

Les matières radioactives et l'énergie nucléaire

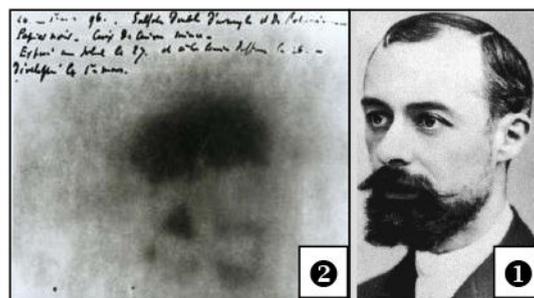
Introduction:

I – Les substances radioactives:

① La découverte de la radioactivité: (Voir document 1)

Document 1 : La découverte de la radioactivité:

En 1896, Henri Becquerel (Figure ①) avait placé, en obscurité, un objet contenant de l'uranium dans un tiroir où il a déjà rangé une plaque photographique vierge, protégée par du papier épais et sombre. Quelques jours après, il observa que l'objet contenant l'uranium avait laissé une impression sur la plaque photographique (Figure ②).



Que déduisez-vous des observations de Becquerel ?

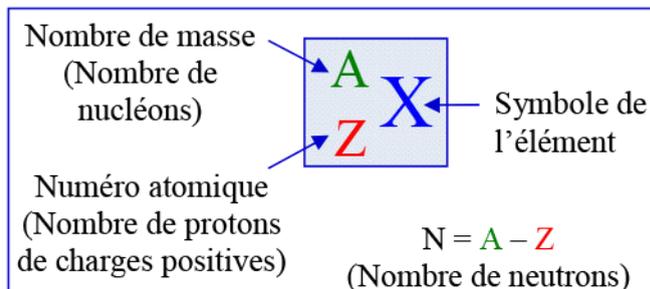
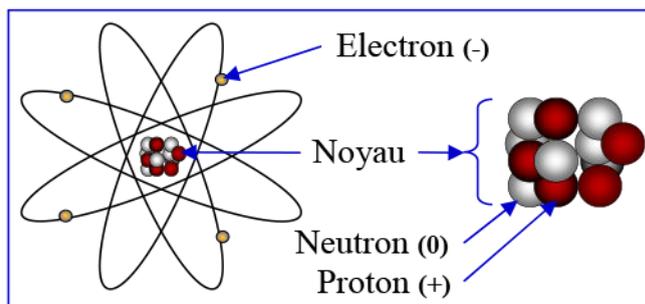
② La structure de l'atome: (Voir document 2)

Document 2 : La structure de l'atome:

Les atomes sont les constituants de base de toute la matière. Ils sont tous bâtis sur le même modèle (Voir figure ci-contre): un noyau, formé de protons, de charges positives, et neutrons, de charges nulles, autour duquel se déplacent les électrons, de charges négatives. Dans un atome, le nombre de protons est égal au nombre d'électrons. Dans la nature, la plupart des noyaux d'atomes sont stables mais d'autres sont instables car ils possèdent trop de protons ou de neutrons.

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.

A partir de ces données décrivez l'atome.



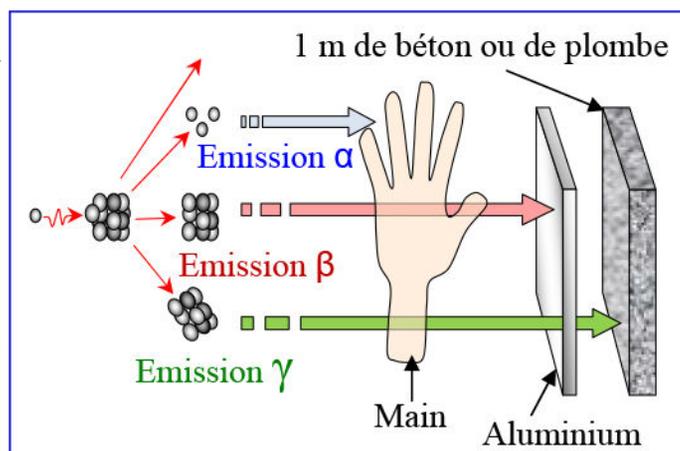
③ La radioactivité émise lors de la désintégration des éléments radioactifs :

(Voir document 3)

Document 3 : La radioactivité émise lors de la désintégration des éléments radioactifs:

★ En 1899, Ernest Rutherford avait découvert, lors de la désintégration de l'uranium, l'émission de 3 types de rayonnement, qui avaient été séparés et classés en particules (Voir figure ci-contre):

- ✓ Les particules alpha (α) à noyau d'hélium (${}^4\text{He}$) ;
- ✓ Les particules bêta (β) chargés négativement (β^-) et positivement (β^+), de niveau plus élevé d'énergie.
- ✓ Les particules gamma (γ), photons de haut niveau d'énergie.



★ Plusieurs isotopes se désintègrent de façon spontanée et naturelle. En effet, un nucléide instable se désintègre et génère ainsi un nucléide plus stable avec émission d'une ou plusieurs particules. Il s'agit donc d'une réaction nucléaire.

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

1)

2)

④ Quelques caractéristiques des isotopes radioactifs et la fission nucléaire :

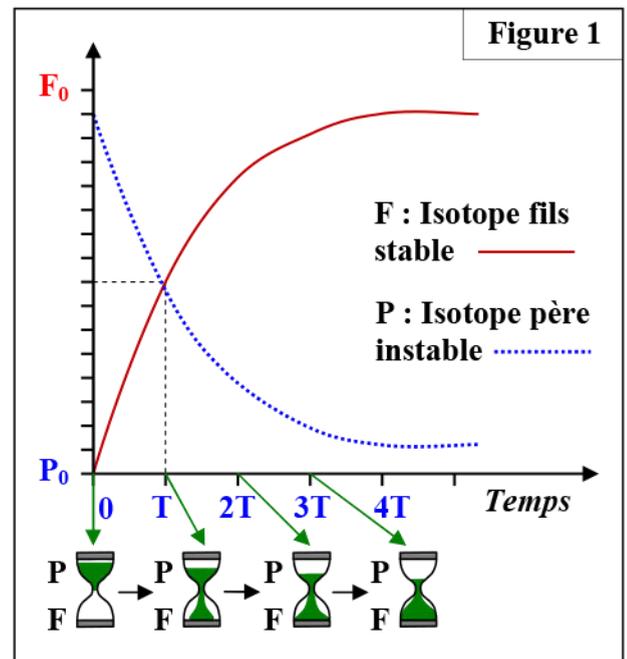
a) La désintégration radioactive : (Voir document 4)

Document 4 : La désintégration radioactive:

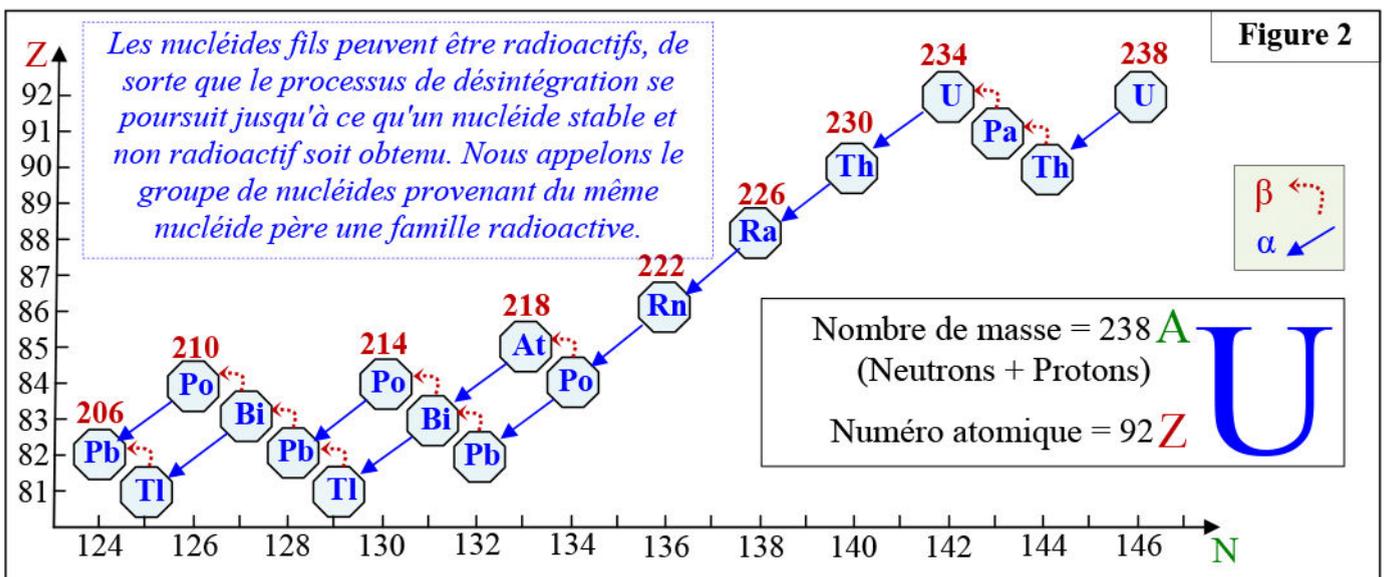
★ Plusieurs isotopes se désintègrent de façon spontanée et naturelle. En effet, un nucléide père (P) instable, se désintègre et génère ainsi un nucléide fils (F) plus stable, avec émission d'une ou plusieurs particules. Il s'agit donc d'une réaction nucléaire. La désintégration s'effectue lentement au fil du temps, et sa durée est proportionnelle aux quantités transformées (Figure 1).

La demi-vie d'un nucléide radioactif est la période T qui correspond à la désintégration de 50 % des nucléides constituant un échantillon donné (Tableau).

Isotope	Demi-vie	Unité temps
^{14}C	5730	Année
^{39}Ar	269	Année
^{72}Ti	0.2	Seconde
^{131}I	8.04	Jour
^{238}U	$4.46 \cdot 10^9$	Année
^{90}Th	$1.4 \cdot 10^{10}$	Année



Les nucléides fils peuvent eux même être radioactifs. Ainsi, la désintégration se poursuit jusqu'à atteindre un nucléide stable et non radioactif (Figure 2).



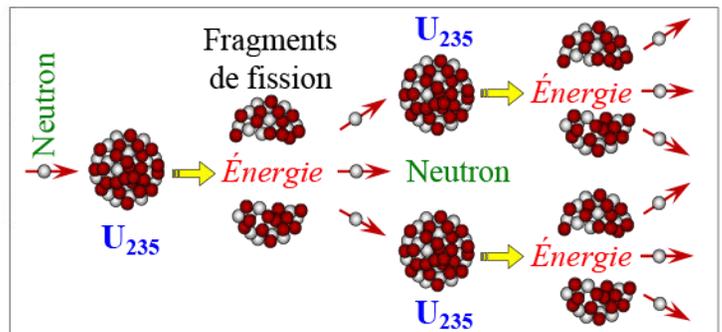
En exploitant les données de ce document, montrez l'effet de la désintégration radioactive sur le développement des éléments radioactifs.

b) La radioactivité artificielle ou induite: La fission nucléaire: (Voir document 5)

Document 5 : La radioactivité artificielle ou induite: La fission nucléaire :

En bombardant un noyau atomique d'uranium 235, avec un neutron, celui-ci se fissionne (se casse) en libérant d'autres noyaux et ainsi de suite. C'est une réaction en chaîne, provoquée, dégageant une gigantesque chaleur.

Montrez l'utilité de la fission nucléaire provoquée par l'Homme.



II – Utilisation des substances radioactive :

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

Les éléments radioactifs sont utilisés dans plusieurs domaines, surtout celui de la production d'énergie afin de remplacer l'utilisation des énergies fossiles (pétrole, charbon, gaz naturel). (Voir document 6)

Document 6 : Principe de fonctionnement d'une centrale nucléaire :

Ayant découvert et compris la fission nucléaire vers 1930, l'Homme a entrepris d'exploiter la fission des atomes lourds pour en extraire de l'énergie nucléaire.

Les réactions de fission s'effectuent dans une centrale nucléaire en utilisant le nucléide d'uranium (combustible nucléaire) qui est bombardé par des neutrons thermiques.

La fission aboutit à la libération d'une quantité d'énergie impressionnante que l'on peut exploiter pour produire de l'énergie électrique.

La photo ci-contre présente les tours de refroidissement d'une centrale nucléaire.



Centrale nucléaire

Document 7 : Principe de datation en utilisant les éléments radioactifs :

★ En haute atmosphère, et sous l'effet des neutrons, l'azote se transforme en carbone 14 (^{14}C) radioactif selon la réaction : $^{14}_7\text{N} + {}^1_0\text{n} \longrightarrow {}^{14}_6\text{C} + {}^1_1\text{H}$

Par photosynthèse, les plantes absorbent le CO_2 et fixent le carbone ^{12}C et ^{14}C , alors que les animaux le fixent par alimentation (Voir figure 1).

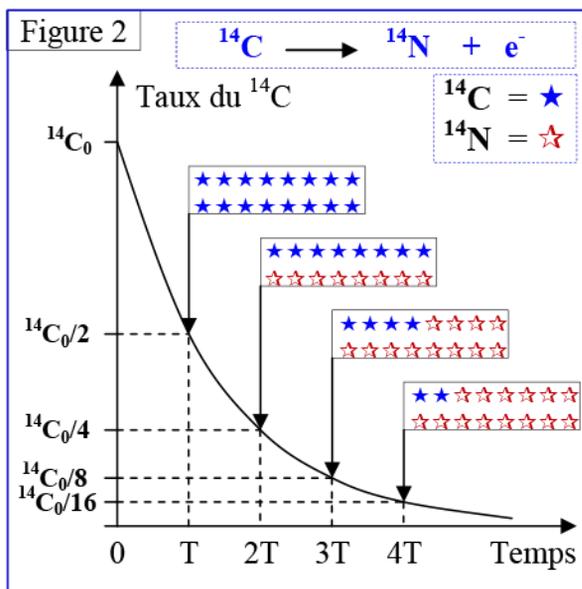
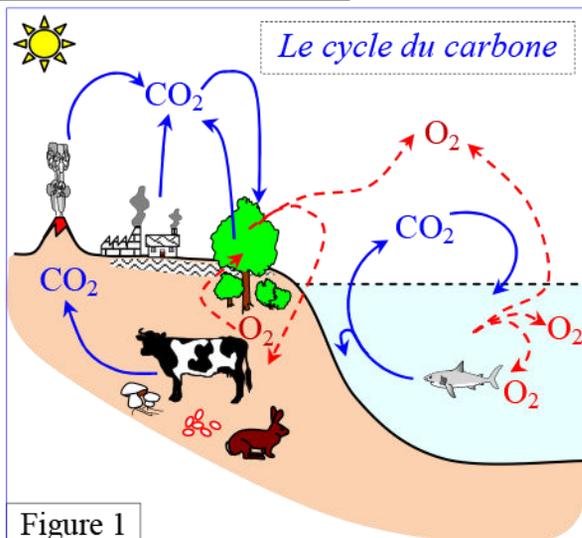
★ A la mort, la fixation cesse, et par désintégration progressive la quantité de ^{14}C diminue avec une demi-vie de 5730 années (Voir figure 2).

★ La date de la mort d'un organisme est déterminée par le rapport a/a_0 avec a : radioactivité restante dans un fragment d'organisme et a_0 : 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 ($^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$, $^{87}\text{Sr}/^{87}\text{Rb}$, $^{40}\text{Ar}/^{40}\text{K}$) Voir tableau :

Père	Fils	Demi-vie
Uranium 238	Plomb 206	4.5 Milliards d'années
Radium 87	Strontium 87	47 Milliards d'années
Potassium 40	Argon 40	1.3 Milliards d'années

En exploitant les données de ce document, expliquez le principe de datation absolue.



③ Utilisation de matières radioactives dans le domaine industriel et médical :

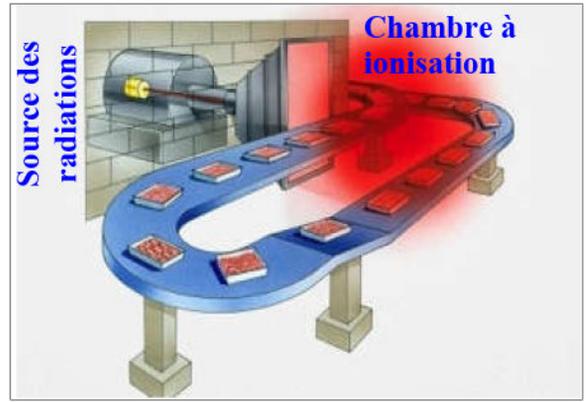
a) Le rôle des éléments radioactifs dans le domaine agroalimentaire :

Souvent présentée comme moins nocive que d'autres modes de conservation industriels, l'irradiation des aliments est une technologie qui peut remplacer l'usage de produits chimiques (pesticides et conservateurs). (Voir document 8)

Document 8 : Le rôle des éléments radioactifs dans le domaine agroalimentaire :

L'irradiation en domaine agroalimentaire, est une application physique utilisant des radiations γ (émise par le cobalt 60 radioactif), les rayons X ou un faisceau d'électrons. Elle détruit à froid les microorganismes et assure une meilleure conservation des produits alimentaire (viande, épices, poisson, céréales, légumes...). Elle inhibe la germination des graines et des bulbes et élimine les insectes parasites.

Justifiez l'intérêt de l'utilisation des radiations ionisantes en industries agroalimentaire.



b) Le rôle des éléments radioactifs dans le domaine médical :

Document 9 : Le rôle des éléments radioactifs dans le domaine médical :

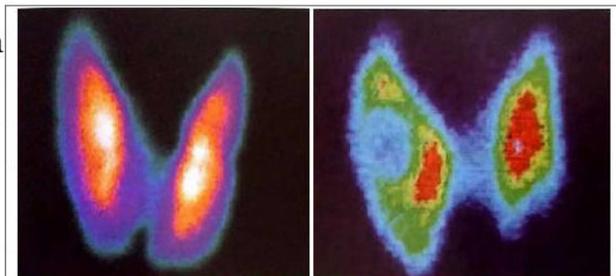
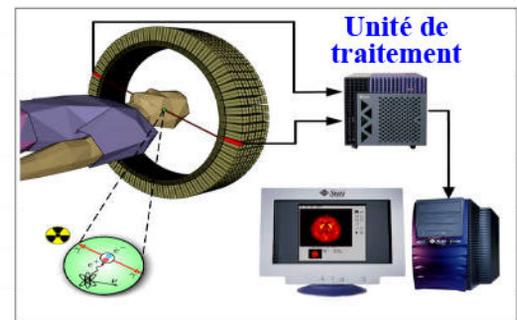
★ La scintigraphie (Figure ci-contre), est une technique d'imagerie d'émission. Le rayonnement vient en effet du patient après injection d'un traceur marqué avec un isotope radioactif à vie brève, qui émet un rayonnement gamma. Cette technique consiste à capter le scintillement des milliers de points, où le traceur s'est fixé dans l'organisme. La radioactivité temporaire du tissu est détectée par une caméra spéciale, qui explore la zone d'intérêt.

L'iode radioactif est utilisé dans le diagnostic des maladies thyroïdiennes (Figure ci-contre), et le calcium radioactif dans le diagnostic des maladies osseuses.

★ Les éléments radioactifs s'appliquent dans les expériences de marquage nucléaire pour mettre en évidence le devenir d'un élément étudié.

★ Les éléments radioactifs s'appliquent dans La radiothérapie pour le traitement des cancers.

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



Photos d'une thyroïde normale sans dysfonctionnement

Photos d'une thyroïde anormale présentant un dysfonctionnement

III – Les dangers de la pollution nucléaire :

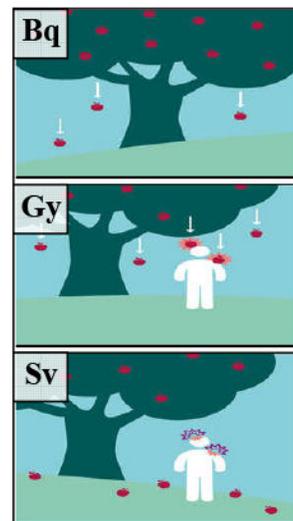
L'exploitation d'éléments radioactifs, dans les activités humaines, est accompagnée par des émissions radioactives qui pourraient avoir des impacts négatifs sur les êtres vivants.

① Les dangers de la pollution nucléaire sur la santé : (Voir document 10)

Document 10 : Les dangers de la pollution nucléaire sur la santé :

★ Les unités de mesures de la radioactivité :

- **Le Becquerel (Bq)** est l'unité de mesure de la radioactivité d'un corps. Elle caractérise le nombre de désintégrations spontanées de noyaux d'atomes instables qui s'y produit par seconde. 1 Bq = 1 désintégration par seconde. (Représenté par le nombre de pommes qui tombent de l'arbre).
- **Le Gray (Gy)** est l'unité qui permet de mesurer la quantité de rayonnement absorbé par une unité de masse d'un corps exposé à de la radioactivité. (1Gy=1J/Kg). (Représenté par le nombre de pommes reçu par le corps).
- **Le Sievert (Sv)** est l'unité qui exprime les effets biologiques des rayonnements ionisants sur la matière vivante. (le seuil de dose efficace maximale admissible pour une personne est 1 mSv/an au-delà de la radioactivité naturelle (en moyenne 2,4 mSv/an). (Représenté par les effets de l'impact des pommes sur le corps).



★ Notre corps est constamment soumis à des radiations de sources différentes :

- **Irradiations naturelles** : Rayonnements cosmiques du soleil (0.3 mSv/an, 9%), la radioactivité de l'écorce terrestre (0.4 mSv/an, 12%), du gaz naturel radioactif : le radon (1.2 mSv/an, 40%) et de la radioactivité naturelle du corps humain.
- **Irradiations artificielles** : Examens radiologiques (0.7 mSv/an, 30%), des poussières radioactives de sources diverses, essais nucléaires, accidents dans les centrales nucléaires, la télévision...

★ Les effets biologiques des rayonnements radioactifs :

- Par rapport à la santé publique, les rayonnements radioactifs augmentent les risques de cancer et de malformations embryonnaires par mutations génétiques.
- La contamination radioactive, se répand dans tous les milieux naturels (Air, eau et sol) puis atteint les organismes vivants, par accumulation des polluants radioactifs, dans les tissus.
- Les effets de la radioactivité sur le corps, sont dus à ses interactions avec les tissus vivants, en transférant son énergie aux molécules organiques.

Dose de radioactivité (mSv)	250 - 1000	1000 - 3000	4500
Les effets immédiats	Modification de la formule sanguine	Nausées, vomissements, fatigue	Mort dans 50% des cas

En exploitant les données de ce document, déterminez les unités de mesures de la radioactivité, les sources de la pollution nucléaires et les dangers de cette pollution sur la santé.

★ Trois unités sont fréquemment utilisées dans le domaine du nucléaire :

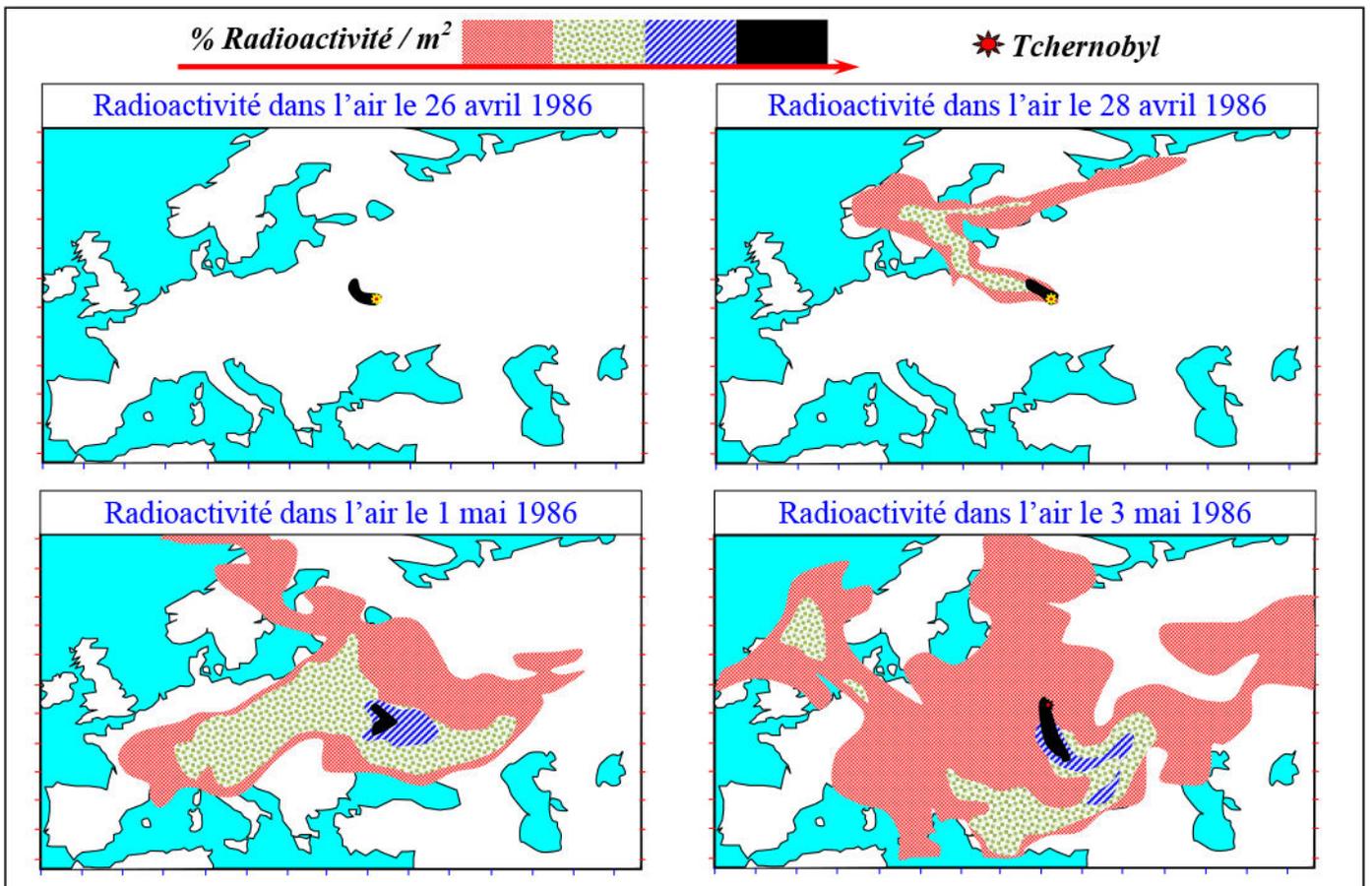
★ Les sources de la pollution nucléaire :

★ Les dangers de la pollution nucléaire sur la santé:

② Les dangers de la pollution nucléaire sur l'environnement : (Voir document 11)

Document 11 : Les dangers de la pollution nucléaire sur l'environnement :

★ La catastrophe nucléaire de Tchernobyl : En avril 1986, suite à une explosion dans la centrale nucléaire de Tchernobyl en Ukraine, un nuage de poussière et de gaz radioactifs est projeté dans l'atmosphère (Figure ci-dessous). Les particules radioactives les plus fines ont été transportées par les vents et dispersées sur l'ensemble de l'Europe occidentale. Les dépôts de ces particules sur le sol ont été très importants là où le passage du nuage radioactif coïncida avec des précipitations.



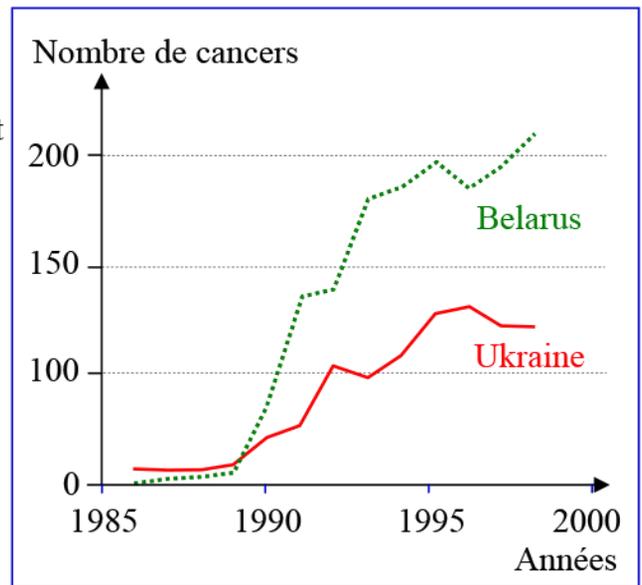
Document 11 : (Suite):

★ Les particules radioactives transportées dans les masses d'air finissent par retomber au sol sous forme d'un dépôt sec, et sous forme de dépôt humide, sous l'effet de la pluie ou de la neige. Ces dépôts recouvrent aussi bien les végétaux, les plans d'eau mais aussi les surfaces bâties et les lieux de vie. Lorsque le dépôt est formé par les pluies, il se distribue au gré du ruissellement.

★ Après la catastrophe de Tchernobyl et dès le début des années 1990, des médecins pédiatres de Belarus et d'Ukraine ont constatés une évolution du nombre de cancers de la thyroïde chez des enfants et des adolescents âgés de 18 ans au plus au moment de l'accident.

L'iode 131 radioactif, activement accumulé dans la thyroïde, provoque des cancers thyroïdiens. Le nombre de cas de ces cancers a été suivi chez des enfants de moins de 15 ans. La figure ci-contre présente l'évolution des cancers de la thyroïde dans l'ex-URSS.

D'après les données de ce document, déterminez les dangers de la pollution nucléaires sur l'environnement.



IV – Problématique de la gestion des déchets nucléaires et les alternatives écologiques :

Selon la définition de l'AIEA (Agence internationale de l'énergie atomique), les déchets nucléaires ou déchets radioactifs, est toute matière radioactive, dont aucun usage n'est prévu et dont la dispersion dans l'environnement n'est pas autorisée.

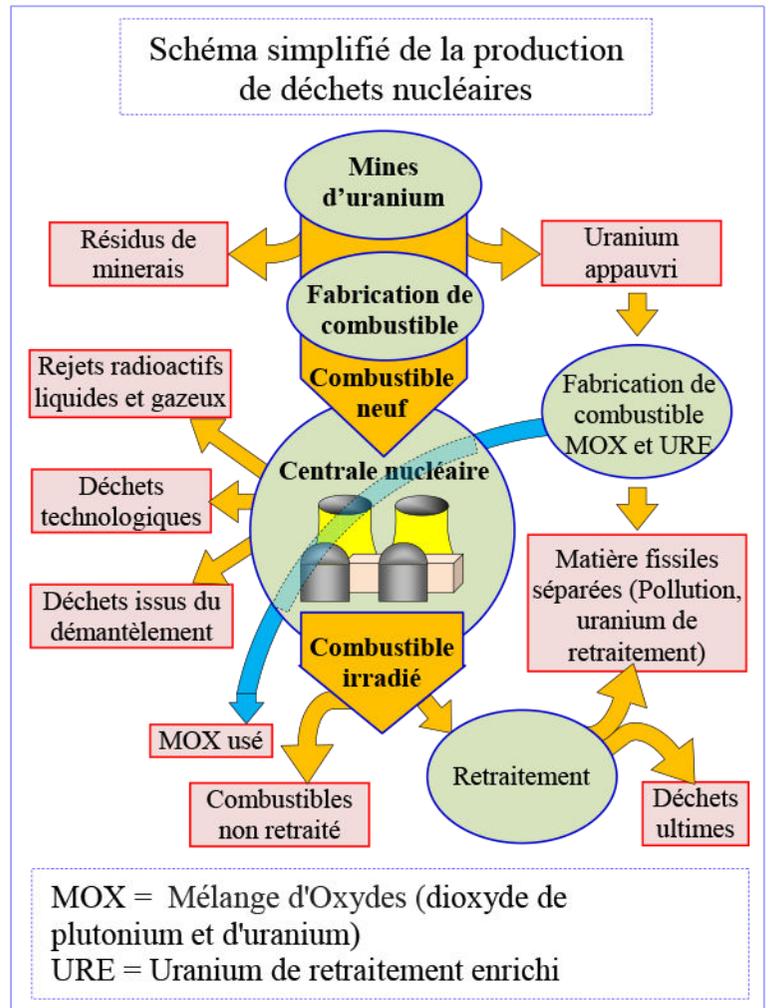
Les déchets nucléaires se caractérisent par leur durée de vie et leur radiotoxicité, qui induisent des modes de gestion et de traitement particuliers.

① Classification des déchets nucléaires : (Voir document 12)

Document 12 : Classification des déchets nucléaires :

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

- ✓ **Les déchets de haute activité (HA) et les déchets de moyenne activité à vie longue (MA-VL) :** Déchets issus du cœur du réacteur, hautement radioactifs pendant des centaines de milliers, voir millions d'années.
- ✓ **les déchets de faible et moyenne activité à vie courte (FMA-VC) :** Déchets technologiques (gants, combinaisons, outils, Ets.) qui ont été contaminés pendant leur utilisation. Leur nocivité ne dépasse pas 300 ans.
- ✓ **Les déchets de faible activité à vie longue (FA-VL) :** Déchets issus du traitement d'uranium et du graphite utilisés au niveau des centrales.
- ✓ **Les déchets de très faible activité (TFA) :** Matériaux activés provenant du démantèlement de sites nucléaires.



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

② Problématique de stockage des déchets nucléaires : (Voir document 13)

Document 13 : 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 (Uranium 238, a une demi-vie de 4.5 milliard d'années).

Il existe plusieurs types de stockage qui diffèrent selon la radioactivité des déchets :

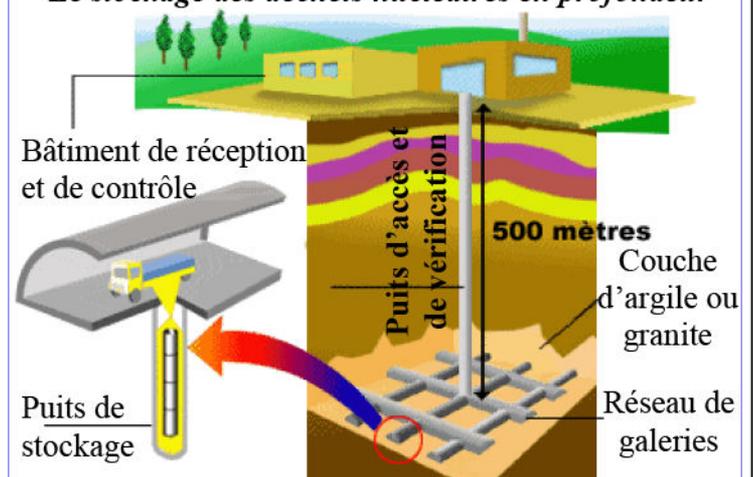
- ✓ Le stockage en surface : Cela consiste en fait à isoler les déchets de l'environnement pendant le temps nécessaire à la quasi-disparition de leur radioactivité. Pour cela, on enferme les déchets dans des fûts en béton. Ces fûts sont à leur tour, empilés les uns sur les autres, on comble les espaces avec du mortier ou des graviers, puis une fois l'alvéole remplie au maximum on coule une dalle de béton pour maintenir l'ensemble.

Les figures ci-contre présentent les types de colis de stockages des déchets nucléaires.

- ✓ Le stockage en couche géologique profonde: Cela se fait pour les déchets de moyenne et haute activité à vie longue, et qui nécessite une succession d'opérations permettant d'extraire notamment le plutonium et l'uranium. Une fois, ces opérations terminées, les produits résultant de ces manipulations sont fondus avec de la fritte de verre puis ils sont introduits dans des conteneurs en acier inoxydable. Ils sont ensuite stockés à l'intérieur de couches géologiques stables, imperméables et éloigné des habitations.



Le stockage des déchets nucléaires en profondeur



D'après les données de ce document, dégagez les précautions de stockage des déchets nucléaires.

