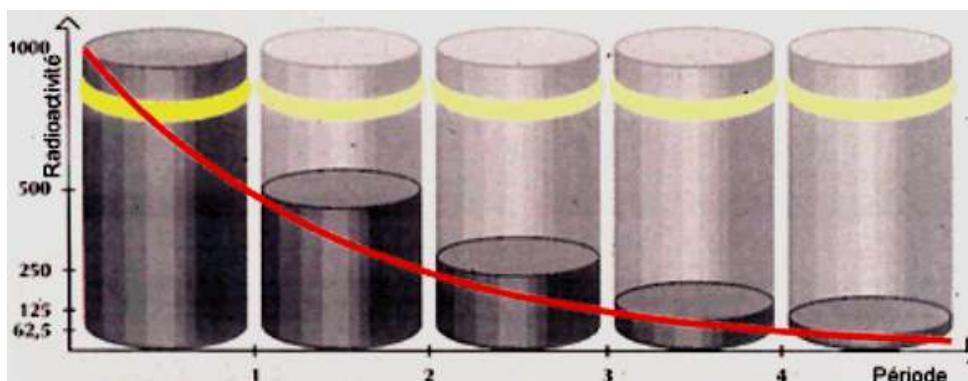
1) Le traitement de déchets radioactifs

Document 1 : La radioactivité

La radioactivité n'a pas été inventée par l'homme. Elle fait partie de l'environnement naturel, aussi bien dans l'écorce terrestre que dans l'air, le corps humain, ou les aliments. Depuis sa découverte par Henri Becquerel, à la fin du XIXe siècle, ses propriétés sont utilisées dans de nombreuses applications industrielles, militaires, médicales, de recherche... Le niveau de radioactivité, appelé activité, se mesure en Becquerel (Bq). Il correspond au nombre d'atomes qui se désintègrent par unité de temps (seconde).

Document 2 : Niveau d'activité et durée de vie

La durée de vie des radionucléides (durée pendant laquelle les noyaux instables émettent des rayonnements), est très variable, d'un noyau à l'autre. On appelle période radioactive (ou demi-vie) le temps au bout duquel une matière radioactive perd naturellement la moitié de sa radioactivité.



Ainsi au bout de 10 périodes radioactives, la radioactivité d'un produit est divisée par 1 000.

Document 3 : Quelques exemples d'activités

Le tableau suivant donne des exemples d'activités pour 1 gramme de matière (Iode 131, Césium 137, Plutonium 239 et Uranium 238).

Radioélément	Symbole A_ZX	Période	Activité par gramme de radioélément (Bq)
Iode 131		8 jours	4,6 millions de milliards de Bq
Césium 137		30 ans	3 200 milliards de Bq
Plutonium 239		24 000 ans	23 milliards de Bq
Uranium 238		4,5 milliards d'années	12 300 Bq

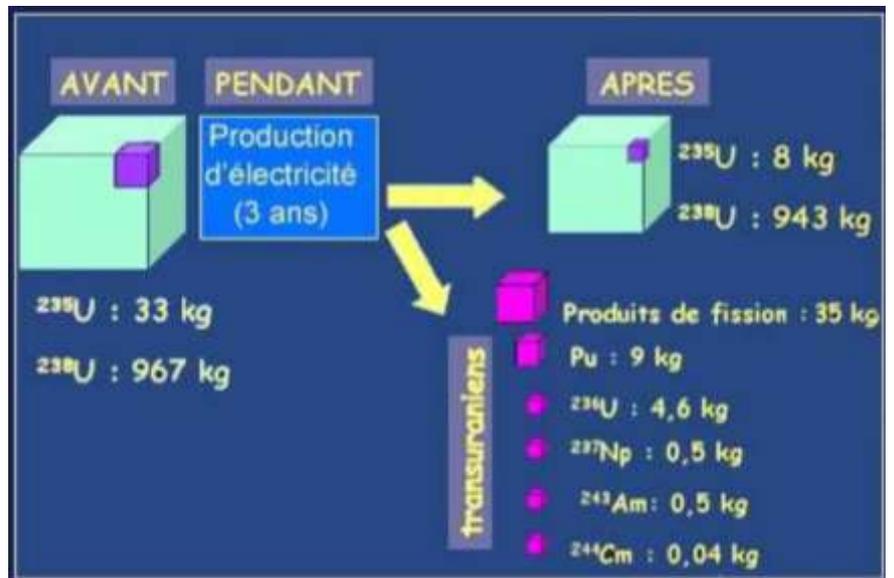
Document 4 : Vidéo sur la nature des déchets radioactifs

<http://energie.edf.com/html/video/production/nucleaire/dechets/player.html>

Document 5 : Composition du combustible usé, quelques chiffres (source : La radioactivité.com)

La composition du combustible irradié extrait du cœur d'un réacteur dépend de la quantité initiale de matière fissile et de l'énergie qui en a été extraite. Nous prendrons l'exemple d'un réacteur conventionnel REP de 1 Gigawatt de puissance électrique, représentatif du parc électronucléaire français, chargé avec de l'uranium enrichi à 3,5 %. Une tonne de combustible neuf contient 965 kg d'uranium-238 et 35 kg d'isotope 235 fissile.

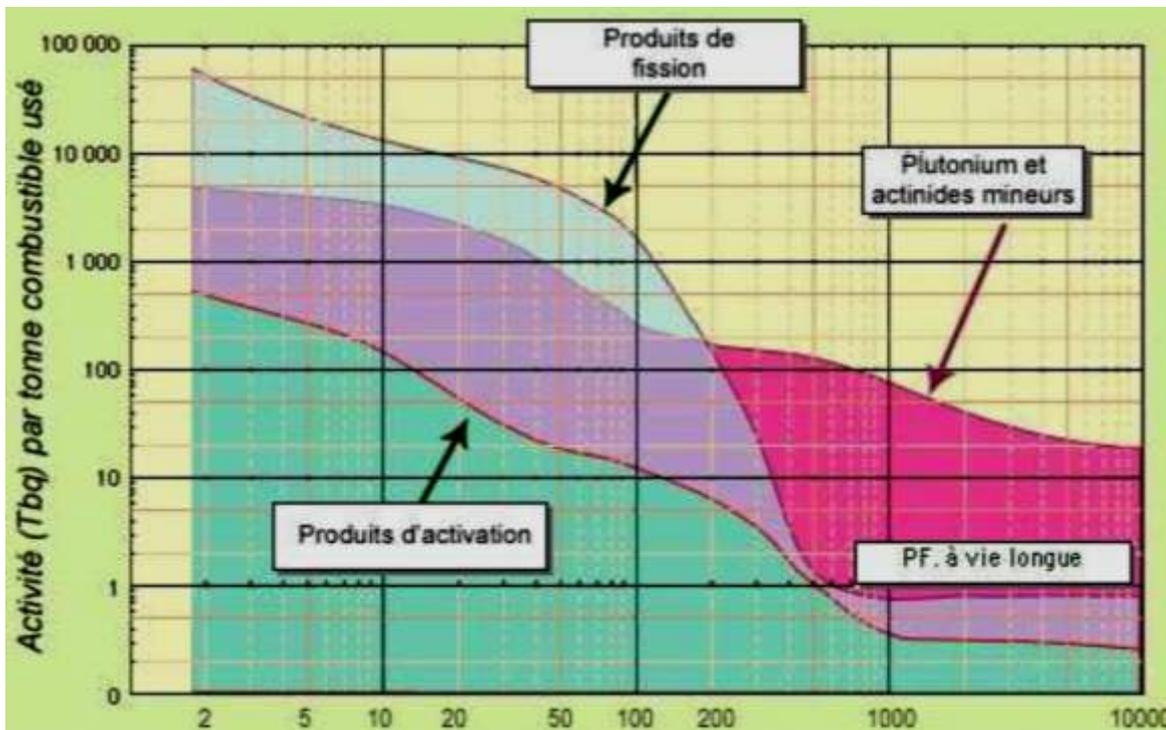
Répartition (en kg par tonne de combustible) et masse produite des principaux éléments radioactifs retrouvés lors de la décharge d'un cœur irradié d'un réacteur à eau pressurisée. (Source : Isabelle Billard). © IRes/IN2P3



Lors du déchargement, l'uranium-238 est à peine entamé : le combustible en contient encore 941 kg. Des 35 kg d'uranium-235 qui ont servi à produire de l'énergie électrique produite par le combustible, il ne subsiste que 10 kg. Il reste donc à peu près 1 % d'isotope 235 fissile, plus que dans l'uranium naturel (0,7 %) et il peut être intéressant d'enrichir cet uranium usé afin de le recycler. L'irradiation du combustible a également généré trois catégories d'éléments :

- 1) Des produits de fission à raison d'environ 33kg par tonne de combustible. Ils proviennent de la fission de l'uranium-235 et de celle du plutonium formé durant l'irradiation. Une partie des produits de fission a atteint la stabilité quand le réacteur est déchargé, mais le reste est très radioactif.
- 2) Des actinides, noyaux plus lourds que l'uranium obtenus lorsque l'uranium capture un ou plusieurs neutrons sans fissionner. On retrouve ainsi presque 10 kg de plutonium, soit environ 1 % en masse. L'isotope 239, fissile, est le plus abondant (5,7 kg). Les actinides autres que le plutonium (neptunium, américium, curium) sont moins abondants, à raison d'environ 800 grammes au total par tonne de combustible. On les appelle actinides mineurs. Le principal actinide mineur est le neptunium-237.
- 3) Les produits d'activation issus de l'irradiation des matériaux situés dans les parties chaudes du réacteur, en particulier, les éléments métalliques de structure, les grilles de support et les gaines qui enrobent les pastilles de combustible. Les produits d'activation sont radioactifs, mais ils ont presque tous une période courte. De plus, on peut en limiter la quantité en choisissant avec soin les éléments présents dans ces structures. On a mis par exemple au point des nuances d'acier au zirconium, où l'on minimise la teneur en cobalt, ce qui réduit la formation de cobalt-60, très radioactif.

Document 6 : Décroissance naturelle du combustible usé



Questions (documents 1 à 3)

- 1) Donnez la définition de l'activité d'un échantillon. Indiquez son unité.
- 2) Recopiez la définition correcte de la période radioactive ou demi-vie :
« La période radioactive est le temps au bout duquel la moitié des noyaux radioactifs se sont désintégrés ».
« La période radioactive est le temps au bout duquel la moitié des noyaux radioactifs se désintègrent ».
« La période radioactive est le temps au bout duquel la moitié des noyaux radioactifs ont été désintégrés ».
- 3) N_0 est le nombre de noyaux radioactifs initial. Combien reste-t-il de noyaux au bout d'une durée égale à une période ? deux périodes ?

Application

Le nuage radioactif rejeté les 25 et 26 avril 1986 par le réacteur 4 de la centrale de Tchernobyl avait une activité voisine de $2 \cdot 10^{18}$ Bq. Il contenait de l'iode 131.

Calculez la valeur de l'activité du nuage radioactif au bout de 8 jours ? de 24 jours ?

Classer (document 4) : selon quels critères sont classés les déchets radioactifs ?

Déchets	à très faible activité TFA	de faible et moyenne activité FA et MA	à haute activité et vie longue HAVL
Période radioactive			
Activité			
Origine			
Masse par kWh produit			
Volume annuel			
% de déchets radioactifs			
Type de conditionnement			
Type de stockage			
Département de stockage			
Organisme chargé de la gestion de ces déchets			
Premier lieu de stockage provisoire			
Premier conditionnement			
Lieu de retraitement et organisme			
Conditionnement après retraitement			
Deuxième stockage provisoire			
Stockage définitif			

Réfléchir (documents 5 et 6)

- 1) Recherchez les périodes des différents éléments radioactifs du document 5.
- 2) Dans 100 ans, quelle sera l'activité « naturelle » des différents sous-produits ?
- 3) Pourquoi le combustible utilisé est-il retraité ?
- 4) Quels sont les critères pris en compte pour stocker ces déchets radioactifs ?

- 2) Recherchez sur internet les différents modes de transport du pétrole ou du gaz en précisant leur nature.
- 3) Élargissez la recherche au transport de l'électricité.

III – Pourquoi stocker l'énergie ?

- 1) Parmi les énergies étudiées, quelles sont les ressources énergétiques stockables ? Donnez un exemple de forme de stockage possible.
- 2) La consommation d'un particulier ou d'une entreprise est-elle constante sur une journée ou une semaine ? Déduisez de votre réponse en quoi il peut devenir nécessaire d'adapter ou de stocker l'énergie ?
- 3) Une rupture dans l'approvisionnement en énergie d'un particulier ou d'une entreprise peut-elle avoir des conséquences sur l'un ou l'autre ? Citez des exemples
- 4) En conclusion, citez quelques arguments qui expliquent la nécessité de stocker l'énergie.

IV – Comment stocker l'énergie ?

1) Pile à combustible

Document 1 : d'après cea.fr

Mais pourquoi avoir recours à l'hydrogène pour produire de l'électricité ? Pourquoi ne pas produire directement de l'électricité ? En fait, l'hydrogène apporte à l'électricité la souplesse d'utilisation qui lui fait défaut. [...]. Ainsi, avec une réserve d'hydrogène et une pile à combustible, il devient possible de produire de l'électricité n'importe où et n'importe quand, sans être relié au réseau électrique.

Le développement de la filière hydrogène repose en grande partie sur la technologie de la pile à combustible (PAC). Son principe n'est pas nouveau, puisqu'il fut découvert dès 1839 par William R. Grove. À l'époque, cet avocat anglais, chercheur amateur en électrochimie, constate qu'en recombinaison de l'hydrogène et de l'oxygène, il est possible de créer simultanément de l'eau, de la chaleur et de l'électricité. La pile à combustible est née. C'est Francis T. Bacon, ingénieur, qui réalisera, en 1953, le premier prototype industriel de puissance notable (de l'ordre du kW). Mais seule la Nasa exploitera, dans les années 60, cette technologie pour fournir en électricité certains de ses vaisseaux Gemini et Apollo. Car si le principe de la PAC paraît simple, sa mise en œuvre est complexe et coûteuse, ce qui interdisait jusqu'alors sa diffusion dans le grand public. Aujourd'hui, des progrès ont été réalisés et les applications envisageables sont nombreuses. De la microPAC, qui ne produit que les quelques watts nécessaires à l'alimentation d'un téléphone mobile, à la pile capable de produire 1 MW pour fournir de l'électricité à un immeuble collectif, en passant par la pile destinée aux applications embarquées, dans le secteur des transports, il existe désormais toute une gamme de PAC. Le principe de fonctionnement est toujours le même, mais différentes technologies sont en développement.

Document 2 : Animation « Fonctionnement de la pile à combustible »

<http://www.cea.fr/jeunes/mediatheque/animations-flash/a-la-loupe/fonctionnement-de-la-pile-a-combustible>

Questions

- 1) Quelles sont les matières premières nécessaires au fonctionnement de la pile à combustible ?
- 2) D'où peuvent-elles être tirées ?
- 3) Dans quels buts cette technologie est-elle développée ?
- 4) Quels sont les problèmes qui freinent son développement ?

2) Accumulateur électrochimique

Document 3 : d'après <http://voiture-electrique.durable.com/>

a. Fonctionnement d'une batterie électrique

Il existe plusieurs façons de stocker de l'énergie électrique. Pour les voitures électriques, elle est stockée dans des batteries qui sont des accumulateurs électrochimiques. C'est alors une réaction chimique entre les composants de la batterie qui fournit de l'électricité.

b. Principe chimique

Toute batterie se compose de trois éléments. Une anode, qui est le pôle négatif, une cathode, qui est

le pôle positif et un électrolyte, qui est l'élément (liquide ou solide) conducteur permettant le passage du courant entre ces deux pôles.

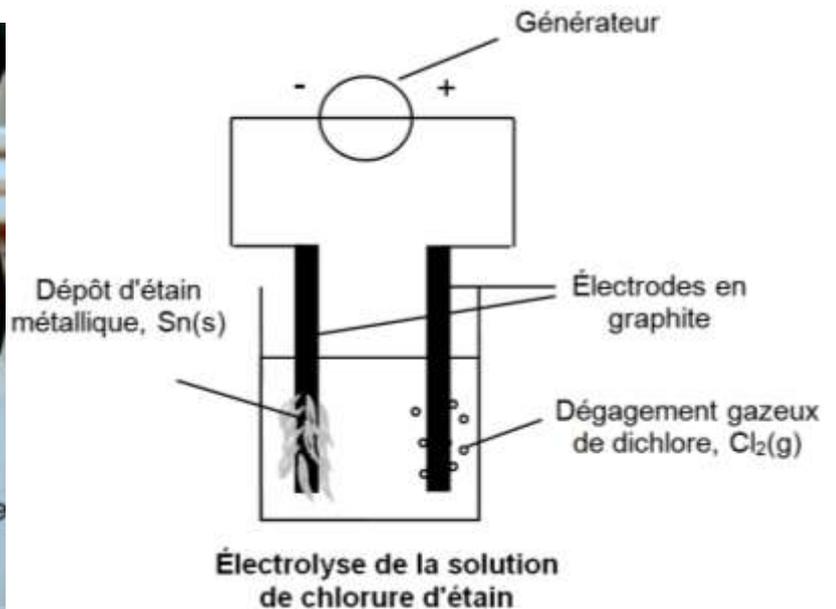
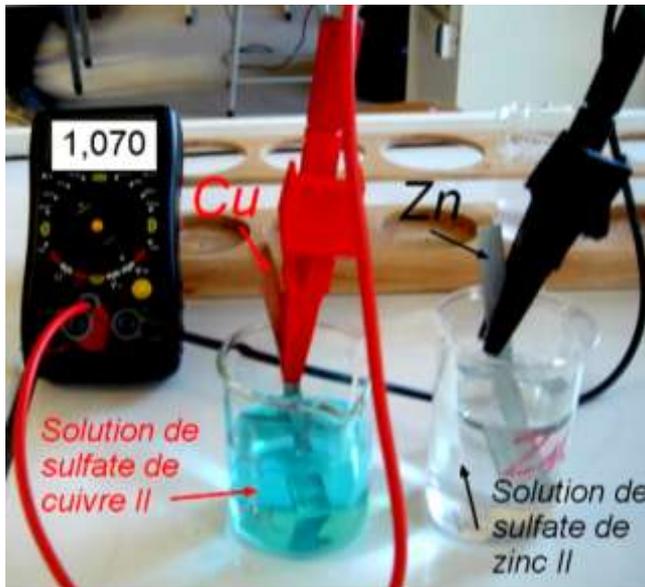
Un courant électrique est un déplacement d'électrons. Le fonctionnement de la batterie repose sur une double réaction chimique à chaque pôle de la batterie qui va opérer un transfert d'électrons :

- l'anode cède des électrons : cette demi-réaction est une oxydation ;
- la cathode les récupère : cette demi-réaction est une réduction.

Durant cette réaction d'oxydoréduction, les électrons passent d'un pôle à l'autre de la batterie grâce aux ions. Un ion est un élément chimique (un atome ou une molécule) qui est électriquement chargé. S'il "manque" des électrons à un ion il est chargé positivement et vice versa. Dans la batterie, c'est la réaction chimique qui produit des ions grâce aux métaux qui constituent l'anode ou la cathode et des éléments chimiques présents dans l'électrolyte.

Ainsi, le fonctionnement d'une batterie, qu'elle soit au plomb ou encore au lithium, repose sur l'utilisation de couples de métaux capables d'échanger des électrons.

Exemple de pile



c. Utilisation de la batterie

Concrètement, quand on utilise la batterie pour fournir du courant, la réaction d'oxydo-réduction se produit normalement et les électrons migrent, grâce aux ions, de l'anode vers la cathode. La batterie fonctionne ainsi jusqu'à qu'il n'y ait plus assez d'éléments chimiques disponibles pour produire de nouveaux ions, la batterie cesse alors de fournir du courant, et il faut la charger en la soumettant à un courant électrique extérieur. La réaction ou électrolyse se produit alors en sens inverse.

Questions :

- 1) Quelle est la différence entre une pile et un accumulateur ?
- 2) L'accumulateur peut-il être utilisé ailleurs que dans une voiture ?
- 3) L'accumulateur est-il un moyen physique ou chimique de stocker de l'électricité ?