

Chapitre 3: Les matières radioactives et l'énergie nucléaire

Introduction :

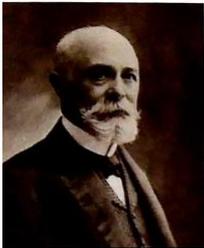
Tous les scientifiques, prévoient, pour le proche avenir, l'épuisement de la plupart des ressources énergétiques fossiles, si la demande sur cette énergie continue à s'accroître à la même cadence. Les recherches dans le domaine des énergies se sont orientées vers l'énergie nucléaire, basée sur l'utilisation des éléments radioactifs. Ces éléments radioactifs sont utilisés dans plusieurs domaines. Cependant, malgré leurs applications dans ces divers domaines, ils présentent des dangers pour la santé et l'environnement.

- **Quelles sont les avantages des éléments radioactifs et quel est leur impact sur la santé et l'environnement ?**

I. Les éléments radioactifs et la radioactivité :

1. La découverte des éléments radioactifs et de la radioactivité :

a. Découverte historique de la radioactivité :



En 1896, Henri Becquerel avait placé, en obscurité, un objet contenant de l'uranium sur une plaque photographique roulée dans un papier épais et sombre. Quelques jours après, il observa que l'objet contenant l'uranium avait laissé une impression sur la plaque photographique.

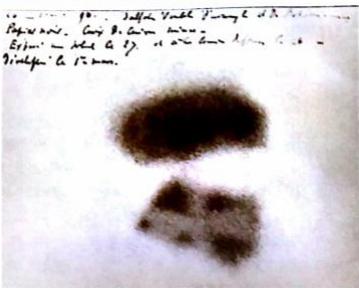
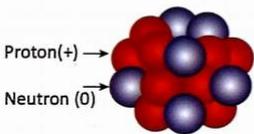


Image de plaque photographique de Becquerel qui a été exposée au rayonnement d'un objet contenant de l'uranium.

La radioactivité n'est pas une invention humaine. Ce phénomène naturel a été découvert à la fin du XIX^e siècle par un français : Henri Becquerel, sa découverte l'époque, était inattendue ; Il fut découvert l'existence d'éléments émettant des rayonnements même en absence de lumière : ce sont des éléments radioactifs.

b. Organisation d'un noyau atomique :

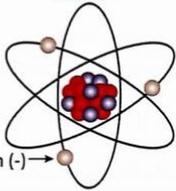
Noyau



Proton(+) →

Neutron (0) →

Atome



Electron (-) →

<p>Nombre de masse nombre de nucléons → A</p> <p>Numéro atomique nombre de protons donc nombre de charges positives → Z</p>	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;"> X^{\pm} </div> <p>Symbole de l'élément</p>
<p>$N = A - Z$</p> <p>nombre de neutrons</p>	

Le noyau de l'atome, est une combinaison de particules (ou nucléides) répartis entre protons, de charges positives, et neutrons, de charges nulles et d'électrons de charges négatives.

L'organisation du noyau atomique, de la matière dépend des forces de cohésion entre ses éléments (Neutrons, protons et électrons). C'est l'instabilité de cette cohésion qui rend la matière radioactive. La différence entre les atomes des différents éléments est défini par le nombre des protons (ou des électrons) que contient chaque atome. Le nombre de neutrons peut varier au sein des atomes du même élément, formant ce qu'on appelle les isotopes.

c. La radioactivité émise lors de la désintégration des éléments radioactifs :

Noyau d'Hélium = émission α

Electron = émission β

Rayonnement électromagnétique = émission γ

Feuille de papier

Quelques millimètres d'aluminium

Environ 1 mètre de béton ou de plomb

En 1899, Ernest Rutherford avait découvert, lors de la désintégration² de l'uranium, l'émission de 3 types de rayonnements, qui avaient été séparés et classés en particules: les particules alpha (α) à noyau d'hélium (${}^4\text{He}$), les particules β chargés négativement (β^-) et positivement (β^+) puis les particules gamma (γ), photons de haut niveau d'énergie.

- 1- Définissez la désintégration.
- 2- Dégagez les types des radiations actives émises par les éléments chimiques instables.

- 1- **La désintégration :** c'est un changement spontané, non réversible, d'un noyau radioactif, non stable, en noyau stable avec émission de particules.
- 2- Dans la matière existent des éléments chimiques instables dont les noyaux atomiques émettent des radiations actives, sous forme de particules :
 - Particules α : sont des noyaux d'hélium de faible énergie, elles parcourent quelques cm dans l'air, une feuille de papier les arrête.
 - Particules β : sont des électrons ou des positrons, parcourent quelque cm à quelques mètre dans l'air. Une feuille d'aluminium les arrête.
 - Particules γ : sont des photons de haut niveau d'énergie. ils peuvent parcourir des dizaines de mètres dans l'air. A forte pénétration, une épaisseur de plomb ou de béton les atténue efficacement.

2. Quelques caractéristiques des isotopes radioactifs et la fission nucléaire :

a. La désintégration radioactive :

La décroissance radioactive :
Suite à une désintégration spontanée, à l'état naturel, dans un échantillon de matière, les éléments radioactifs pères (P), se transforment en éléments fils (F). Les durées de ces transformations sont proportionnelles aux quantités transformées.

Quantité d'éléments "père" ou "fils"

Temps

Famille radioactive de l'uranium : Ensemble de désintégrations jusqu'à l'apparition de nucléides stables.

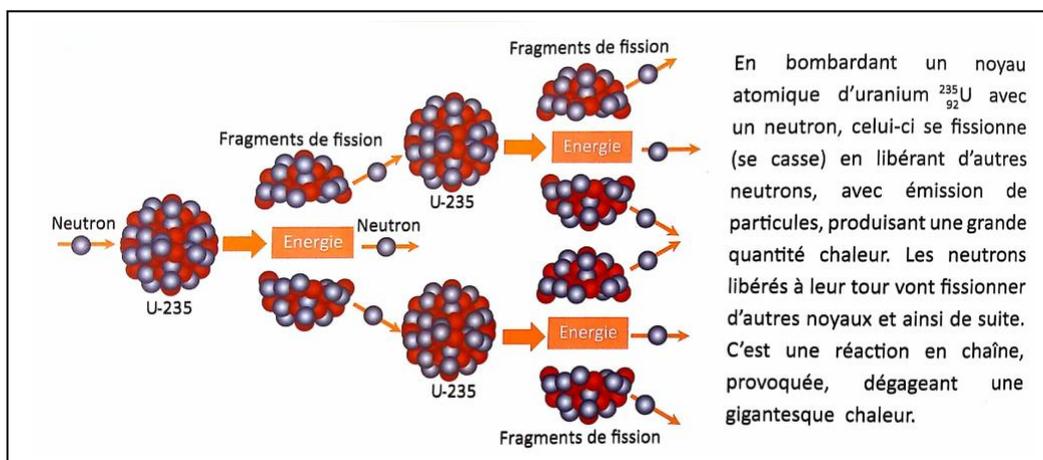
La demi-vie des éléments chimiques radioactifs :
Elle correspond à la durée au bout de laquelle la quantité des radionucléides, présents dans l'échantillon de départ, est réduite de moitié.

Isotope	Demi-vie	Unité temps
${}^{14}\text{C}$	5730	Année
${}^{39}\text{Ar}$	269	Année
${}^{72}\text{Tl}$	0,2	Seconde
${}^{131}\text{I}$	8,04	Jour
${}^{238}\text{U}$	$4,46 \times 10^9$	Année
${}^{90}\text{Th}$	$1,4 \times 10^{10}$	Année

➤ **Interprétez ce document.**

Les éléments radioactifs pères se transforment en éléments fils suite à des désintégrations, suivant lesquels le nombre de nucléides diminue jusqu'à obtention d'un nucléide stable et non radioactif. Le temps nécessaire pour la désintégration de la moitié des radionucléides pères en nucléides fils est appelé : **la demi-vie** des éléments radioactifs.

b. La fission nucléaire :

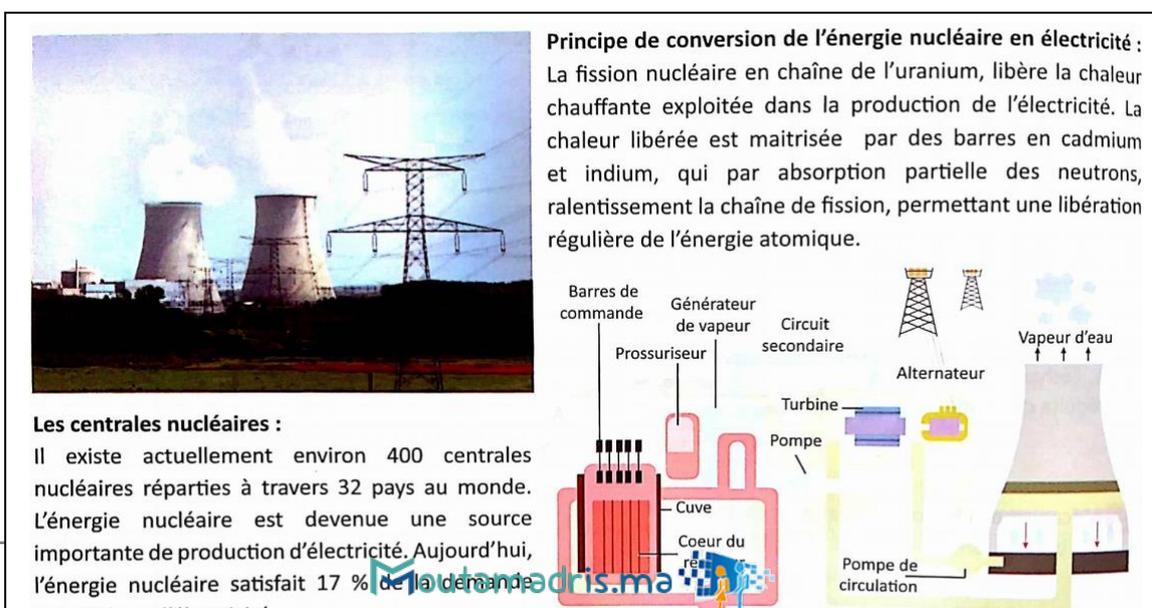


➤ **Montrez l'utilité de la fission nucléaire provoquée par l'homme.**

Le bombardement des noyaux d'uranium, au sein des réacteurs nucléaires par des neutrons, provoque un éclatement donnant plusieurs noyaux avec libération d'autres neutrons, qui à leur tour provoquent d'autres éclatements. Il s'agit alors d'une fission en chaîne. A chaque fission, une très haute énergie est libérée, au sein du réacteur, sous forme de chaleur qui est récupérée et exploitée dans la production de l'énergie électrique.

II. Les avantages des éléments radioactifs :

1. Rôle des éléments radioactifs dans la production d'énergie :



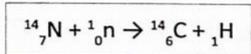
➤ **Montrez comment l'énergie nucléaire est convertie en énergie électrique.**

Dans une centrale nucléaire, la production d'électricité repose sur la succession de différentes étapes :

- L'obtention d'énergie thermique à partir d'une fission en chaîne de noyaux atomiques, cette dernière émet une chaleur qui sera utilisée pour chauffer l'eau dans une cuve en acier.
- La conversion de l'énergie thermique en électricité : au niveau du circuit secondaire, la vapeur d'eau permet la rotation d'une turbine qui produit de l'énergie mécanique, convertie ensuite en énergie électrique par un alternateur.

2. La datation au moyen des éléments radioactifs:

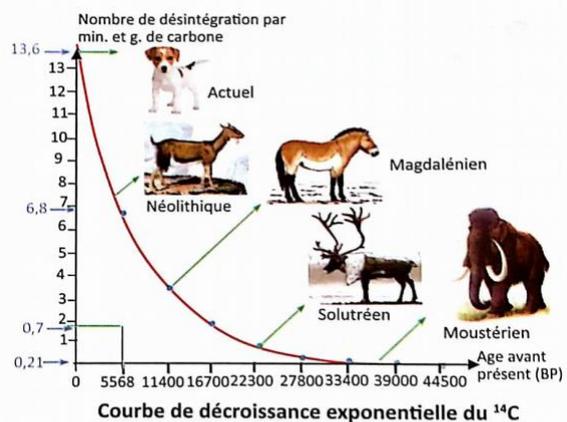
En haute atmosphère, l'azote se transforme en carbone ¹⁴C radioactif selon la réaction :



Par photosynthèse, les plantes absorbent le CO₂ et fixent le carbone ¹²C et ¹⁴C, alors que les animaux le fixent par alimentation. A la mort la fixation cesse et par désintégration progressive la quantité du ¹⁴C diminue avec une demi-vie de 5730 années.

La date de la mort d'un organisme est déterminée par le rapport a/a₀, avec :

a: radioactivité restante dans un fragment d'organisme
 et a₀ : radioactivité dans un organisme actuel de la même espèce.



En géologie, l'âge des minéraux, roches et fossiles est déterminée selon le même principe, en utilisant des couples radioactifs à longue demi-vie (²⁰⁶Pb/ ²³⁸U, ⁸⁷St/ ⁸⁷Rb, ⁴⁰Ar/ ⁴⁰K).

Père	Fils	Demi-vie
238 Uranium	206 Plomb	4,5 milliards d'années
87 Rubidium	87 Strontium	47 milliards d'années
40 Potassium	40 Argon	1,3 milliards d'années

➤ **Expliquez le principe de datation absolue des éléments.**

Datation absolue : selon le principe de la décroissance radioactive, les éléments radioactifs et leurs isotopes sont utilisés pour dater les restes d'organismes (fossiles), mais aussi pour dater les minéraux et les couches de roches.

Pour cela on mesure la quantité restante (a) d'un élément radioactif père, dans l'échantillon à dater, et en la comparant à sa quantité initiale (a₀) dans un échantillon similaire actuel de la même espèce, on peut évaluer le rapport a/a₀.

Connaissant la demi-vie T de l'élément radioactif, on peut calculer le temps (t) qui correspond à l'âge de l'échantillon. C'est la datation radio-chronologique.

3. Utilisation de matières radioactives dans les domaines industriel et médical :

a. Le rôle des éléments radioactifs dans le domaine agroalimentaire :

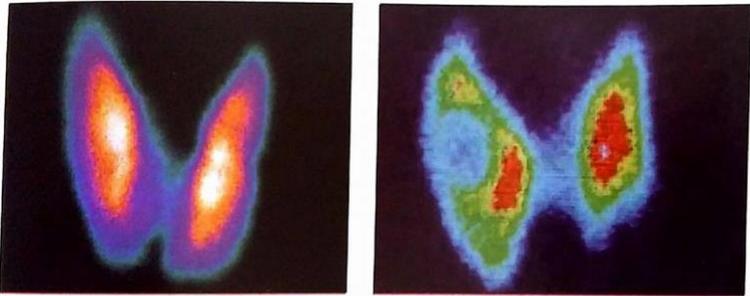
L'irradiation en domaine agroalimentaire, est une application physique utilisant des radiations γ (émises par le cobalt 60 radioactif) ou les rayons X. Elle détruit à froid les micro-organismes et assure une meilleure conservation des produits alimentaires (viandes, poissons, légumes,...). Elle inhibe la germination des graines et des bulbes et élimine les insectes parasites. Les photos de fraises



➤ **Justifiez l'intérêt de l'utilisation des radiations ionisantes en industries agro-alimentaires.**

Les radiations γ et les rayons X, à faibles doses, sont utilisés en industries agro-alimentaires dans le traitement des produits destinés à l'alimentation. L'exposition aux radiations permet la désinfection, en tuant les micro-organismes (bactéries et champignons), dans les produits à longue durée de conservation. Elle assure aussi une inhibition de la germination des graines et la stérilisation des boîtes de conserves.

b. Utilisation des éléments radioactifs dans le diagnostic des maladies :



L'imagerie par scintigraphie consiste à injecter, au patient examiné, une faible quantité d'un élément radioactif, qui se fixe spécifiquement sur l'organe concerné. Le rayonnement émis, par désintégration de cet élément, est capté par une caméra spéciale qui donne l'image de l'organe en question. L'iode radioactif est utilisé dans le diagnostic des maladies thyroïdiennes et le calcium radioactif dans le diagnostic des maladies osseuses.

Photo d'une thyroïde normale sans dysfonctionnement

Photo d'une thyroïde anormale présentant un dysfonctionnement

➤ **Citez les différents aspects d'exploitation des éléments radioactifs dans le domaine médical.**

Les applications de la radioactivité dans le domaine médical ont participé au progrès de la médecine :

- **L'imagerie nucléaire (scintigraphie) :** utilise des éléments radioactifs pour détecter les anomalies qui affectent certains organes. Ainsi, l'injection de l'iode radioactif, qui se fixe spécifiquement sur les tissus permet de donner une image en couleur de l'organe, et par conséquent connaître son état de santé.
- **La radiothérapie :** pour le traitement des cancers, des doses radioactives sont appliquées à l'endroit où sont localisées les cellules cancéreuses. Ces dernières sont bombardées et éliminées.

III. Les dangers de la pollution nucléaire :

1. Les unités de mesures de la radioactivité :



Becquerel (Bq). Il correspond au nombre de désintégrations par seconde (représenté dans le schéma, par le nombre de pommes qui tombent de l'arbre).



Gray (Gy). Il mesure la quantité d'irradiations absorbée par une unité de masse (1gray = 1J/Kg), (représenté dans le schéma, par le nombre de pommes reçues par le corps).



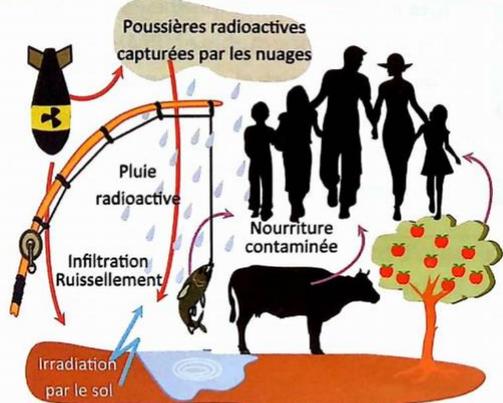
Sievert (Sv). Il exprime les impacts biologiques des rayonnements sur l'organisme (correspond aux impacts des pommes (blessures, bosses) sur le corps).

2. Les dangers de la pollution nucléaires sur la santé :

Notre corps est constamment soumis à des irradiations de sources différentes :

- **Irradiations naturelles** : rayonnements cosmiques du soleil (9%), la radioactivité de l'écorce terrestre (12%), du gaz radon (40%) et de la radioactivité naturelle du corps humain.
- **Irradiations artificielles** : examens radiologiques (30%), des poussières radioactives de sources diverses; essais nucléaires, accidents dans les centrales nucléaires, la télévision....

Naturelle	Artificielle
Cosmiques 0,3 mSv/an	Radiologie 0,7 mSv/an
Matériaux terrestres 0,4 mSv/an	Loisirs 0,05 mSv/an
Radon (gaz naturel radioactif) 1,2 mSv/an	Peinture luminescente 0,01 mSv/an
	Industrie nucléaire 0,001 mSv/an

La contamination radioactive, se répand, dans tous les milieux naturels; air, sol, eau (cours d'eau-lacs-mers-océans) puis atteint les organismes vivants, par accumulation des polluants radioactifs, dans les tissus.

Dose de Radioactivité (mSv)	Les effets immédiats
0 - 250	Sans impacts
250 - 1000	Modification nette de la formule sanguine
1000 - 3000	Nausées, vomissement, fatigue.
4500	Mort dans 50% des cas

Les effets de la radioactivité sur le corps, sont dus à ses interactions avec les tissus vivants, en transférant son énergie aux molécules organiques. La gravité de ces effets est liée à la nature du rayonnement (α ou β ou γ), à son intensité ainsi qu'à la durée d'exposition. La radioactivité dans l'air ambiant, à laquelle le corps est exposé, ne devrait pas dépasser au maximum 50 mSv/jour. La probabilité d'apparition des cancers est proportionnelle à la quantité de radioactivité absorbée par le corps.

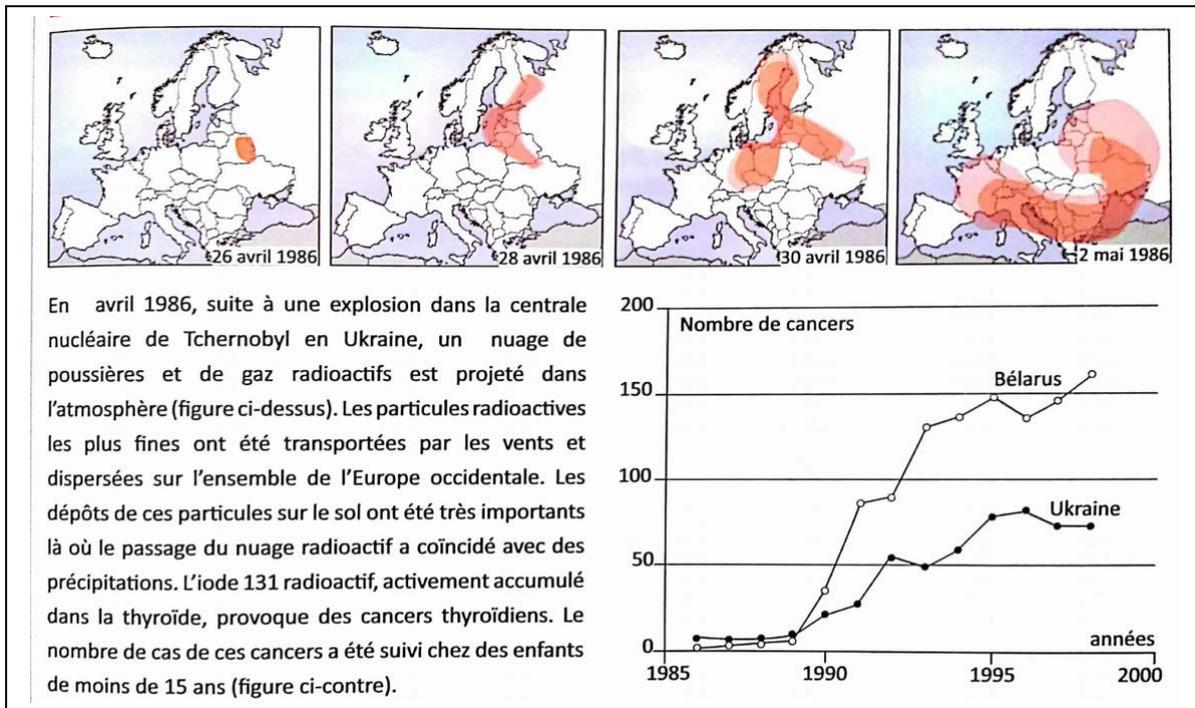
➤ Dégagez les dangers de la pollution nucléaire sur la santé.

L'utilisation des matières radioactives par l'homme dans les divers domaines, s'accompagne d'émissions de rayonnements radioactifs ayant des conséquences sur la santé de l'homme.

Les radiations agissant sur le corps humains, sont de sources différentes (naturelles, diagnostic médicale, accidents des centrales nucléaire...), l'exposition aux fortes doses des radiations, entraîne des dégâts biologiques, en agissant sur les tissus et molécules organiques ; notamment l'ADN, cette dernière peut subir

des altérations et des mutations, qui conduisent à des malformations congénitales à la stérilité et aux cancers.

3. Les effets de la radioactivité sur l'environnement :



Les radioéléments issus de la source artificielle, libérés dans la nature, deviennent une source de contamination pour les milieux naturels. Ils causent une pollution nucléaire de l'eau de l'air et du sol. Les poussières radioactives amenées par les vents et les pluies ainsi que les eaux contaminées concentrent les radioéléments au niveau du sol et des eaux de surface. Les contaminants sont fixés par les plantes puis transférés aux herbivores et finissent chez l'homme.

La pollution des milieux naturels, par les radioéléments, a des conséquences sur les chaînes alimentaires, les réseaux trophiques et l'ensemble des écosystèmes tout en affectant la santé de l'homme.

IV. Problématique des déchets nucléaires et les alternatives écologiques :

1. Classification des déchets nucléaires :

Les déchets nucléaires sont classés selon deux critères, la durée de leur activité radioactive, déterminée à partir de la demi-vie, et le niveau de radioactivité proportionnel à sa dangerosité. Ainsi, on distingue ;

- les déchets de haute activité (HA) et les déchets de moyenne activité et à vie longue (MAVL) : déchets issus du cœur du réacteur, hautement radioactifs pendant des centaines de milliers.

```

    graph TD
      A[Mines d'uranium] --> B[Résidus de minerais]
      A --> C[Fabrication de combustible]
      C --> D[Combustible neuf]
      C --> E[Uranium appauvri]
  
```

➤ **Comparez les types de déchets nucléaires, et indiquez ceux qui sont les plus dangereux.**

Les déchets nucléaires correspondent aux matières radioactives non utilisables et non recyclables, destinées au stockage. Ils sont classés selon leur degré d'activité nucléaire et selon leur durée de demi-vie.

Les déchets les plus dangereux sont les déchets de haute activité (HA) et les déchets de moyenne activité et à vie longue (MAVL).

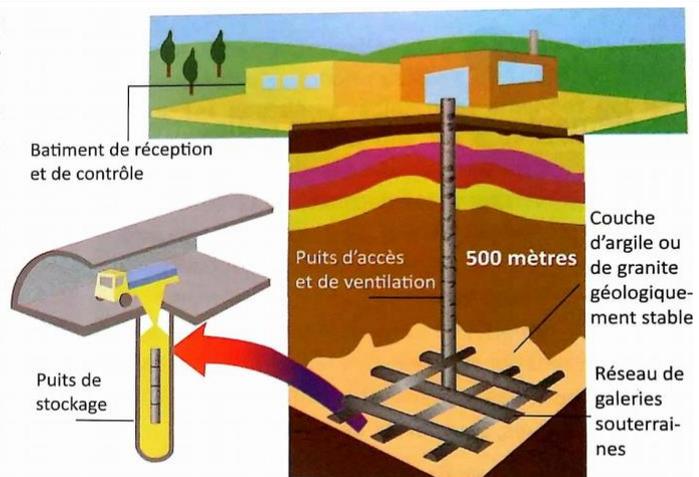
2. Problématique de stockage des déchets nucléaires :

Le stockage des déchets radioactifs, est un sérieux problème environnemental. Les éléments radioactifs continuent leur désintégration sur une longue durée. La perte totale de l'activité radioactive de ces éléments, nécessite au moins 20 fois leur demi-vie, ainsi le stockage demanderait une durée appartenant à l'échelle géologique. Les déchets contiennent divers éléments radioactifs : Césium-137 (demi-vie = 32 ans), Plutonium-239 (demi-vie = 24500 ans), Uranium-238 (demi-vie = 4,5 milliards d'années),... . Avant d'être placés dans les colis de stockage, les déchets radioactifs sont d'abord confinés dans du verre ou du béton, matériaux inoxydables et résistants aux différentes formes d'érosions et de radioactivité. Les figures ci-contre représentent les différents types de colis, qui se composent chacun de 15% de déchets et de 85% de parois.



Les déchets hautement radioactifs sont aussi dangereux pour l'environnement que pour la santé humaine. Pour éviter tout risque, ces déchets doivent être stockés, dans des endroits de très haute sécurité, en prenant les précautions suivantes :

- Une préparation au stockage dans des colis, aux enveloppes résistantes, empêchant et retardant les fuites radioactives.
- Choix d'un lieu de stockage éloigné des habitations, dans des endroits où il n'y a pas circulation des eaux, qui pourraient abîmer les colis et disperser la radioactivité.
- Stockage des colis à l'intérieur de couches géologiques (argiles ou granites) stables et imperméables.

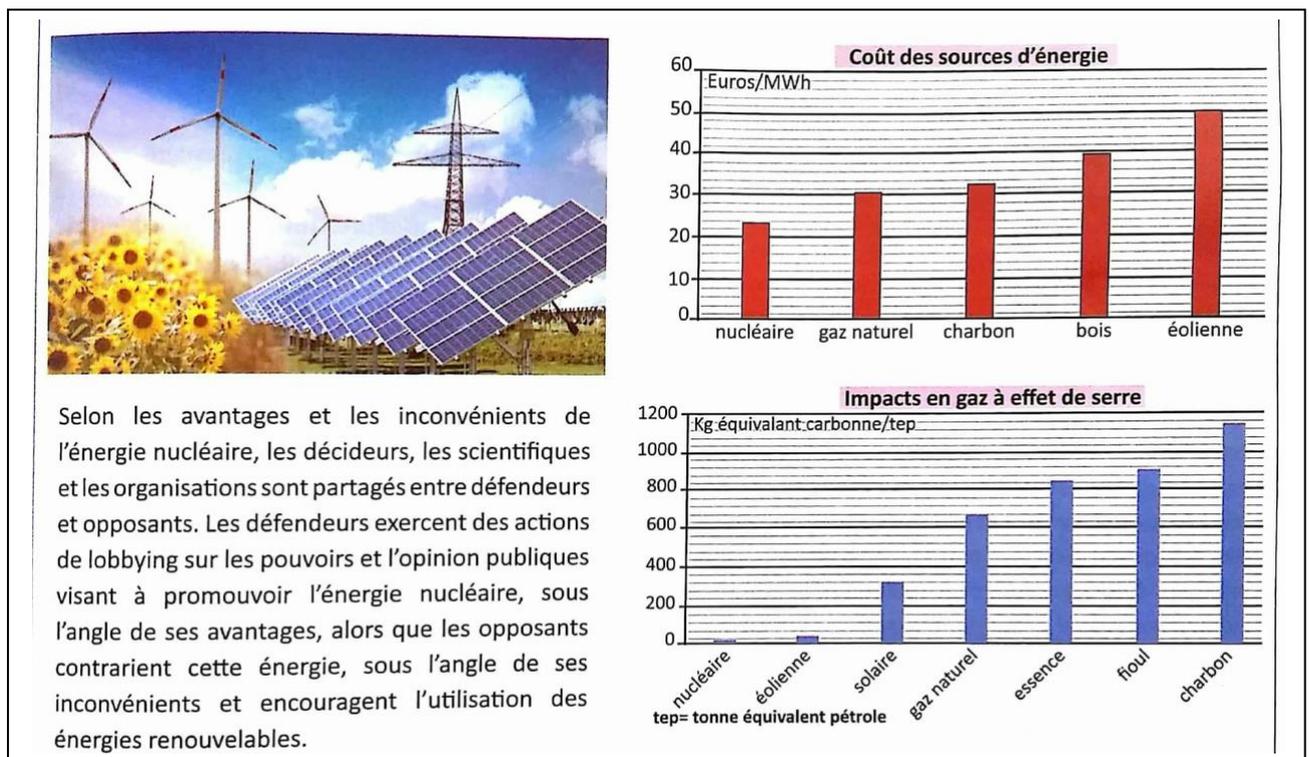


➤ **Dégagez les précautions de stockage des déchets nucléaires.**

Vu la longue durée d'activité des déchets nucléaires, et afin de contrer l'émission de leur radioactivité dans l'environnement, une préparation au stockage s'avère une nécessité. Elle consiste à isoler ces déchets de l'environnement et au même temps retarder leur émission radioactive par confinement dans du verre ou du béton. Le mélange ainsi obtenu est placé dans des colis (containers) en acier ou en béton, de grandes épaisseurs, non perméables et non oxydables.

Après préparation des déchets, par confinement dans des colis étanches, ces derniers sont transportés et stockés dans des lieux sûrs et de haute sécurité.

3. Problématiques des alternatifs écologiques :



➤ **Interprétez les résultats des graphiques et discutez la problématique de l'énergie nucléaire et les alternatives écologiques.**

Parmi les sources d'énergie, le nucléaire dégage le moins de gaz à effet de serre, c'est une source moins coûteuse en terme de production d'électricité et une source très rentable en terme de production. Par contre, ces avantages s'accompagnent des problèmes de gestion des déchets radioactifs, ayant des conséquences sur l'environnement et sur la santé de l'homme.