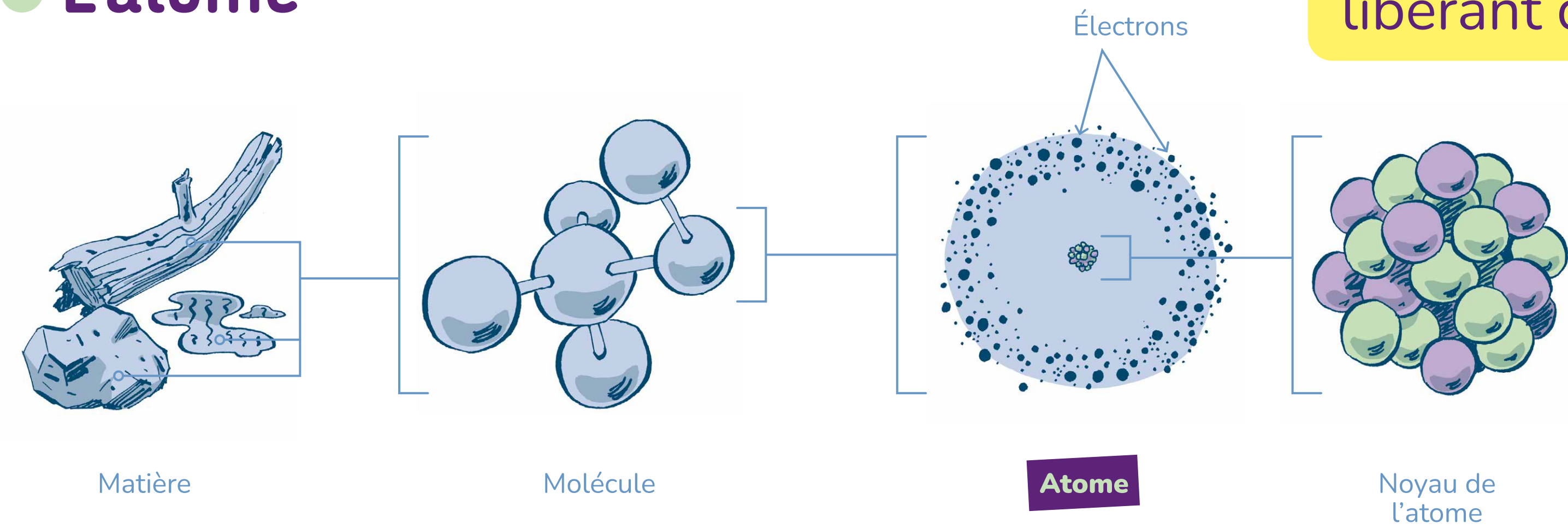


1 LE PRINCIPE DE LA RADIOACTIVITÉ

Toute la matière est constituée d'**atomes**, au cœur desquels réside un **noyau**. La radioactivité est un phénomène naturel au cours duquel certains noyaux **instables** se transforment spontanément en libérant de l'**énergie**.

L'atome

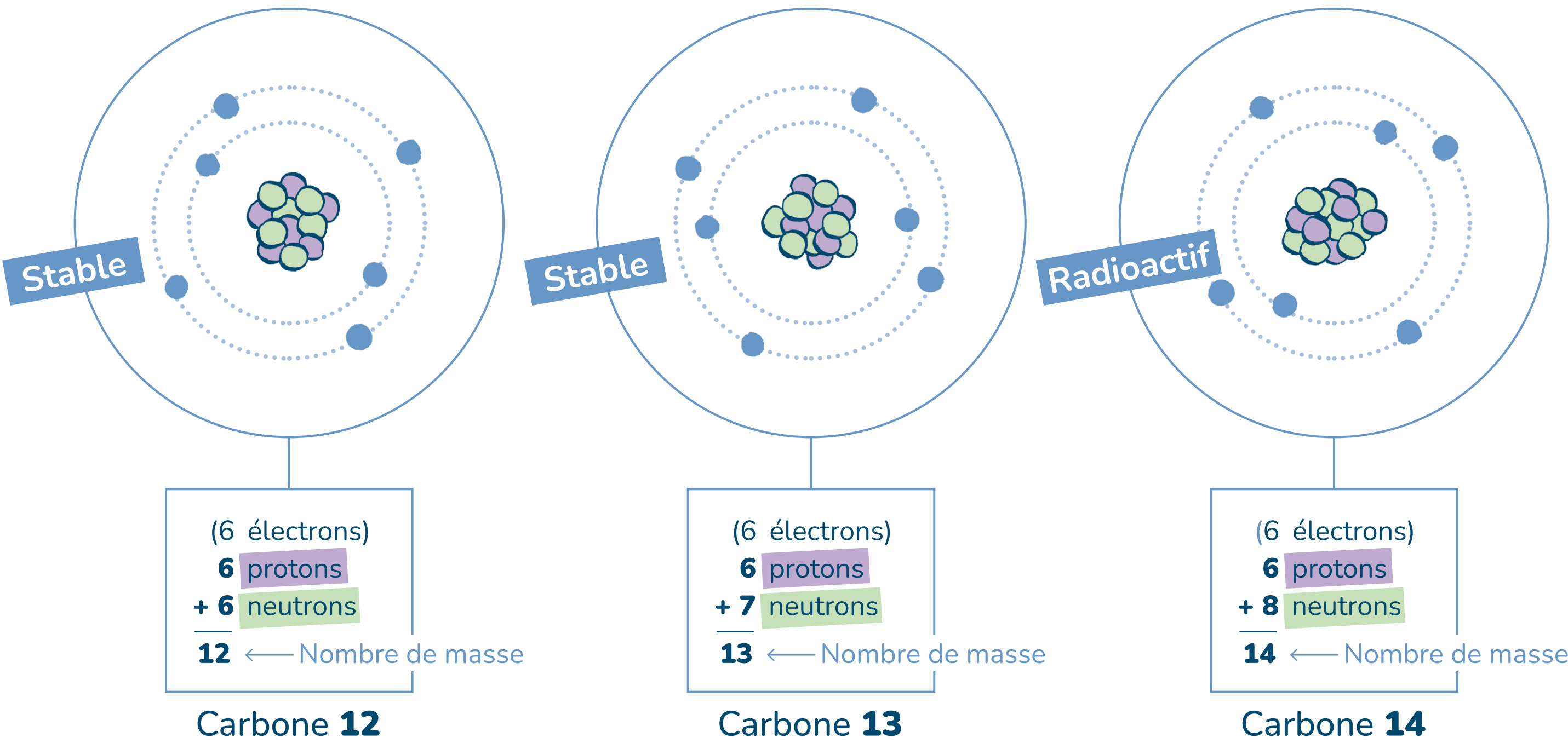


Le **noyau** de l'atome est constitué de **neutrons** et de **protons**. Le nombre de protons (ou nombre atomique) détermine l'élément chimique et les propriétés de l'atome.

Pour un même nombre de protons, le noyau peut présenter un nombre de neutrons différent. On parle alors d'**isotopes**. Si certains isotopes sont stables, les autres au contraire sont dits « radioactifs ». Par exemple :

Les isotopes du carbone.

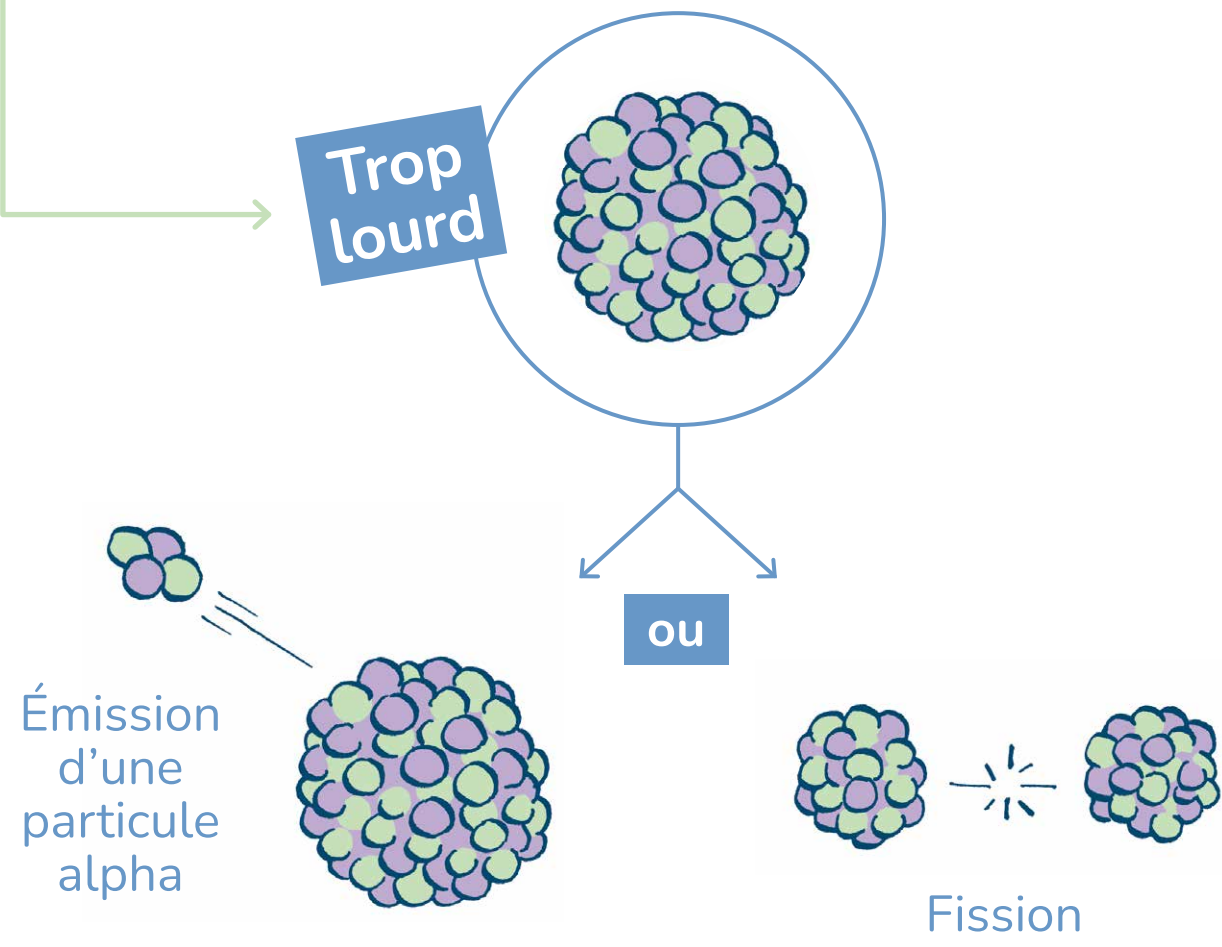
- Électrons
- Protons
- Neutrons



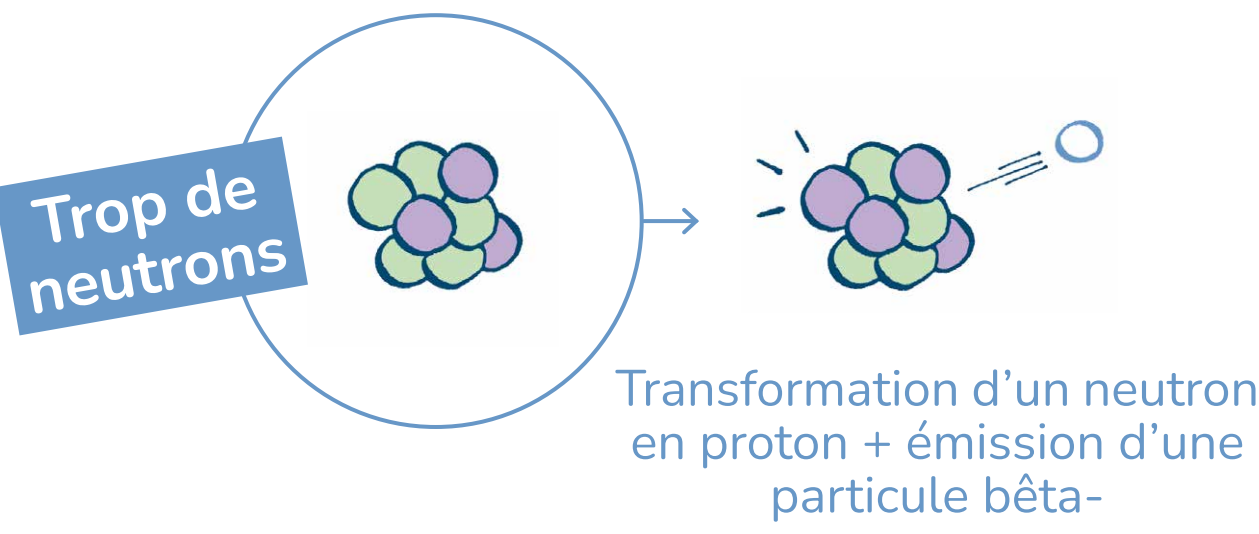
Les mécanismes

La radioactivité peut être d'origine naturelle ou artificielle. Les noyaux radioactifs tendent vers la stabilité par transformations nucléaires :

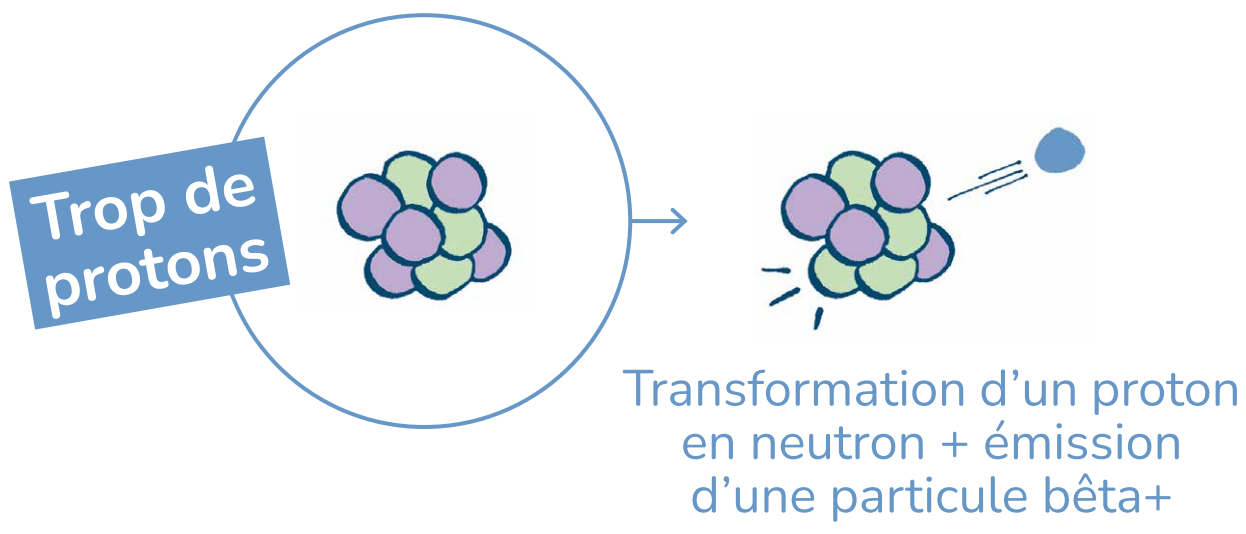
● Les noyaux lourds émettent des ensembles composés de deux neutrons et deux protons (**particule alpha**) ou se scindent en éléments plus légers (**fission**).



● Les noyaux riches en neutrons voient un neutron se transformer en proton et émettre un électron (**particule bêta-**).



● Réciproquement, les noyaux riches en protons voient un proton se transformer en neutron et émettre un positon (**particule bêta+**).



Dans tous ces cas, le nombre de protons dans le noyau varie, ce qui modifie l'espèce chimique associée ! Le nouveau noyau formé est le plus souvent dans un état excité. Il émet alors l'excédant d'énergie sous forme de **rayons gamma**.

Ce qu'il faut retenir...

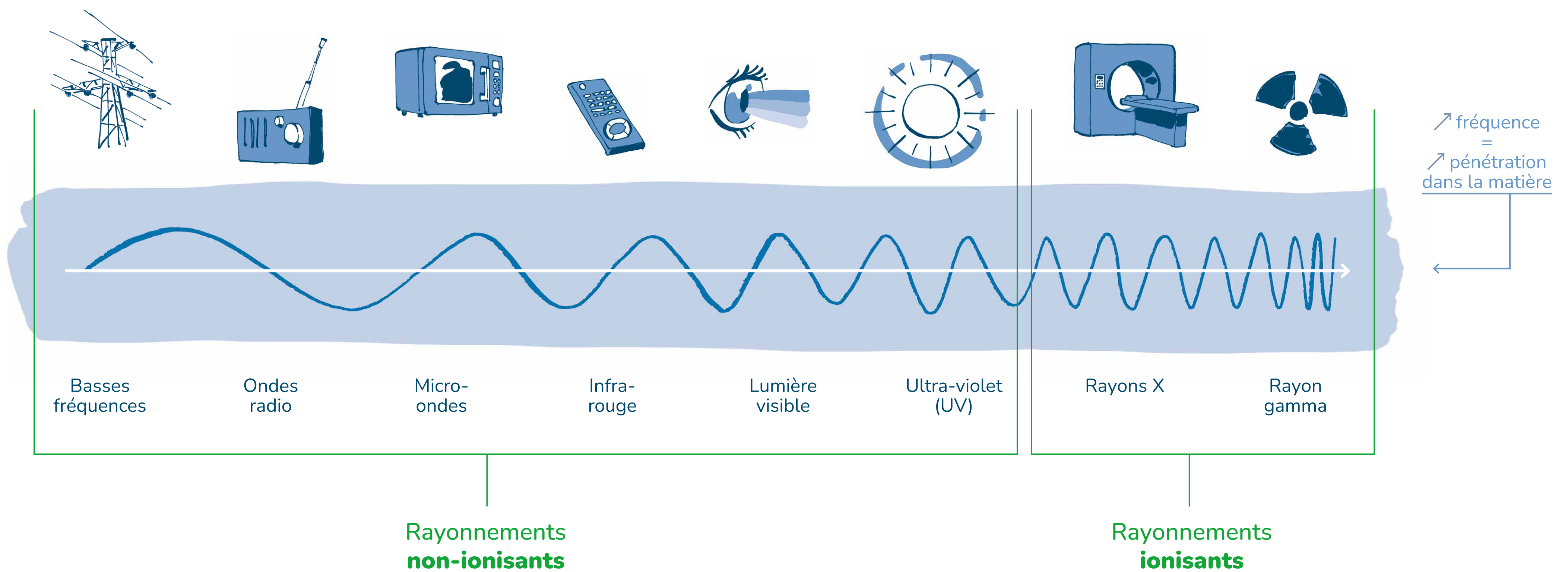
L'**atome** est constitué d'un **noyau** (neutrons et protons) **autour duquel se distribuent des électrons**. La stabilité des noyaux repose sur un équilibre entre le nombre de protons et de neutrons qui le constituent : lorsqu'il est rompu, le noyau devient **instable** et se transforme en émettant des **rayonnements**. Ces transformations nucléaires peuvent se produire naturellement ou être provoquées artificiellement.

2 SPECTRE ÉLECTROMAGNÉTIQUE ET RAYONNEMENTS

Le terme « **rayonnement** » désigne **l'émission ou la propagation d'énergie sous forme de particules ou d'ondes**. Selon leur nature et leur énergie, certains rayonnements sont dits ionisants. Ils pénètrent dans la matière et peuvent y apporter des modifications !

Des rayonnements électromagnétiques au quotidien...

Le **spectre électromagnétique** est organisé selon l'énergie – ou la fréquence – des rayonnements : si les ondes radio, les micro-ondes ou la lumière sont non ionisants, les rayons X ou gamma, en revanche, le sont.



... dont certains font partie de la famille des « ionisants ».

Les **rayonnements électromagnétiques** les plus énergétiques, sont dits « indirectement ionisants ».

Ils ne possèdent ni masse ni charge, ce qui leur permet de pénétrer plus profondément dans la matière, dans laquelle ils cèdent leur énergie :

- Les **rayons X** sont produits artificiellement ou émis spontanément par des atomes.
- Les **rayons gamma (Y)** sont émis par le noyau de l'atome, le plus souvent après l'émission d'un rayonnement alpha ou bêta, lorsque le noyau présente un excès d'énergie.

Les **rayonnements alpha (α)** et **bêta (β)**, émis par des noyaux instables lors de la radioactivité, sont des particules chargées. Ils sont dits « directement ionisants ».

Leur parcours dans la matière est faible car ils y cèdent progressivement leur énergie.

D'autres particules, comme les **neutrons** – émis par exemple lors de la fission nucléaire –, sont également ionisantes et capables de pénétrer la matière.



Ce qu'il faut retenir...

Les **rayonnements ionisants** possèdent suffisamment d'énergie pour **arracher des électrons aux atomes** (ex. : rayons X, rayons gamma, particules alpha et bêta, neutrons). Les **rayonnements non ionisants** n'ont pas cette capacité et interagissent principalement par **chauffage ou excitation moléculaire** (ex. : ondes radio, micro-ondes, lumière visible). L'évaluation des risques, qui conduit à la mise en oeuvre de mesures de radioprotection, s'appuie exclusivement sur la prise en considération des rayonnements ionisants.

3 LES GRANDEURS DOSIMÉTRIQUES

La **dosimétrie** est la mesure de la dose de **rayonnements ionisants** (rayons X, gamma, bêta, neutrons) reçue par un objet ou une personne. Elle fait partie des outils de la **radioprotection** pour estimer la dose équivalente ou la dose efficace et mettre en place des mesures de radioprotection.

Les 3 unités de mesure



L'activité d'une source
On mesure ici le nombre de rayonnements émis par la source en une seconde. Plus ce nombre est élevé, plus la source est active.
→ On compte le nombre de pommes tombées de l'arbre dans un temps donné.

Unité de mesure :
Becquerel (Bq)
Appareil utilisé :
Compteur Geiger

La dose reçue
On mesure ici la quantité d'énergie cédée par les rayonnements à un sujet.
→ On compte le nombre de pommes tombées sur une personne.

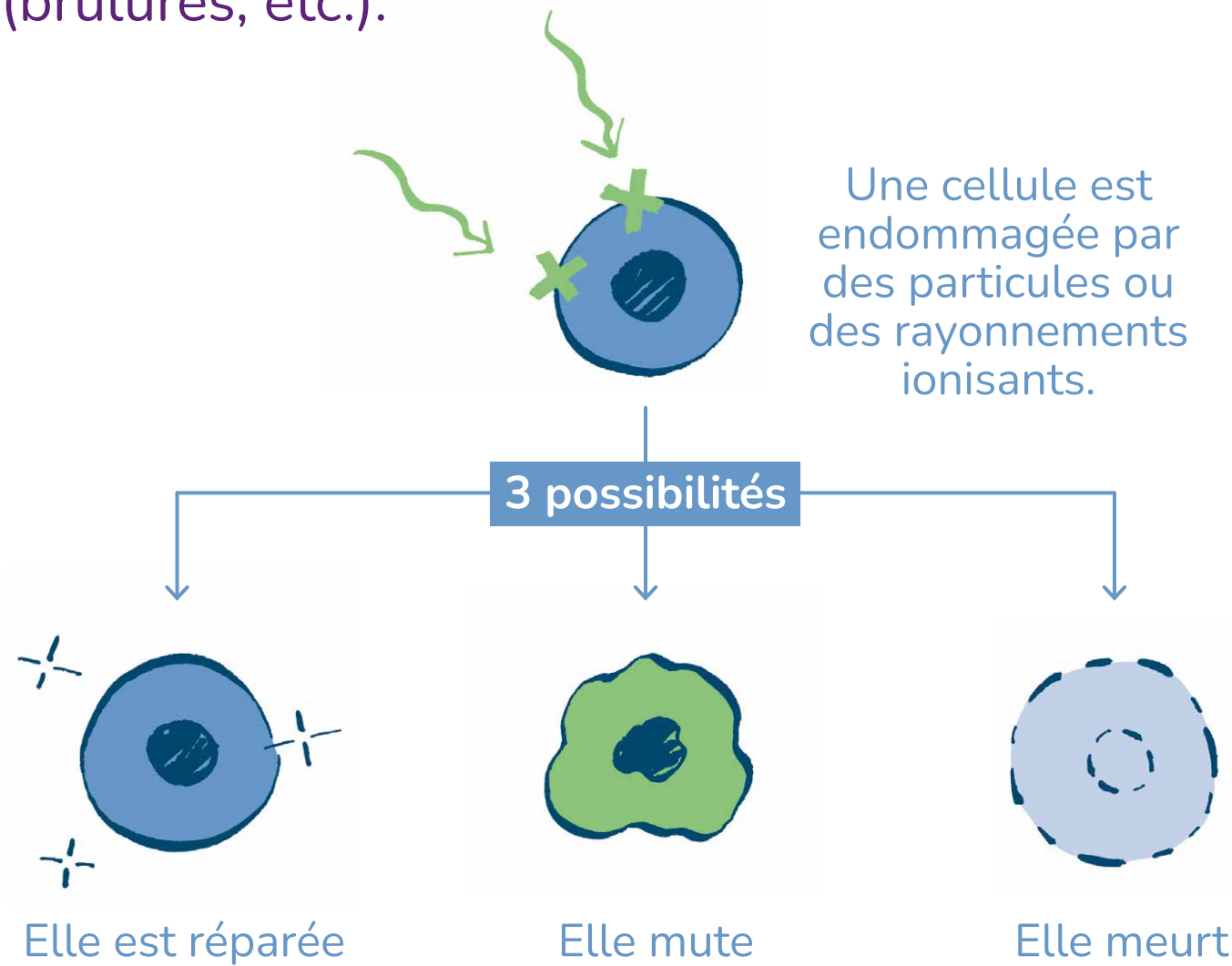
Unité de mesure :
Gray (Gy)
Appareil utilisé :
Dosimètre

La dose efficace
On estime ici les dommages occasionnés par les rayonnements à un sujet.
→ On estime les effets de l'impact des pommes sur une personne.

Unité de mesure :
Sievert (Sv)
Paramètres d'estimation :
Type de rayonnement, sensibilités des organes et tissus.

Effets biologiques

En France, la dose moyenne annuelle d'origine naturelle est de 2,4 mSv. Une exposition à des doses élevées de rayonnements ionisants peut toutefois avoir des effets à long terme sur les organismes vivants (cancers, leucémies, etc.) voir des effets immédiats au-delà de 500 mSv (brûlures, etc.).



Les 3 principes de la radioprotection

- Une activité utilisant des rayonnements doit être **justifiée** par les avantages nets qu'elle procure.
- Les expositions doivent être **optimisées** au niveau le plus faible raisonnablement possible, compte tenu des contraintes techniques, économiques et sociales.
- Les doses individuelles ne doivent pas dépasser les **limites** réglementaires. Par exemple, la limite d'exposition admissible des travailleurs est de 20 mSv.

Ce qu'il faut retenir...

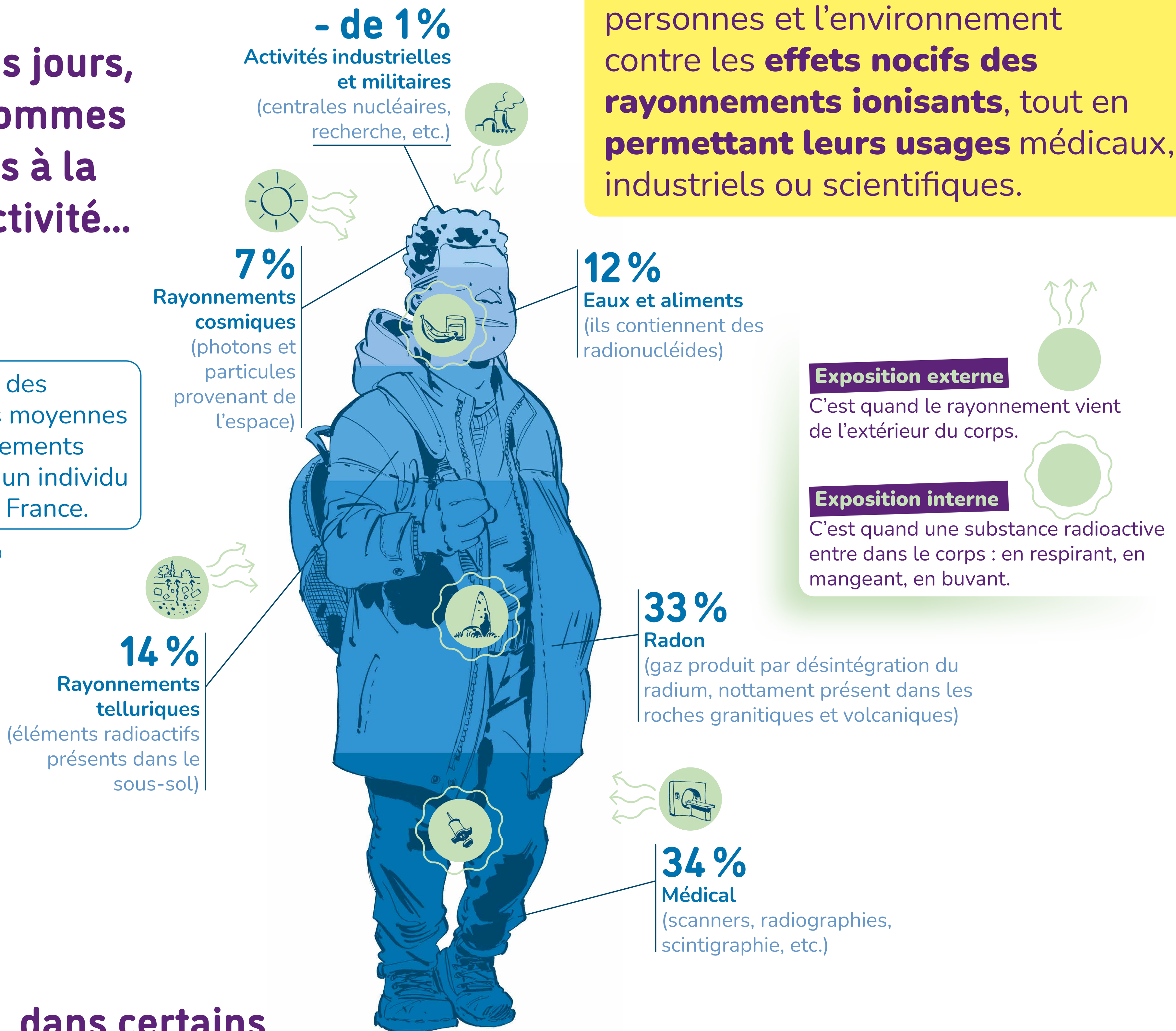
L'**activité** se mesure en **becquerels (Bq)** et indique le nombre de désintégrations radioactives par seconde. La **dose reçue**, en **gray (Gy)**, quantifie l'énergie déposée par des rayonnements dans un tissu. La **dose efficace**, en **sievert (Sv)**, traduit le risque global pour la santé, tenant compte de la nature des rayonnements ionisants et des organes touchés. Ces grandeurs permettent d'évaluer l'exposition aux rayonnements ionisants et mettre en place des mesures de radioprotection, fondées sur les principes de **justification**, d'**optimisation** et de **limitation**.

4 LA RADIOPROTECTION

Tous les jours, nous sommes exposés à la radioactivité...

Répartition des expositions moyennes aux rayonnements ionisants d'un individu résidant en France.

(Source pour les données chiffrées : IRSN - chiffres 2021)



... mais, dans certains contextes, il est important de se protéger. Comment faire ?

● Diminuer l'intensité de **la source**

La source est ce qui produit les rayonnements.
→ Plus tu baisses le four, moins il émet de chaleur.

● Augmenter **la distance**

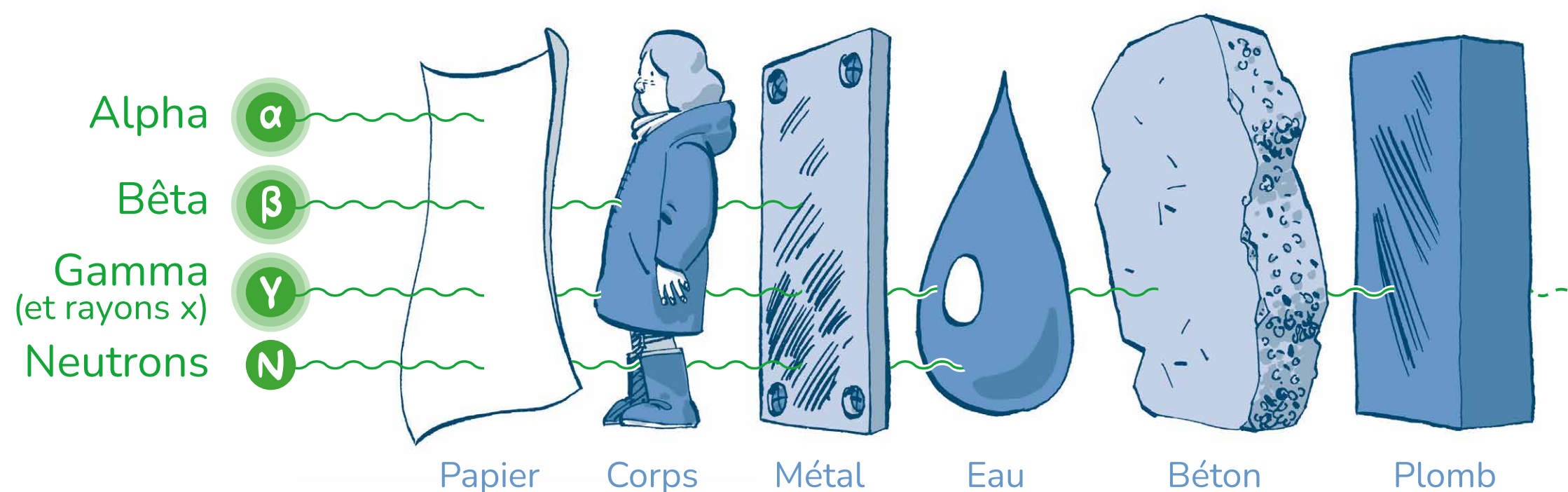
Plus on est loin de la source, moins on reçoit de rayonnements.
→ Plus tu t'éloignes d'un four en marche, moins tu sens sa chaleur.

● Limiter **le temps** d'exposition

Réduire le temps d'exposition permet de réduire directement la dose de rayonnement reçu.
→ Moins longtemps tu laisses un plat dans le four, moins il est cuit.

● Utiliser **l'écran** adapté

Un écran est un obstacle qui bloque ou arrête les rayonnements.
→ Tu utilises un gant pour sortir un plat du four sans te brûler.
Le choix de l'écran dépend du type de rayonnement :



Ce qu'il faut retenir...

Pour limiter l'exposition aux rayonnements ionisants, il convient de diminuer l'intensité de la source. Pour s'en protéger, on utilise 3 règles simples :

- S'éloigner de la source (distance).
- Rester le moins longtemps possible (temps).
- Mettre un obstacle entre soi et la source (écran).

Ces éléments constituent la base de toute démarche de radioprotection professionnelle.

Produire de l'énergie : les centrales nucléaires

Explorer l'espace

Assurer des fonctions stratégiques

Ce qu'il faut retenir...

Graphisme et illustration : Paul Gros

6 LES APPLICATIONS DE LA RADIOACTIVITÉ : DE LA MÉDECINE À L'ARCHÉOLOGIE

La radioactivité est d'intérêt à la fois **scientifique, technologique et pratique**, au service de l'homme et de son environnement.

Domaine médical

La radioactivité est largement utilisée pour le **diagnostic** et le **traitement** médical. Des radioéléments (technétium-99m, fluor-18...) sont par exemple utilisés en **scintigraphie**, **TEP** ou **PET scan** pour visualiser le fonctionnement des organes (ex : plateforme d'imagerie Cyceron, située à Caen). Les rayonnements (gamma, bêta) permettent également de **détruire les cellules cancéreuses** tout en préservant au maximum les tissus sains. C'est le principe mis en œuvre en **radiothérapie**.

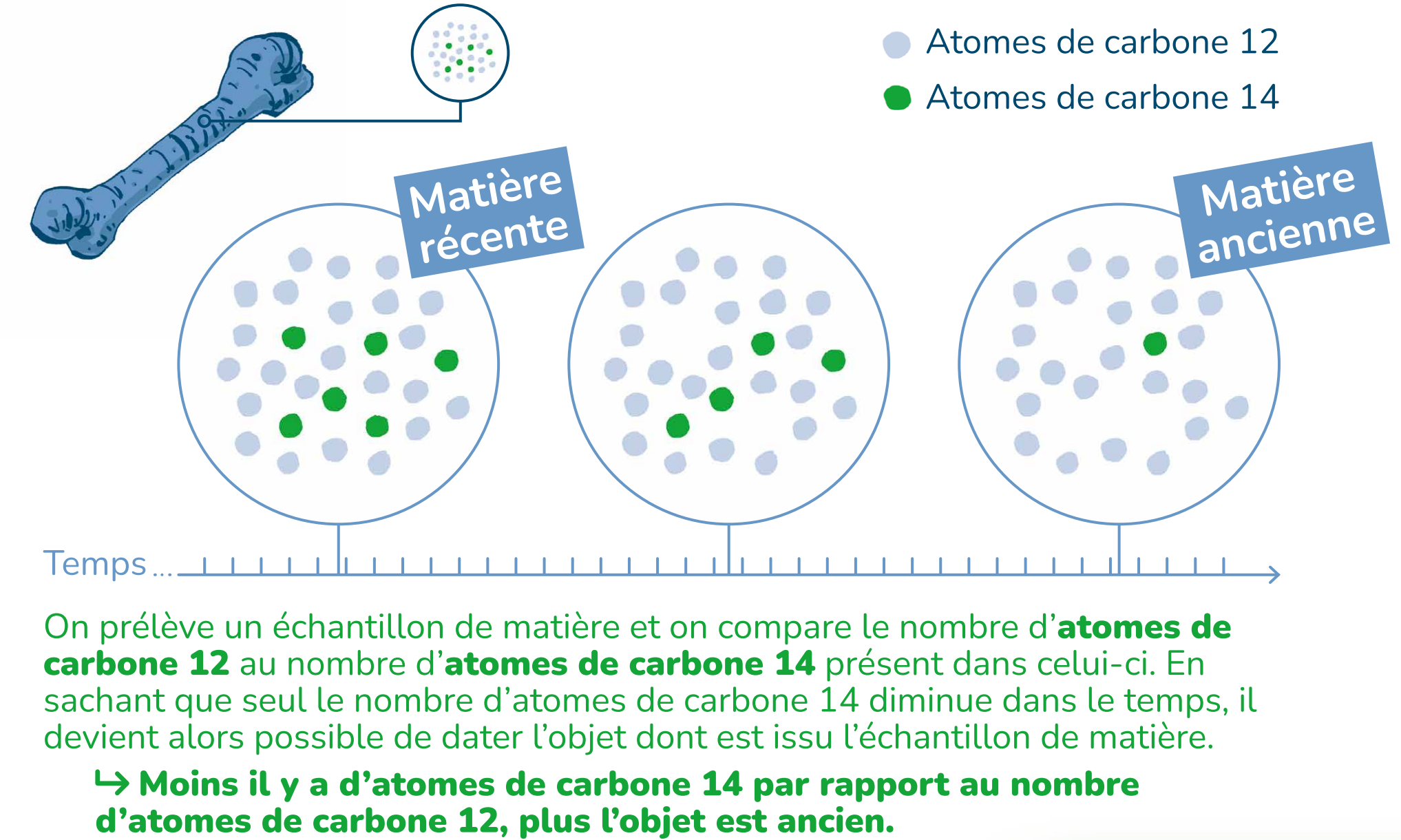
Recherche en biologie

L'utilisation de la radioactivité en biologie contribue à mieux comprendre le fonctionnement du vivant. Le **traçage radioactif** permet de suivre le cheminement des molécules (ADN, protéines, hormones) dans les cellules et étudier leur **métabolisme**. Il aide à analyser les échanges chimiques et biologiques avec une grande précision.

Archéologie

La radioactivité est un outil clé pour la **datation** et l'étude des vestiges.

- La **datation au carbone 14** permet de dater les objets organiques (bois, os, tissus) jusqu'à environ **50 000 ans**, mais **d'autres méthodes isotopiques** sont également utilisées pour dater des roches, céramiques ou fossiles.

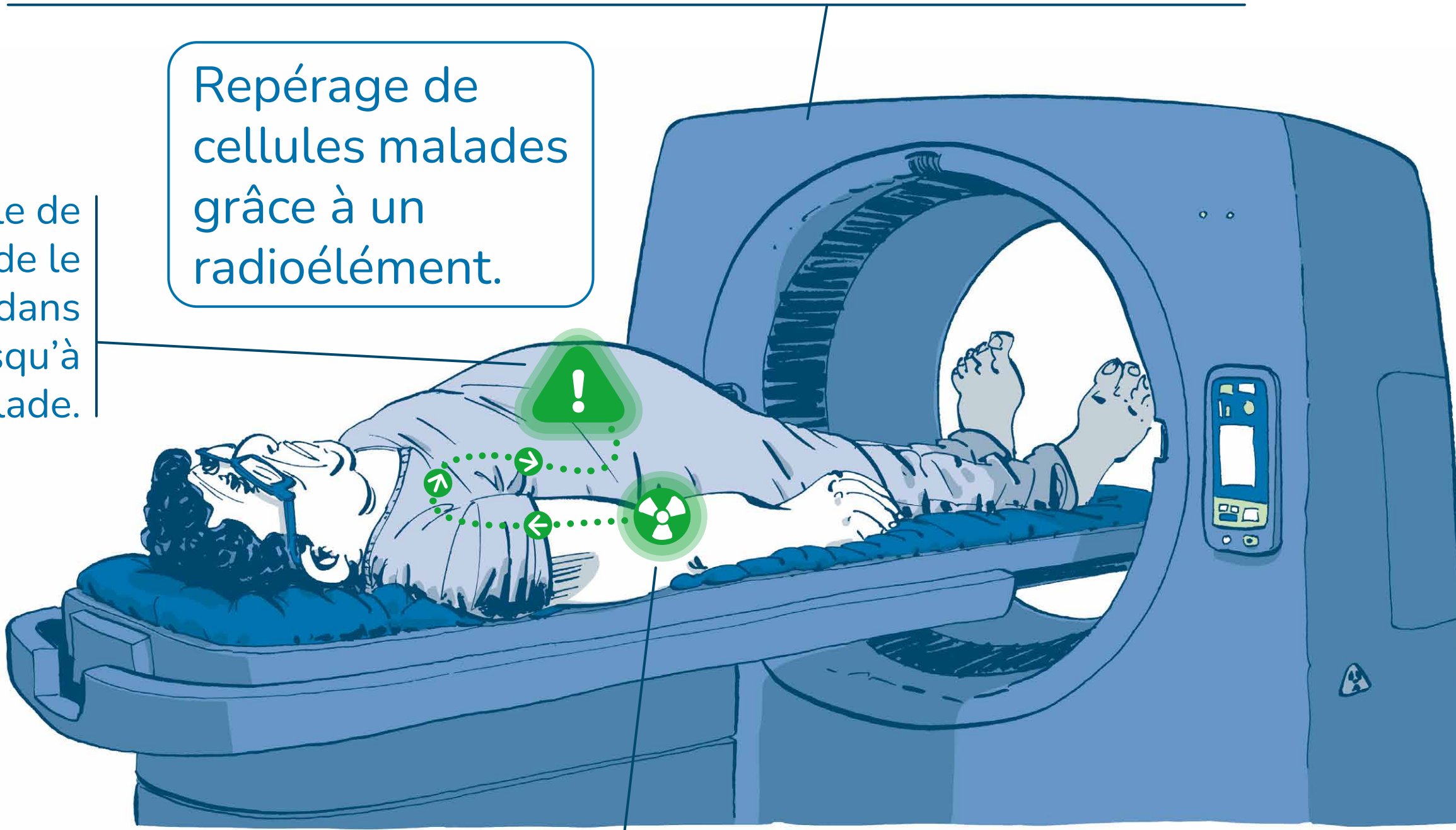


- Analyse des matériaux :** Les isotopes aident à identifier l'origine des objets et les techniques de fabrication.

3) Au contact du radioélément, les cellules malades émettent davantage de rayons gamma que les cellules saines. Cette émission peut être captée par un appareil d'imagerie médicale (scanner PET, etc.) et ainsi permettre la localisation des cellules malades (notamment celles des tumeurs).

2) La molécule de ciblage guide le radioélément dans l'organisme jusqu'à la zone malade.

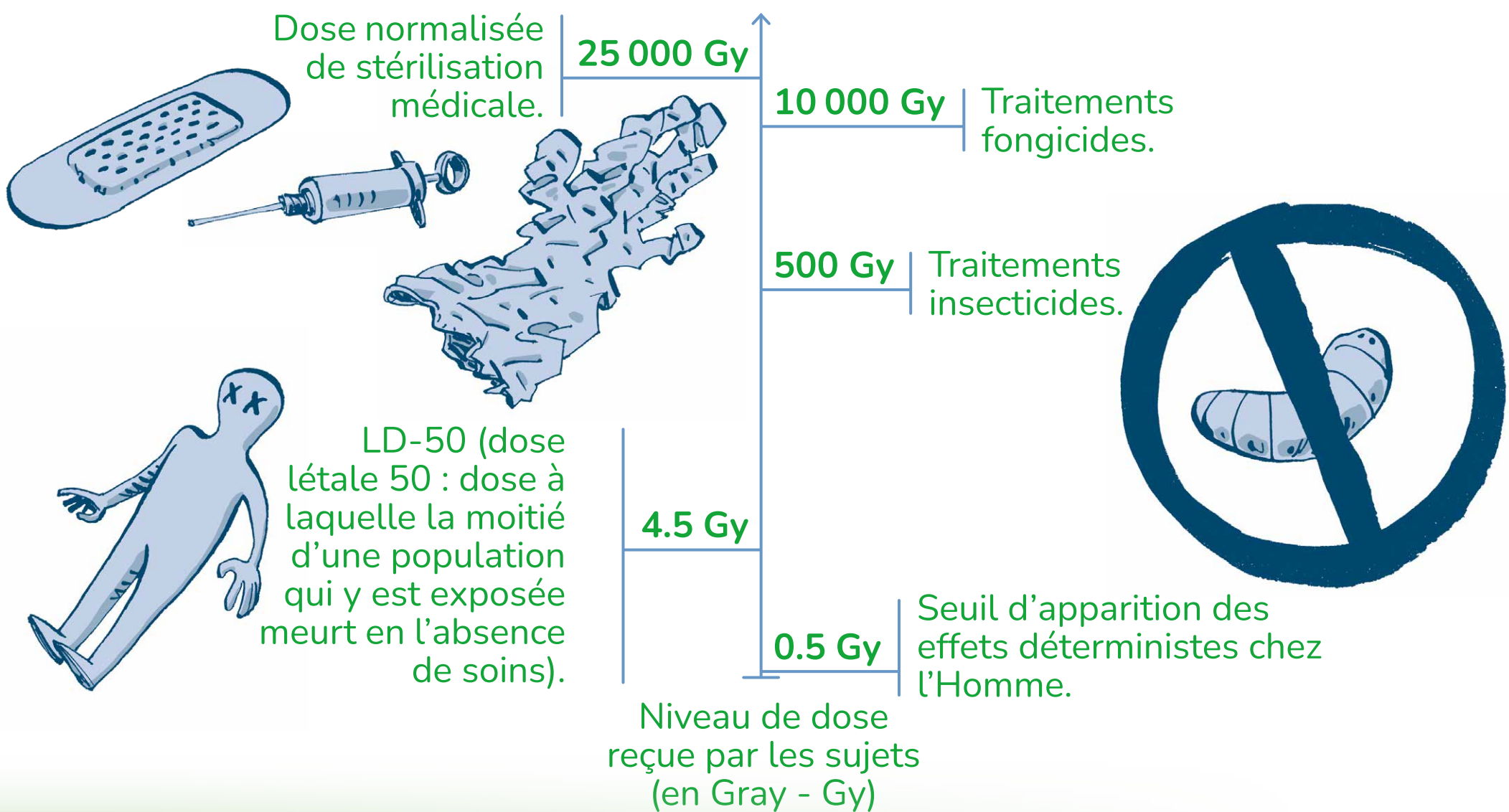
Repérage de cellules malades grâce à un radioélément.



1) On injecte au patient (ou celui-ci ingère) un radioélément associé à une molécule de ciblage (cet assemblage constitue un radiopharmaceutique).

Stérilisation et amélioration de la conservation

La **stérilisation de produits par irradiation** est utilisée pour détruire ou inactiver les micro-organismes (bactéries, virus, champignons, spores) au moyen de radiations énergétiques qui altèrent leur ADN et les empêchent de se reproduire. Les rayonnements gamma, bêta ou X sont employés en fonction des caractéristiques des articles à traiter. Cette méthode, rapide et efficace, est par ailleurs applicable à des produits emballés. Elle s'applique tant aux matériels médicaux qu'à l'amélioration de la conservation des aliments !



Ce qu'il faut retenir...

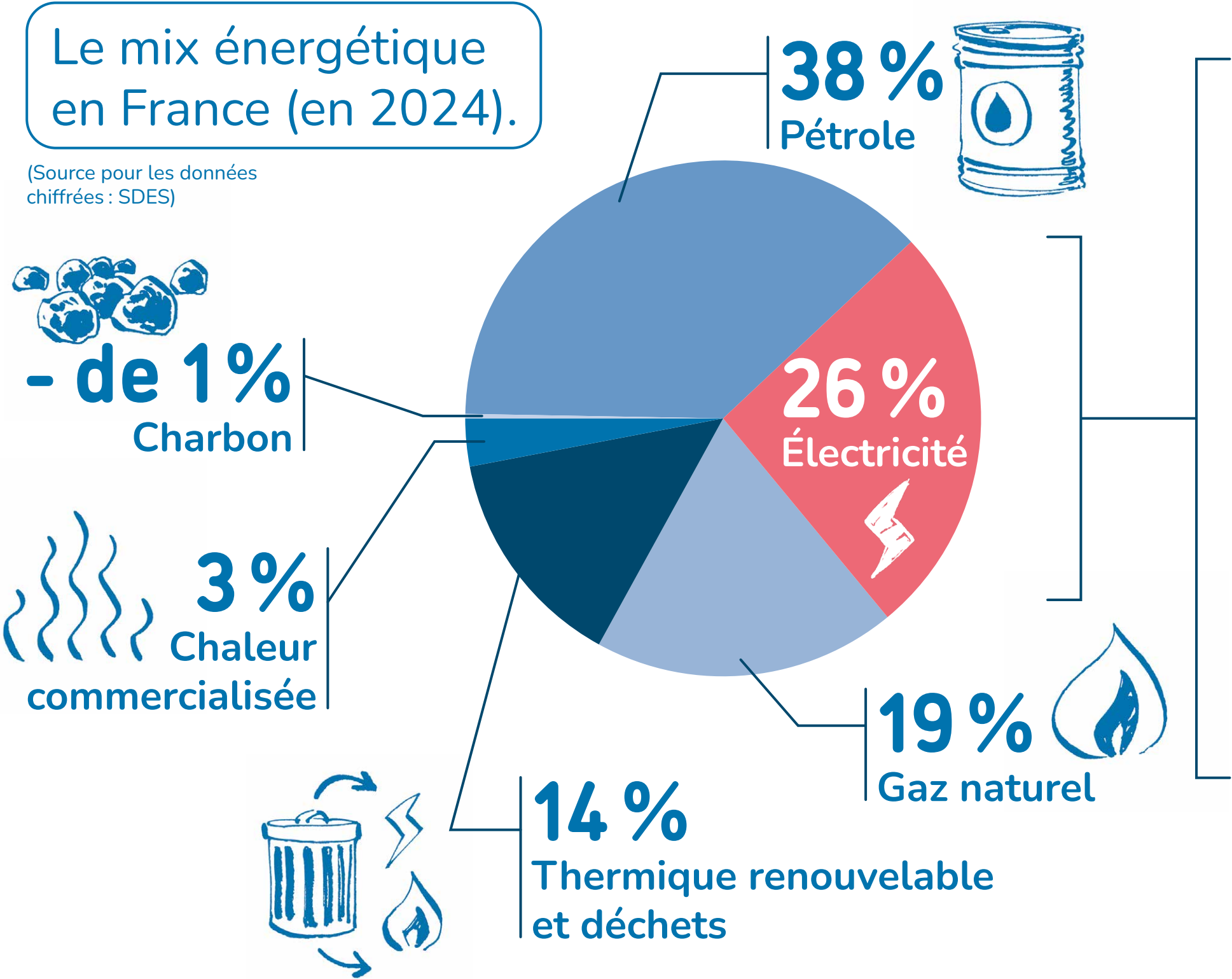
La radioactivité est un outil polyvalent qui permet de **diagnostiquer et traiter des maladies, étudier et améliorer le vivant, stériliser efficacement** et **dater avec précision**. Elle relie science, technologie et applications pratiques, offrant des solutions sûres et innovantes dans des domaines très variés.

7 L'ÉLECTRICITÉ D'ORIGINE NUCLÉAIRE

L'électricité d'origine nucléaire est une des **principales sources de production** d'électricité dans plusieurs pays, notamment en France. Elle repose sur **l'utilisation de l'énergie libérée lors de réactions nucléaires** au sein des centrales.

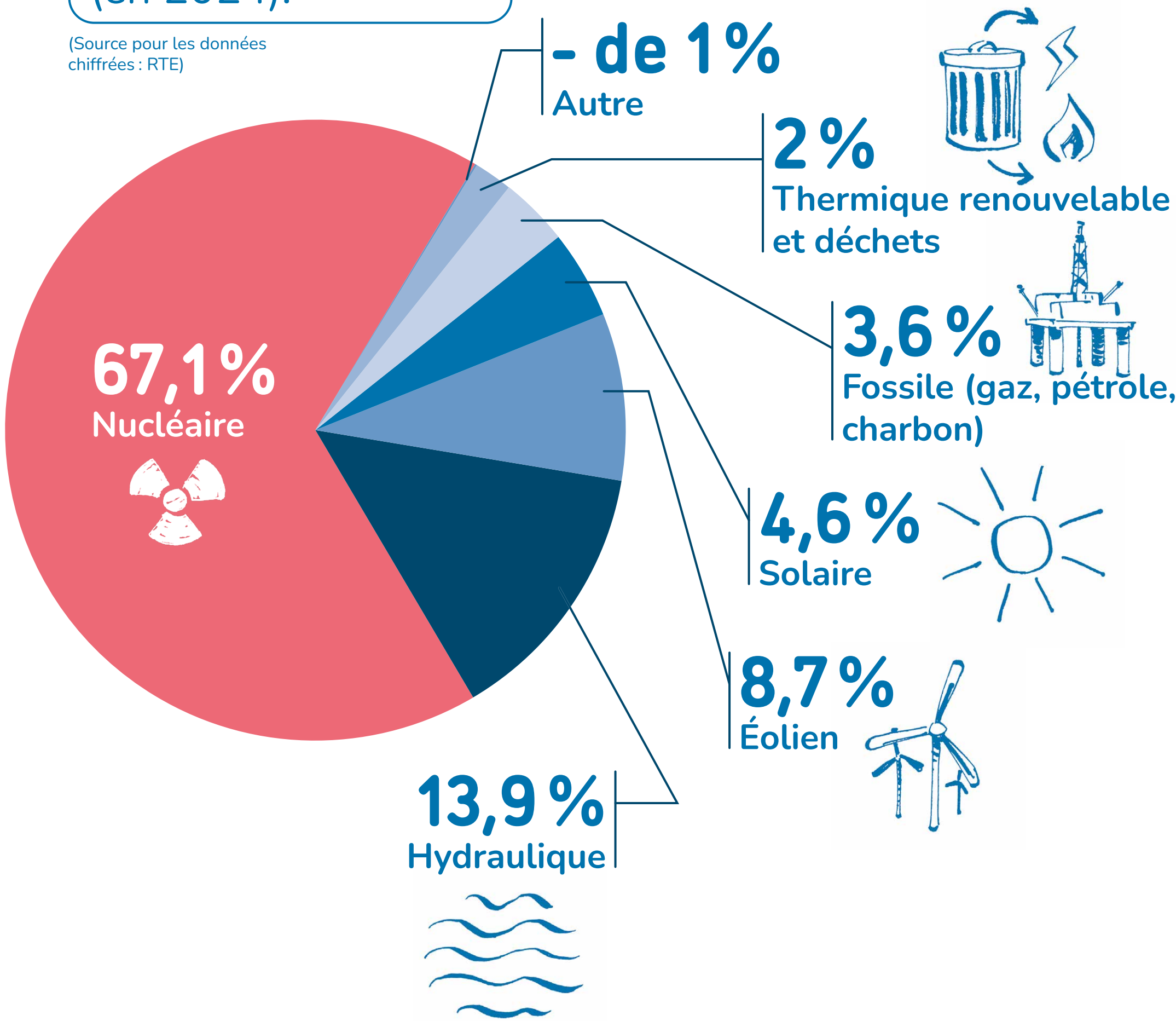
Le nucléaire dans le mix énergétique

Le **mix énergétique** correspond à l'ensemble des sources d'énergie consommées par un pays (pétrole, gaz, nucléaire, énergies renouvelables), notamment pour l'industrie, le transport ou la production d'électricité. En France, le nucléaire occupe une **place très importante** dans la production d'électricité, mais l'énergie électrique, elle, n'occupe qu'environ 1/4 de notre mix énergétique (énergie consommée).



La production électrique en France (en 2024).

(Source pour les données chiffrées : RTE)



Les caractéristiques de l'énergie nucléaire

- + Avantages**
 - Bas carbone**
L'électricité nucléaire émet très peu de CO₂ lors de sa production. Elle contribue donc à limiter le réchauffement climatique.
 - Régulable**
La production d'électricité nucléaire peut être adaptée aux besoins (augmentée ou diminuée selon la demande), contribuant à fournir de l'électricité à tout moment de la journée et de l'année en répondant aux pics de consommation.
 - Économique**
La production d'électricité nucléaire est très concentrée : une petite quantité de combustible peut produire une grande quantité d'énergie. Elle est aussi économiquement performante, en moyenne 20 % moins chère que les sources d'électricité conventionnelles.
 - Stratégique**
L'électricité nucléaire octroie à la France une relative indépendance énergétique au gaz ou au pétrole, qu'une politique d'électrification des usages tend à accroître encore à l'avenir.

- Inconvénients**
 - Non renouvelable**
Le nucléaire utilise de l'uranium, une ressource disponible en quantités limitées sur Terre. Une fois utilisée, elle ne se renouvelle pas à l'échelle humaine.
 - Génératrice de déchets**
La technologie produit des déchets radioactifs qui doivent être stockés sur de longues durées sans qu'il n'existe pour l'instant de solution de traitement de ces déchets, à l'état des connaissances scientifiques actuelles !
 - Source de risques**
Au-delà d'un accident industriel classique, un accident nucléaire peut exposer la population et l'environnement à la radioactivité, jusqu'à plusieurs dizaines de kilomètres du lieu de l'accident.

Ce qu'il faut retenir...

La production d'électricité nucléaire présente l'avantage de **produire de grandes quantités d'énergie avec peu d'émissions directes de gaz à effet de serre**, mais elle soulève aussi des questions liées à la gestion des **déchets radioactifs** et aux **risques d'accident**.

8 COMPARAISON DE DIFFÉRENTES SOURCES D'ÉNERGIE

Chaque source d'énergie ne fonctionne pas de la même manière et n'a pas le même **rendement énergétique**, c'est-à-dire l'efficacité avec laquelle elle transforme une ressource (combustible, vent, soleil...) en **électricité**.

Le **rendement énergétique** d'un système correspond au rapport entre l'énergie utile produite et l'énergie initialement fournie. Il permet d'évaluer l'efficacité d'un dispositif de production d'électricité. Une partie de l'énergie est toujours perdue, le plus souvent sous forme de chaleur.



Nucléaire

uranium → chaleur → vapeur → turbine → ⚡

Rendement

30-35 %

→ Cela signifie que seulement 1/3 de l'énergie contenue dans le combustible devient électricité (le reste est perdu sous forme de chaleur).

+ Avantages

- Produit beaucoup d'électricité (production effective élevée).
- Fonctionne en continu (jour et nuit).
- Très peu d'émissions de CO₂.

- inconvénients

- Déchets radioactifs.
- Coût élevé des centrales.
- Risques en cas d'accident (rares).



Énergies fossiles (gaz, charbon)

combustion → chaleur → vapeur → turbine → ⚡

Rendement

35-45 %

+ Avantages

- Production rapide et pilotable.
- Technologie bien maîtrisée.

- inconvénients

- Émet beaucoup de CO₂.
- Pollution de l'air.
- Ressources limitées.



Hydraulique

eau → turbine → ⚡

Rendement

80-90 %

+ Avantages

- Très bon rendement.
- Énergie renouvelable.
- Production stable et pilotable.

- inconvénients

- Besoin de barrages.
- Impact sur l'environnement (paysages, faune).
- Dépend des précipitations.



Éolien

vent → rotor → générateur → ⚡

Rendement

variable

+ Avantages

- Énergie renouvelable.
- Pas d'émission de CO₂.
- Installation relativement rapide.

- inconvénients

- Dépend du vent.
- Production irrégulière.
- Impact visuel et sonore.



Biomasse

bois/déchets → combustion → chaleur → turbine → ⚡

Rendement

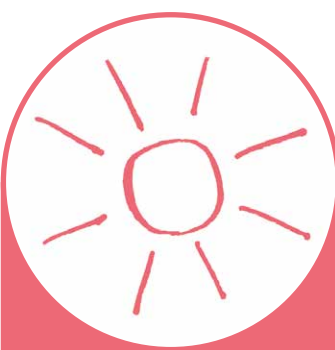
20-30 %

+ Avantages

- Utilise des déchets.
- Énergie renouvelable si bien gérée.
- Production pilotable.

- inconvénients

- Émet du CO₂.
- Rendement moyen.
- Besoin de grandes quantités de matière.



Solaire photovoltaïque

lumière → ⚡

Rendement

15-22 %

+ Avantages

- Énergie renouvelable.
- Pas de bruit.
- Installable sur les toits.

- inconvénients

- Ne produit pas la nuit.
- Dépend du soleil.
- Besoin de grandes surfaces.

Ce qu'il faut retenir...

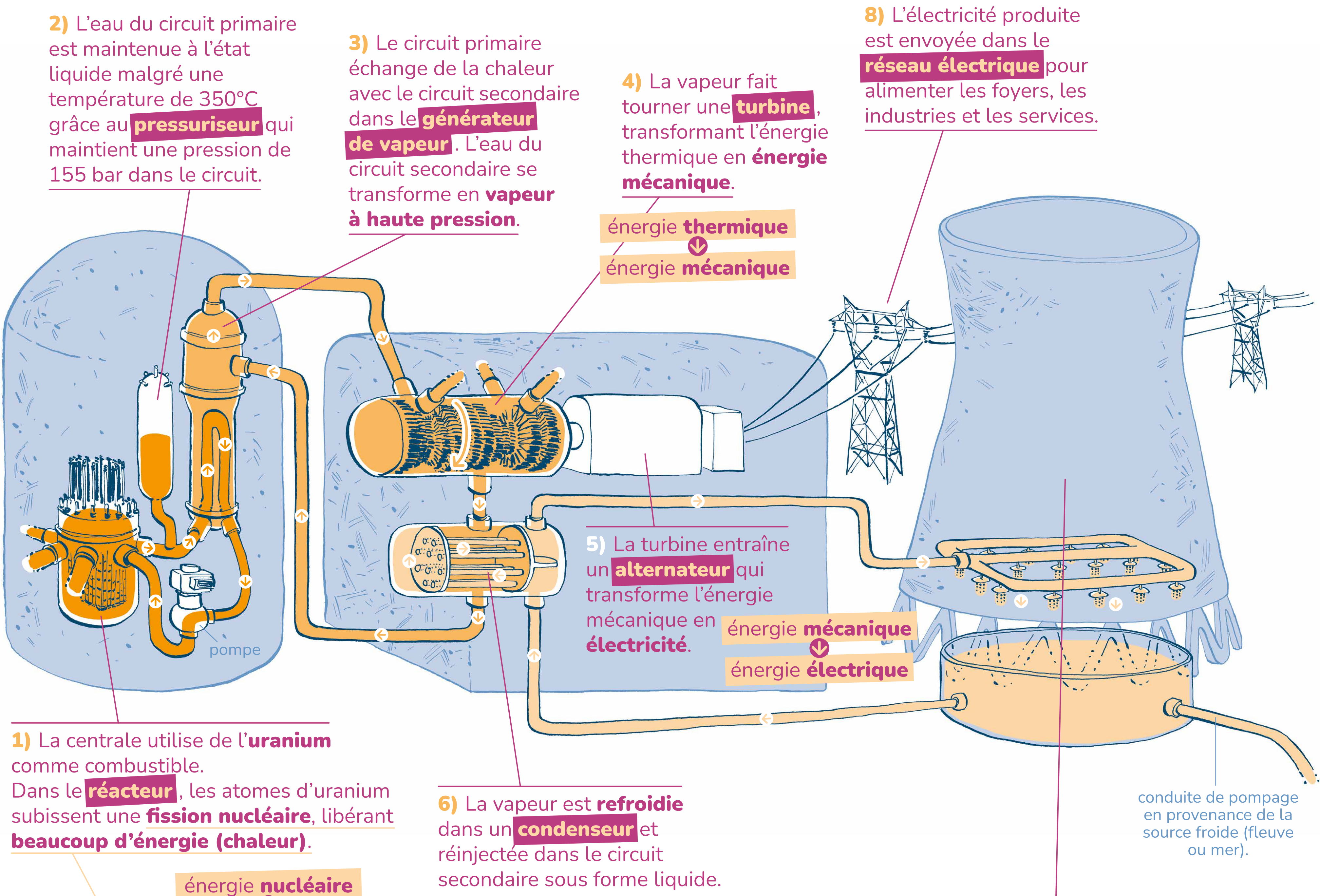
Le **rendement** est un critère important pour comparer les sources d'énergie, mais il doit être considéré avec d'autres éléments comme les **impacts environnementaux**, la **disponibilité des ressources** et les **besoins énergétiques**.

9 LA CENTRALE NUCLÉAIRE DE PRODUCTION D'ÉLECTRICITÉ

La centrale nucléaire est une installation industrielle qui permet de **produire de grandes quantités d'électricité** à partir de l'énergie nucléaire. Elle utilise l'énergie libérée lors de la fission de certains noyaux atomiques pour **produire de la chaleur** qui est ensuite **transformée en électricité**.

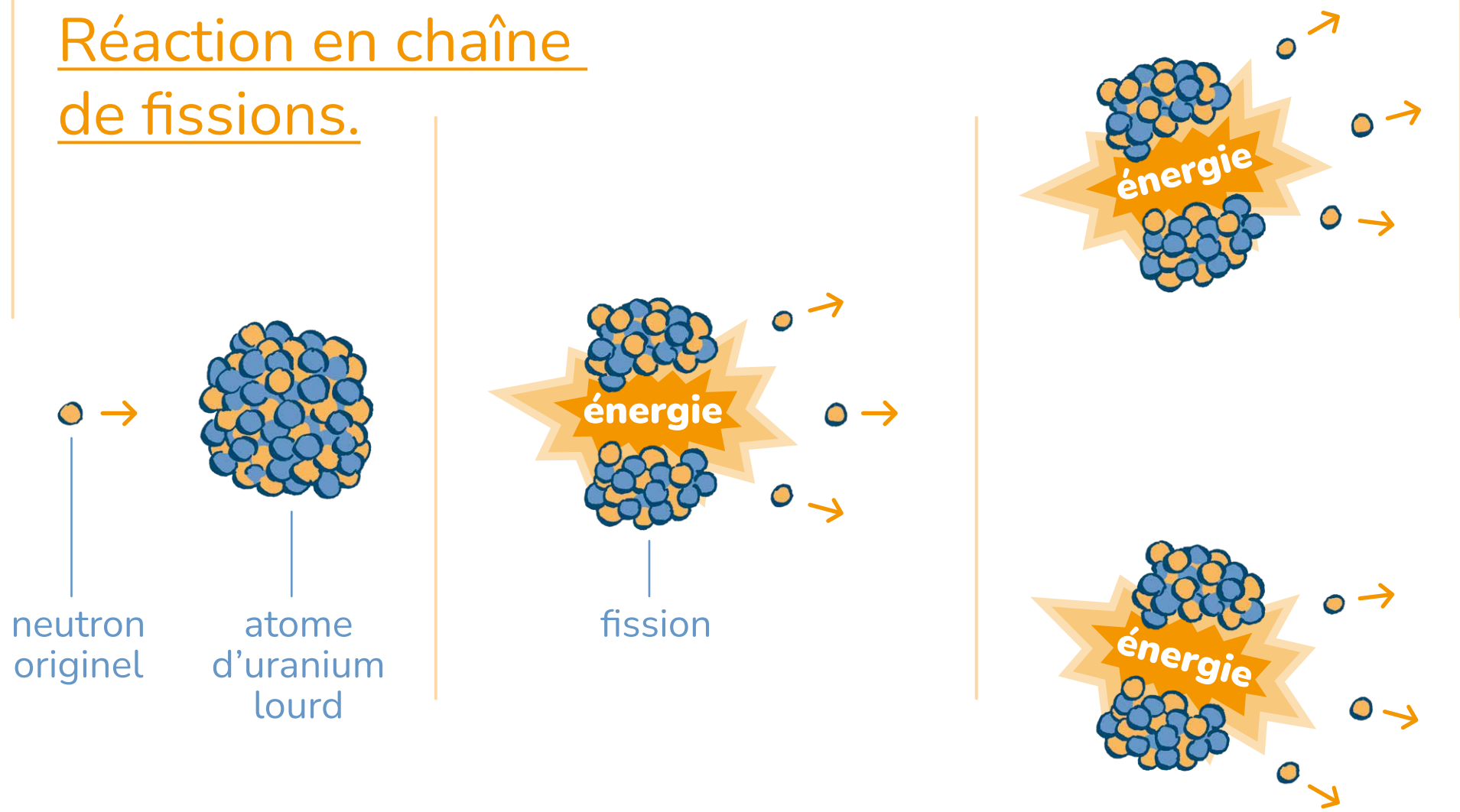
Fonctionnement d'une centrale nucléaire par étapes.

- circuit primaire
- circuit secondaire
- circuit tertiaire (circuit de refroidissement)



1) La centrale utilise de l'**uranium** comme combustible. Dans le **réacteur**, les atomes d'uranium subissent une **fission nucléaire**, libérant **beaucoup d'énergie (chaleur)**.

Réaction en chaîne de fissions.



Ce qu'il faut retenir...

Une centrale nucléaire produit de l'électricité grâce à l'**énergie libérée par la fission des noyaux d'uranium**. La fission produit de la **chaleur**, qui permet de transformer de l'eau en **vapeur**. Cette vapeur fait tourner une **turbine**, reliée à un alternateur qui produit l'**électricité**.

10 LA SÛRETÉ NUCLEAIRE

La **sûreté nucléaire** est l'ensemble des mesures techniques, humaines et organisationnelles mises en place pour **prévenir les accidents** dans les installations nucléaires ou en limiter les effets.

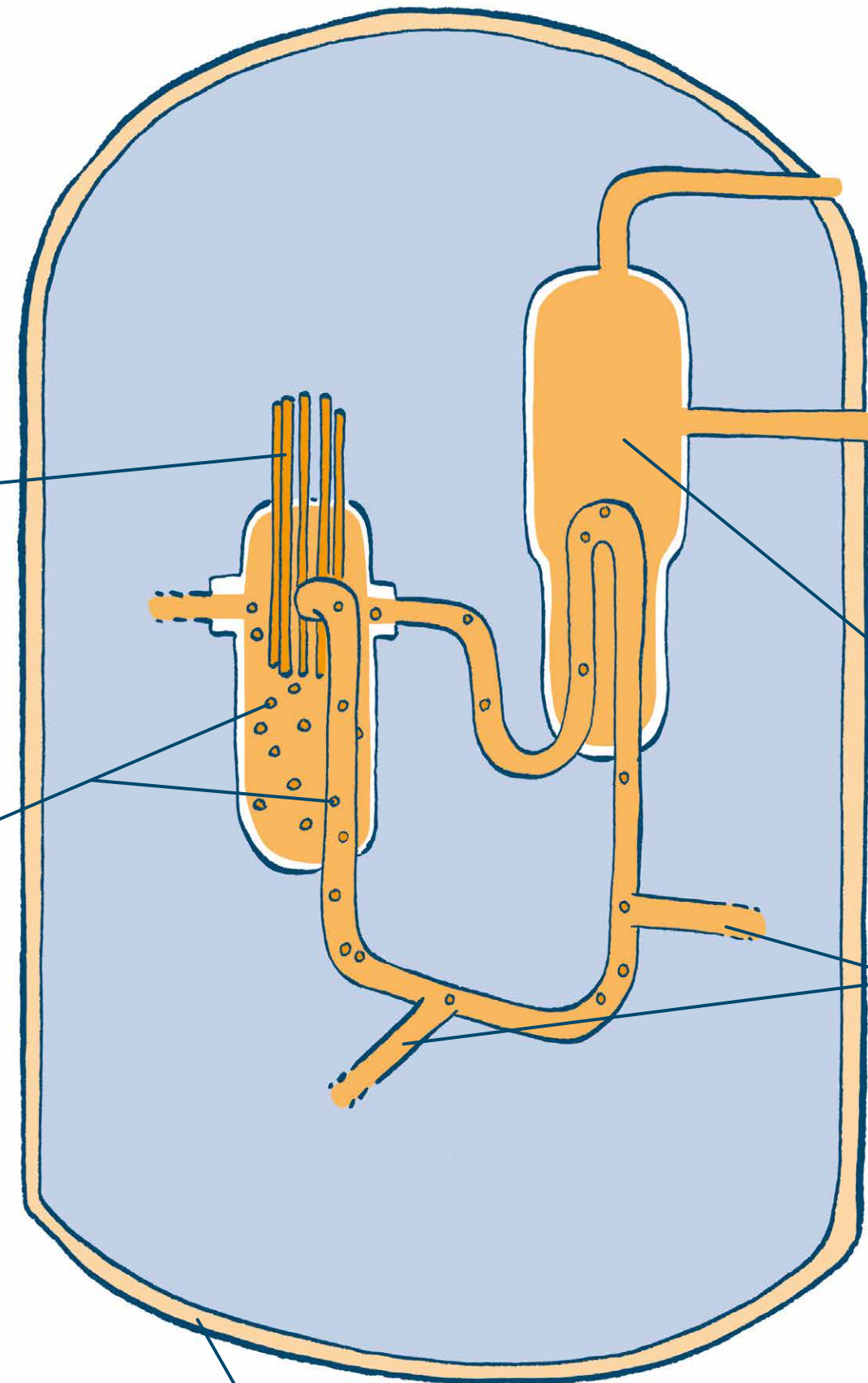
La sûreté dans une centrale nucléaire :

- **Maîtrise du réacteur**
→ Contrôler la fission nucléaire pour que la réaction se déroule en toute sécurité.
- **Confinement du combustible**
→ Le cœur du réacteur est enfermé dans une enceinte étanche et résistante pour éviter toute fuite radioactive.
- **Systèmes de refroidissement**
→ L'eau ou un autre fluide maintient le cœur du réacteur à une température sûre.
- **Systèmes de sécurité redondants**
→ Plusieurs systèmes indépendants peuvent arrêter le réacteur en urgence si nécessaire.
- **Protection des travailleurs et du public**
→ Surveillance des radiations, barrières physiques et procédures strictes pour réduire l'exposition.
- **Prévention et plan d'urgence**
→ Plans d'action en cas d'accident pour limiter les conséquences sur les personnes et l'environnement.

Les principales mesures techniques de sécurité mises en place au sein du bâtiment de réaction.

Contrôler la réaction en chaîne (moduler ou stopper celle-ci) :

- utilisation de barres de contrôle contenant du **cadmium** (élément capable d'absorber les neutrons responsables de la réaction en chaîne);
- ajout de **bore** (élément également capables d'absorber les neutrons) dans l'eau du circuit primaire.



Refroidir le réacteur :

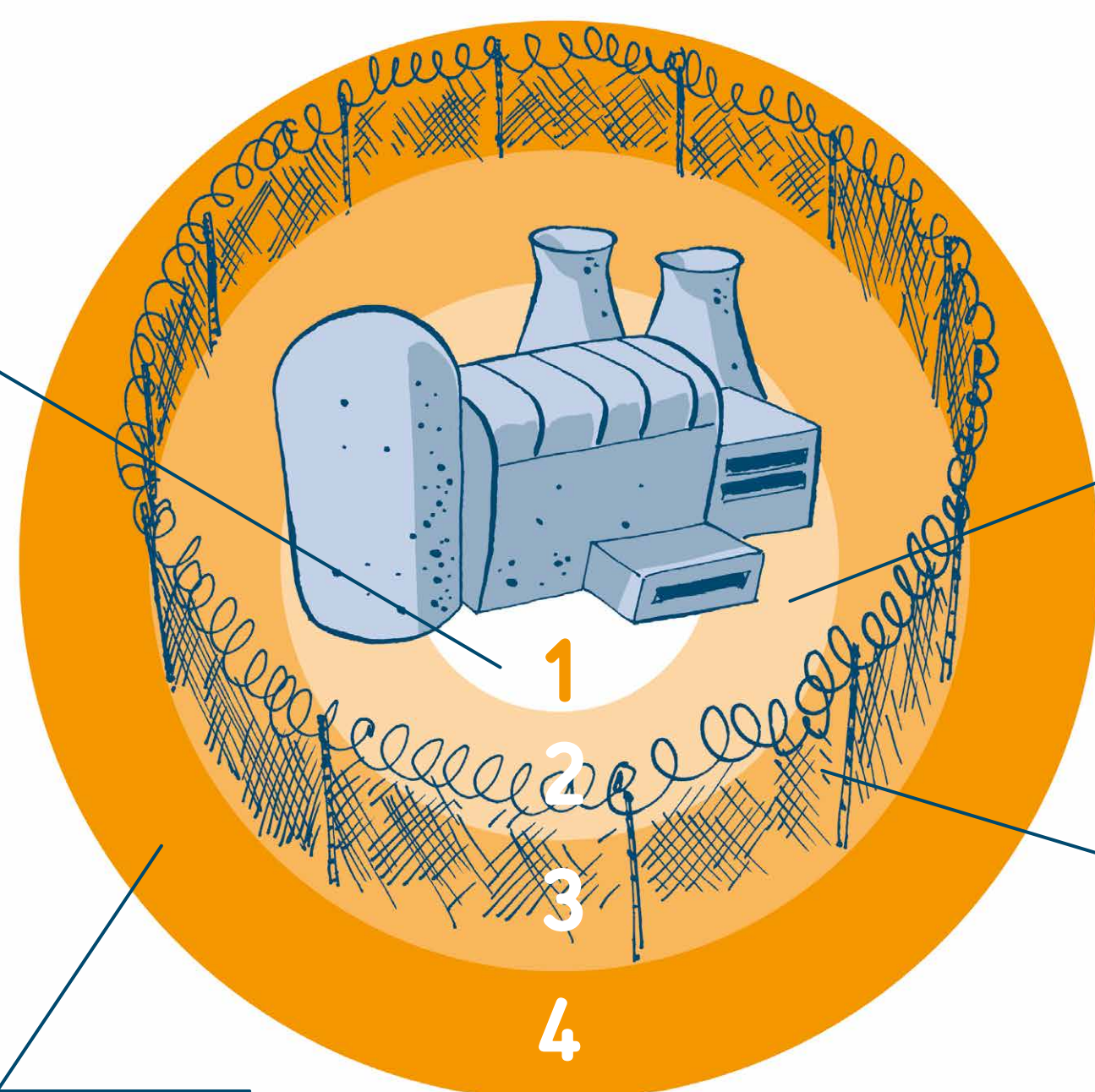
- transfert d'une partie de la chaleur du circuit primaire vers le circuit secondaire (dans le générateur de vapeur);
- utilisation de circuits de refroidissements annexes (notamment lors d'un arrêt du réacteur).

Confiner la radioactivité :

- placement du combustible dans une gaine (le « crayon »);
- séparation des fluides en 3 circuits distincts (primaire, secondaire et tertiaire (circuit de refroidissement));
- enfermement du cœur du réacteur dans une enceinte étanche et résistante.

Les piliers de la sûreté nucléaire.

1) Anticipation les défaillances lors de la construction des installations, réaliser les contrôles et la maintenance nécessaire au fonctionnement normal de celles-ci.



2) Détection des défaillances, maîtrise de celles-ci. Activation de systèmes de sauvegarde des installations et déclenchement de procédures de conduite accidentelle.

3) Limitation des dégradations de l'installation, poursuite des procédures de conduite accidentelle et déclenchement d'un plan d'urgence interne.

4) Déclenchement d'un plan d'urgence externe pour limiter les conséquences sur les personnes et l'environnement à l'extérieur du site.

ASNR : Autorité de sûreté nucléaire et de radioprotection. Elle assure, au nom de l'État, le contrôle des activités nucléaires civiles en France.

Ce qu'il faut retenir...

La sûreté nucléaire repose sur plusieurs barrières de protection, des systèmes de contrôle et de refroidissement, ainsi qu'une surveillance permanente des installations afin de garantir la sécurité des populations et de l'environnement. Elle fait partie de la **sécurité nucléaire** qui comprend également la radioprotection, la prévention et la lutte contre les actes de malveillance ainsi que les actions de sécurité civile en cas d'accident.

11 LE CYCLE DU COMBUSTIBLE

Cycle du combustible des centrales nucléaires.



L'amont du cycle : les étapes avant l'utilisation du combustible dans la centrale.



L'utilisation du combustible.

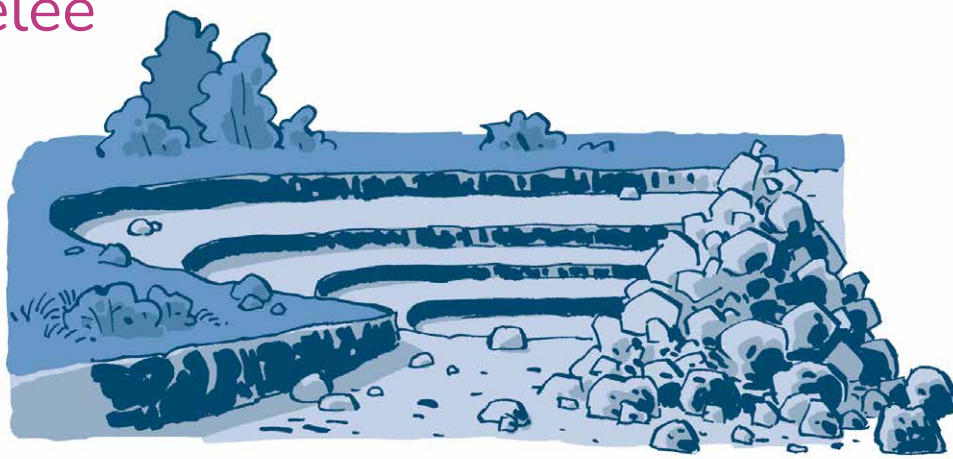


L'aval du cycle : le recyclage et le stockage des déchets nucléaires (en France).

L'uranium est le principal combustible utilisé dans les centrales nucléaires. Il suit un ensemble d'étapes appelé « cycle du combustible nucléaire » qui comprend **l'extraction du minerai**, sa **transformation** en combustible utilisable dans les réacteurs, son **utilisation** pour produire de l'énergie, puis sa gestion comme **combustible utilisé**.

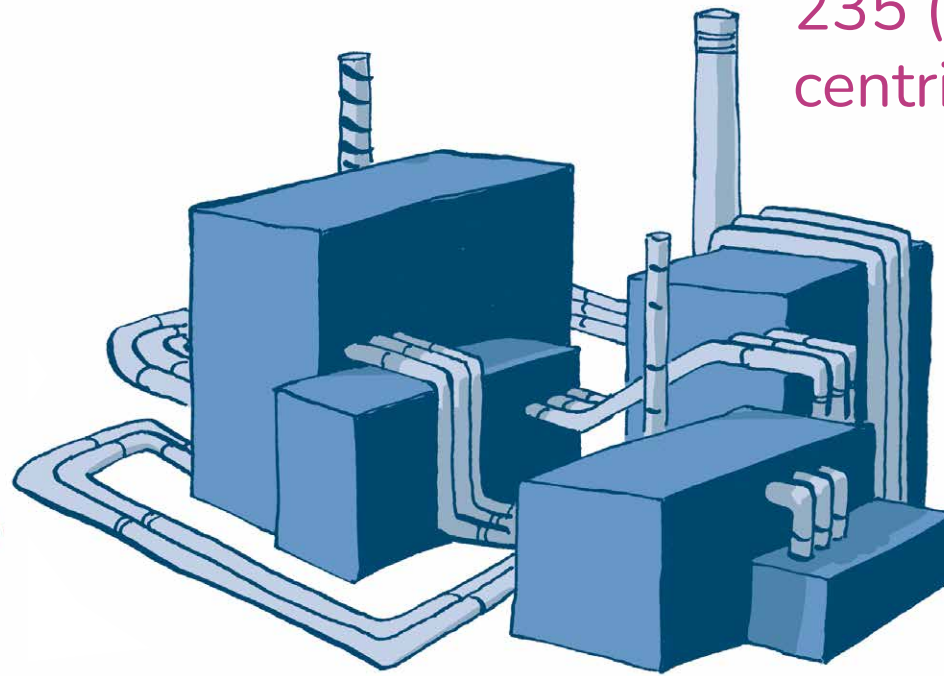
1) Extraction et traitement de l'uranium

L'uranium est un **minerai** présent dans le sous-sol extrait dans des mines (Canada, Kazakhstan, Australie...). Après extraction, il est traité pour obtenir un concentré appelé **yellow cake**.



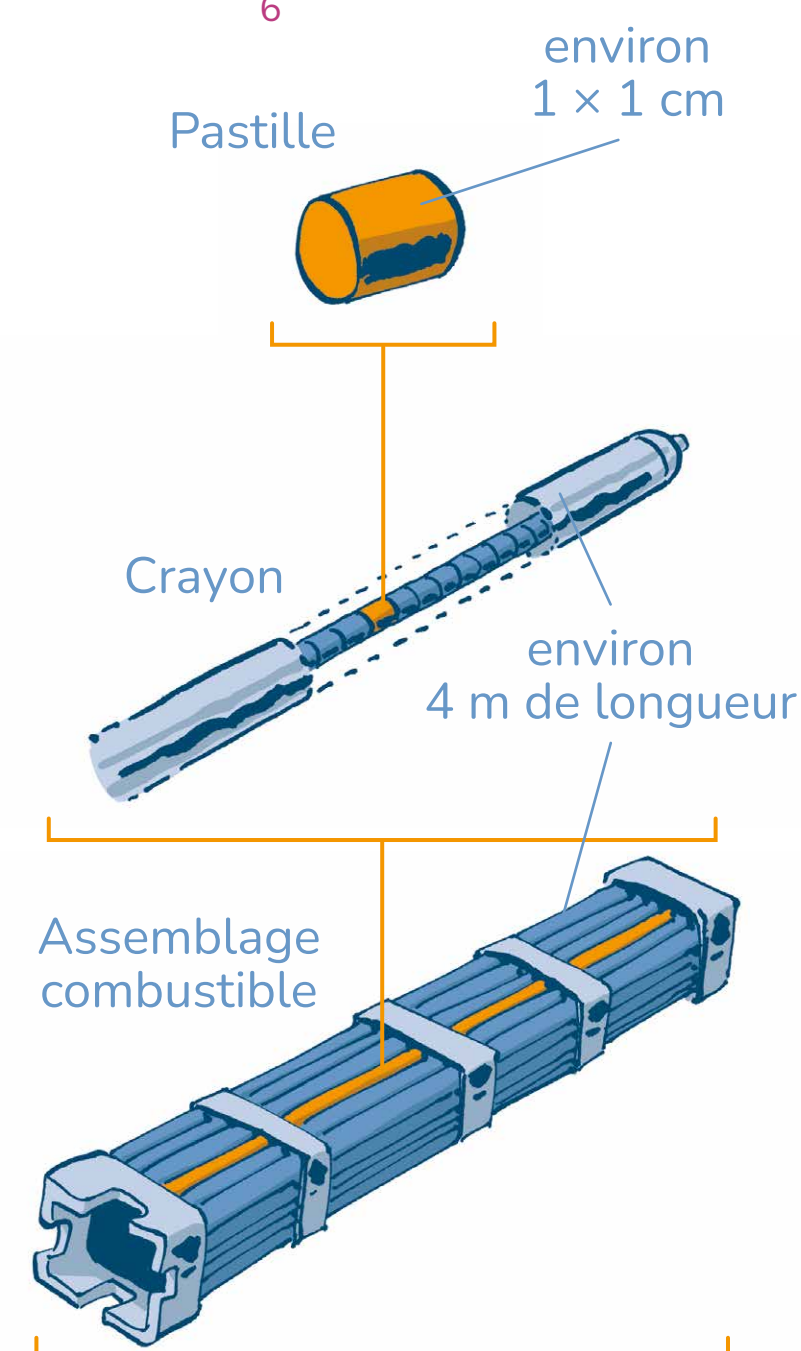
2) La conversion

Le yellow cake est transformé chimiquement pour obtenir un gaz (UF_6).



3) L'enrichissement

L'uranium est ensuite **enrichi** : On augmente la proportion d'uranium 235 (fissile) par centrifugation du UF_6 .

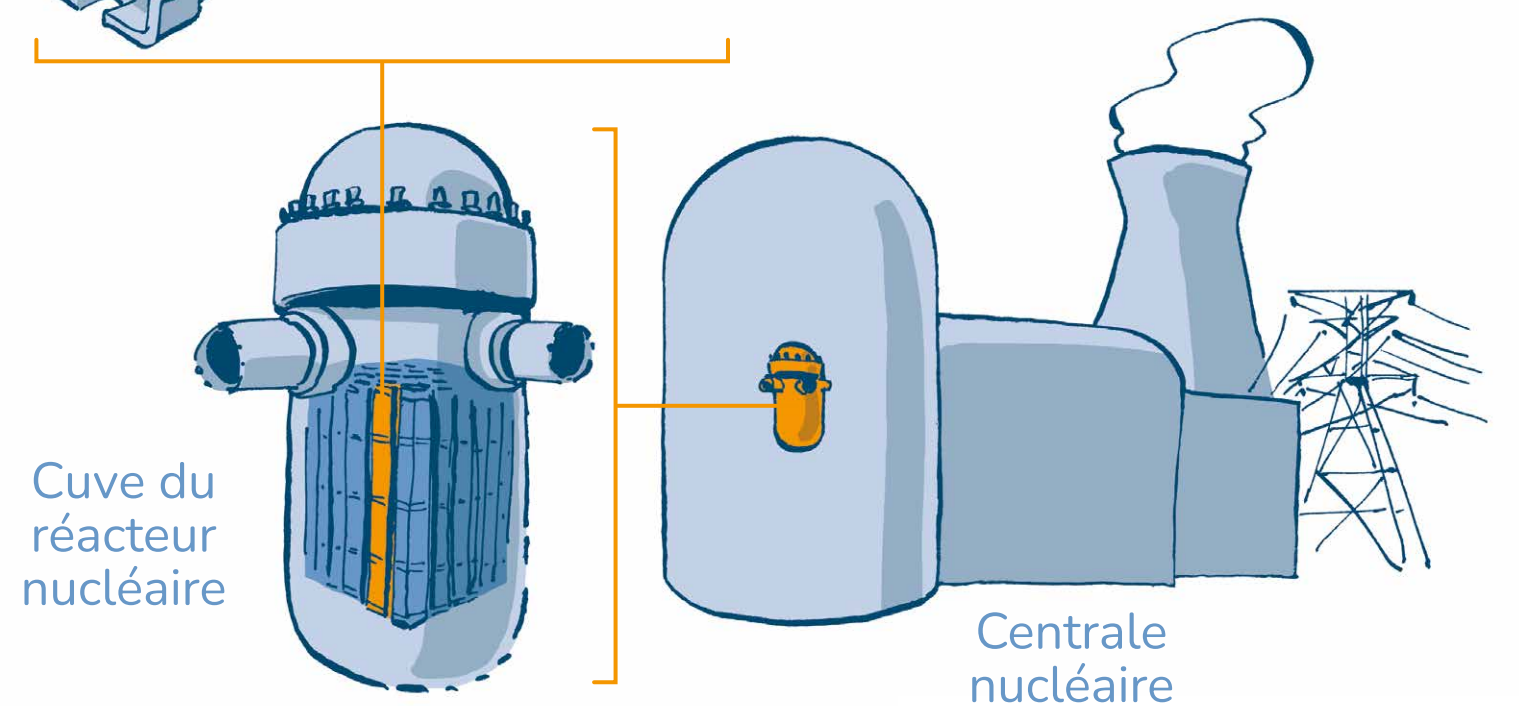


4) La fabrication du combustible

L'hexafluorure d'uranium (UF_6) enrichi est transformé en poudre de dioxyde d'uranium (UO_2) et conditionné en **pastilles**.

Les pastilles sont placées dans des **crayons combustibles**.

Ces crayons sont assemblés pour former des **assemblages combustibles**.



5) L'utilisation du combustible dans les centrales nucléaires

Dans le réacteur, les noyaux d'uranium subissent des réactions de **fission** qui libèrent de la **chaleur**. Cette chaleur est utilisée pour **produire de l'électricité**.

6) Le recyclage du combustible utilisé en France

En France, le combustible utilisé **n'est pas immédiatement un déchet** : environ **96 % de sa matière est recyclable** : **~ 95 % d'uranium** (encore utilisable), **~ 1 % de plutonium**, **~ 4 % de produits de fission et d'actinides mineurs** (déchets). Ce recyclage commence par le **retraitement**, effectué en Normandie (La Hague – Orano), qui permet de séparer :

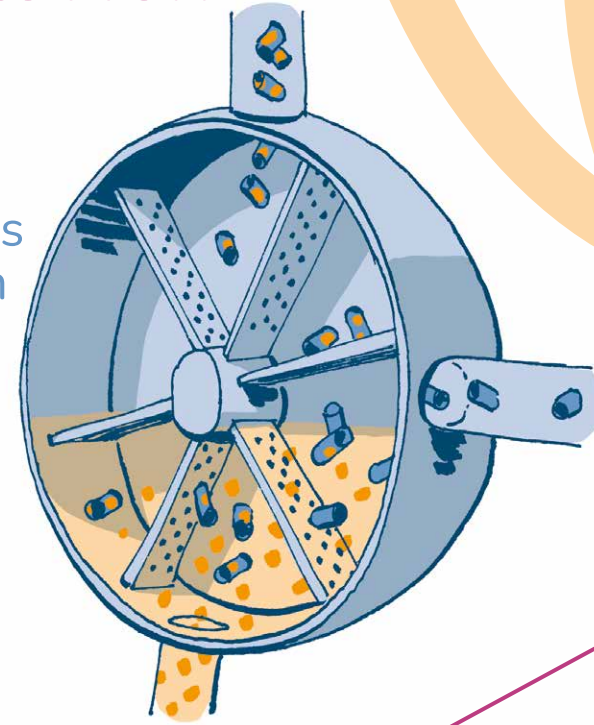
L'Uranium de retraitement (URT)

Ré-enrichi, il est réutilisé dans certains réacteurs.

Le Plutonium

Mélangé à de l'uranium appauvri pour fabriquer le **combustible MOX**.

Disolveur (séparation des gaines métalliques et d'une solution de dissolution contenant de l'uranium, du plutonium et les produits de fission).



Ce qui n'est pas recyclable

Ce sont les « déchets ultimes » :

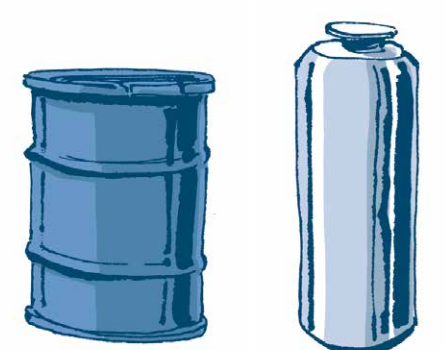
- Les **produits de fission et actinides mineurs** : très radioactifs, pas réutilisables avec les technologies actuelles, qui sont vitrifiés.
- Les **déchets de structure** métalliques issus du cisailage des éléments combustibles (tronçons de gaines, embouts d'assemblages, etc.), qui sont compactés.

Objectifs du recyclage :

- Réduire la quantité de déchets ultimes.
- Économiser les ressources naturelles.
- Limiter l'impact environnemental.

7) Le stockage des déchets (en France)

Les déchets ultimes, tout comme les déchets d'exploitation, sont stockés de façon différenciée, suivant leur nature et leur niveau de radioactivité.



Ce qu'il faut retenir...

Le cycle du combustible commence par **l'extraction de l'uranium**, sa **conversion** et son **enrichissement** pour obtenir un combustible utilisable dans les réacteurs. Ce combustible est utilisé dans le **cœur du réacteur**, où les réactions de **fission nucléaire** libèrent de la chaleur qui permet de produire de l'électricité. Après utilisation, le **combustible utilisé** est refroidi, puis **retraité pour récupérer la matière valorisable**. Les déchets sont quant à eux conditionnés et stockés dans des conditions maîtrisées.

12 LA FUSION NUCLÉAIRE

La **fusion nucléaire** est une réaction dans laquelle **deux noyaux atomiques s'assemblent** pour former un noyau plus lourd. Cette réaction est à l'œuvre de manière naturelle dans le Soleil et la plupart des étoiles de l'Univers. Les scientifiques cherchent aujourd'hui à maîtriser cette réaction sur Terre afin de produire **une énergie abondante et plus durable**.

De la fusion à la nucléosynthèse

En plus de produire de l'énergie, chaque fusion de noyaux conduit à l'apparition d'une espèce chimique plus lourde : c'est la nucléosynthèse (celle à l'œuvre dans les étoiles est dite « nucléosynthèse stellaire »). La fusion d'un atome de deutérium et d'un atome de tritium donnera par exemple naissance à un atome d'hélium, capable de libérer de grandes quantités d'énergie et avec un impact limité en termes de sécurité nucléaire.

La fusion comme source d'énergie

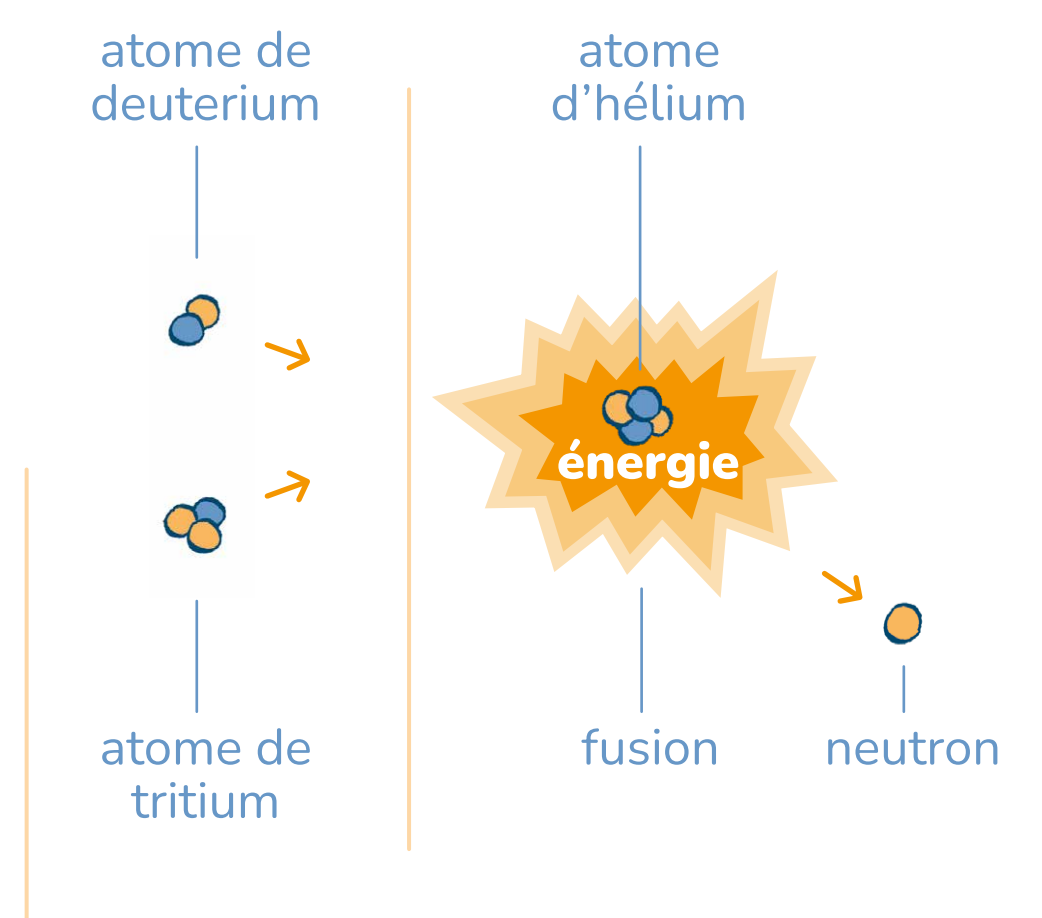
Le projet **ITER** (*International Thermonuclear Experimental Reactor*) vise à reproduire la fusion nucléaire sur Terre pour produire de l'électricité. Son principe repose sur la fusion de deux isotopes de l'hydrogène (deutérium et tritium) pour produire un noyau d'hélium en libérant un neutron et beaucoup d'énergie !

Le succès du programme de recherche conduirait à une énergie quasi inépuisable, non émettrice de gaz à effet de serre.

Si le projet expérimental ITER cristallise tous les espoirs, atteindre les conditions de cette fusion nucléaire est complexe. Elle suppose notamment le confinement d'un **plasma** à une température avoisinant 150 millions de degrés, à laquelle aucun matériau ne résiste... Ainsi, le confinement est maintenu par un **champ magnétique** au sein d'un dispositif appelé « tokamak » mais ne permet pas, à ce jour, de générer de l'électricité de manière auto-entretenue.

La fusion pourrait devenir une **énergie du futur**, dont ITER est le démonstrateur avant industrialisation à l'horizon 2060.

Fusion deutérium-tritium.



Le **plasma**, est un état gazeux très particulier de la matière. C'est sous cet état que se produisent les **réactions de fusion**. Il se déplace de façon circulaire à l'intérieur du réacteur et doit y être d'une température de 150 millions °C (10 fois supérieure à celle du soleil).

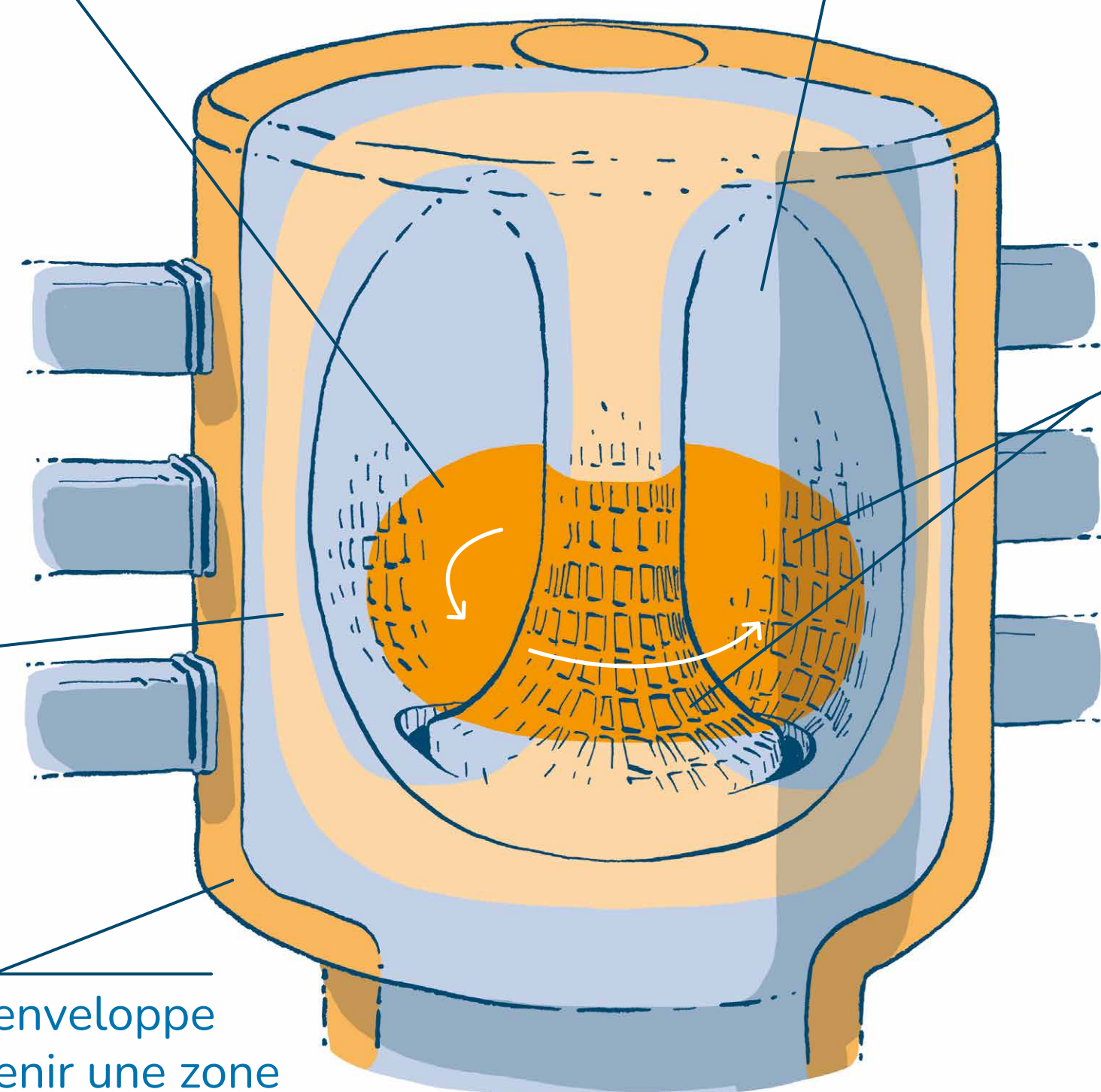
Comme son nom l'indique, la **chambre à vide** est une enceinte sous vide et étanche dont la forme est similaire à une chambre à air de vélo. Il s'agit de la zone dans laquelle se déplace le plasma.

Vue simplifiée d'un réacteur Tokamak.

Un **champ magnétique** permet de moduler le plasma et de le maintenir « en suspension » à l'intérieur de la chambre à vide afin qu'il n'en touche pas les parois (aucun matériau connu ne pourrait résister aux 150 millions °C du plasma...).

Le **cryostat** est une enveloppe permettant de maintenir une zone extrêmement froide en périphérie de l'espace de réaction.

Les **modules de couverture** habillent l'intérieur de la chambre à vide et servent de boucliers contre la chaleur et les neutrons libérés lors de la fusion.



Ce qu'il faut retenir...

La fusion nucléaire est une **réaction** au cours de laquelle **deux noyaux légers s'assemblent** pour former un noyau plus lourd, en libérant une **grande quantité d'énergie**.

La fusion nécessite des températures extrêmement élevées et des dispositifs expérimentaux capables de contenir un **plasma** très chaud. Elle est considérée comme une énergie du futur, car elle pourrait fournir une énergie abondante, avec peu d'émissions de gaz à effet de serre et moins de déchets radioactifs que la fission. Toutefois, cette technologie n'est pas encore utilisée pour produire de l'électricité à grande échelle.