

Recyclage des déchets nucléaires : enjeux scientifiques et politiques

3 Novembre 2025

Journée DDRSE, PHELMA

Xavier Doligez, LPSC

Introduction :

➤ Enjeux « politiques » ou « civiques » ?

- Depuis 2006 (loi du 28 juin), la question des déchets est discuté dans le cadre d'un plan quinquennal – PNGMDR (*Plan National de Gestion des Matières et des Déchets Radioactifs*)
- Débat public associé au renouvellement du Plan du 10/10/25 au 10/02/26
- Précédent débat (2019) dans un contexte énergétique et géopolitique très différent

<https://www.debatpublic.fr/gestion-matieres-et-dechets-radioactifs>



POURQUOI UN
DÉBAT ?

DE QUOI DÉBAT-
ON ?

COMMENT PARTICIPER AU
DÉBAT ?



➤ Plusieurs conclusions du débat de 2019, intégrées dans les Plans suivant, avec des conséquences fortes

- Une question prégnante (encore plus en 2025) : les liens étroits entre la politique de gestion des déchets (et des matières) et la politique énergétique

La problématique des déchets est le seul cadre de discussion autour de l'énergie nucléaire

Introduction :

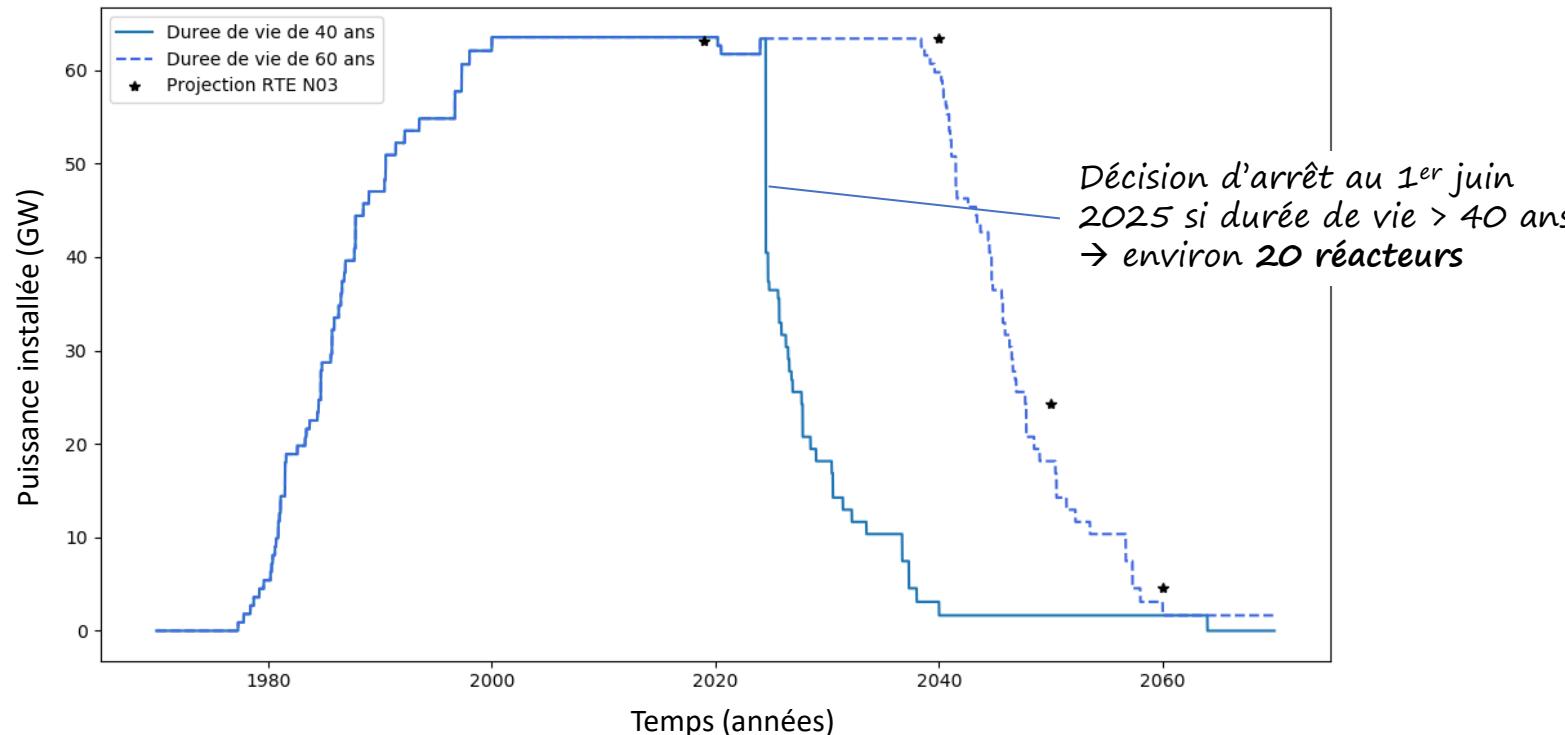
➤ Un débat public dans un contexte « nucléaire » très « dynamique »

→ Conséquences « directes » du débat de 2019...

- 2022 - Appel à projet pour les alternatives au stockage en couche géologique profonde (France Relance) → *subvention publique : 72 M€*
- 2023 – Appel à projet pour les réacteurs innovants (construction d'un « écosystème de start-up du nucléaire ») → *subvention publique : 130 M€*

→ ... Dans un calendrier spécifique du gouvernement

- 10/02/2022 « discours de Belfort » sur la relance du nucléaire
 - Répondre à la crise énergétique de 2021
 - « Accélérer » la décarbonation de l'énergie



ÉVÉNEMENT BPIFRANCE



Date
02 novembre
2021 au 01 mars
2022

Appel à projets

Solutions innovantes pour la gestion des matières et déchets radioactifs et la recherche d'alternatives au stockage géologique profond

APPEL À PROJETS

RÉACTEURS NUCLÉAIRES INNOVANTS



Date
02 mars 2022 au
28 juin 2023

Déposer son projet



Introduction :

➤ Un débat public ou un serpent de mer ?

LOI n° 2015-992 du 17 août 2015 relative à la transition énergétique pour la croissance verte (1)

→ La part du nucléaire ne doit pas dépasser 50 % dans le mix électrique

LOI n° 2006-739 du 28 juin 2006 de programme relative à la gestion durable des matières et déchets radioactifs (1) → Création du PNGMDR ; Début du projet CIGEO ; Transparence nucléaire

Loi n° 2005-781 du 13 juillet 2005 de programme fixant les orientations de la politique énergétique → Lancement de l'EPR Flamanville et du projet ASTRID (réacteur « du futur »)

Loi n° 91-1381 du 30 décembre 1991 relative aux recherches sur la gestion des déchets radioactifs → Moratoire sur les déchets nucléaires suite aux difficultés de l'ANDRA (CEA à l'époque) de trouver un site d'enfouissement des déchets (opposition locales)



Convention du 29 décembre 1972 sur la prévention de la pollution des mers résultant de l'immersion de déchets

Plan de la présentation :

1. Physique des réacteurs 101 et sans équation

1. Energie nucléaire : qu'est ce que c'est ?
2. La fission et la réaction en chaîne
3. Interaction neutron/matière
4. Les réacteurs à eau sous pression (REP) : l'expression d'un compromis entre le réacteur et le combustible

1. Matières ou déchets ? Une définition lourde de conséquences

1. Evolution du combustible
2. Matière ou déchet ?
3. Cycle du combustible et (mono)-recyclage
4. Quels déchets pour quelle filière ?

1. La question du plutonium et de l'uranium

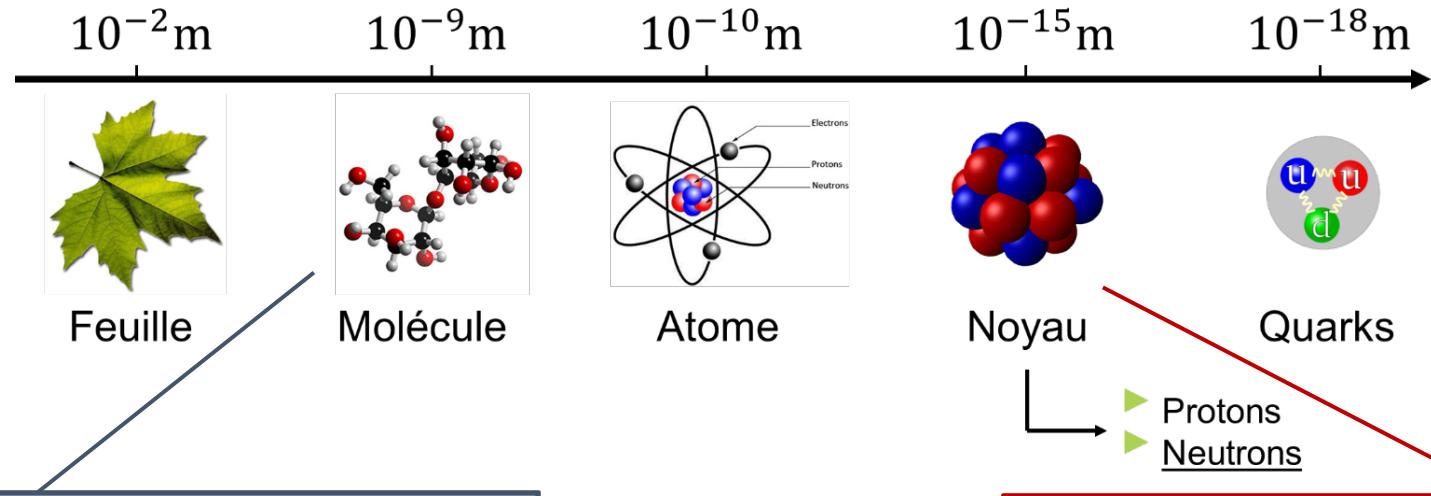
1. Les réacteurs du futur, pourquoi ? comment ?
2. L'intérêt de la régénération du combustible
3. La nécessaire anticipation politique à *très long terme*

1. Conclusions

1. Analyse des scénarios de la filière proposée dans le passé
2. Les questions du débat public PNGMDR

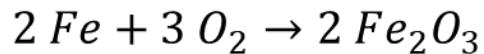
Partie 1 : Physique des réacteurs 101 et sans équation

La transformation de la matière pour produire de l'énergie



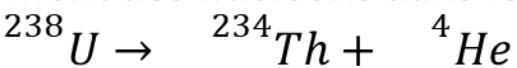
Transformation chimique :

→ réarrangement des atomes dans les molécules



Transformation nucléaire :

→ réarrangement des nucléons dans le noyau

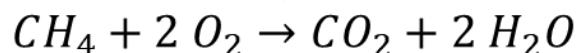


➤ Un noyau qui se transforme spontanément en un autre est « radioactif »

→ Les particules émises lors des désintégrations (noyaux d'hélium, électrons ou photons) sont énergétiques

➤ Pour produire l'énergie, on choisit les bonnes transformations

Combustion chimique (gaz, pétrole, biomasse) :



$$E_{\text{dégagée}} \sim 8,3 \text{ eV}$$

Fission nucléaire :



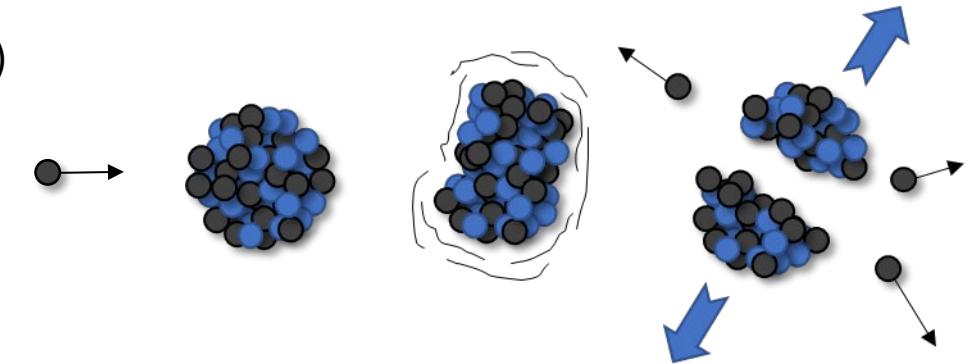
$$E_{\text{dégagée}} \sim 200 \text{ millions d'eV}$$

La fission et la réaction en chaîne

➤ Quels noyaux peuvent fissionner ?

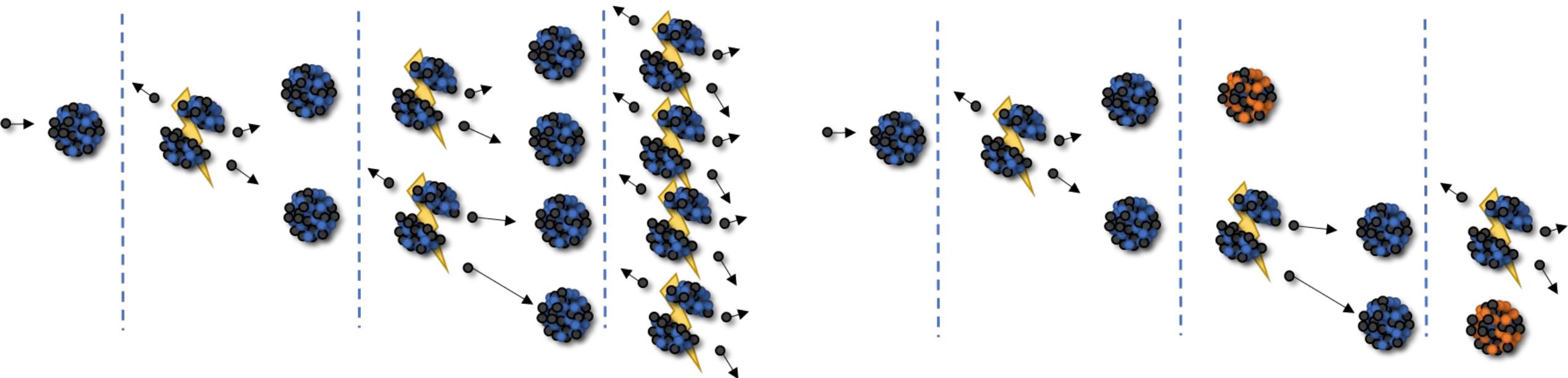
- Les noyaux qui peuvent former 2 noyaux plus petits → lourds ($Z > 82$ - Plomb)
- 3 noyaux disponibles sur terre : le Thorium ($Z = 90$) et l'Uranium ($Z = 92$)
- 2 « isotopes » de l'uranium : ^{235}U (143 neutrons) et ^{238}U (146 neutrons)
- Seul l'uranium 235 est « fissile », c'est-à-dire qu'il peut fissionner quelque soit l'énergie (la vitesse) du neutron

→ La réaction en chaîne repose sur la fission de l'uranium ^{235}U



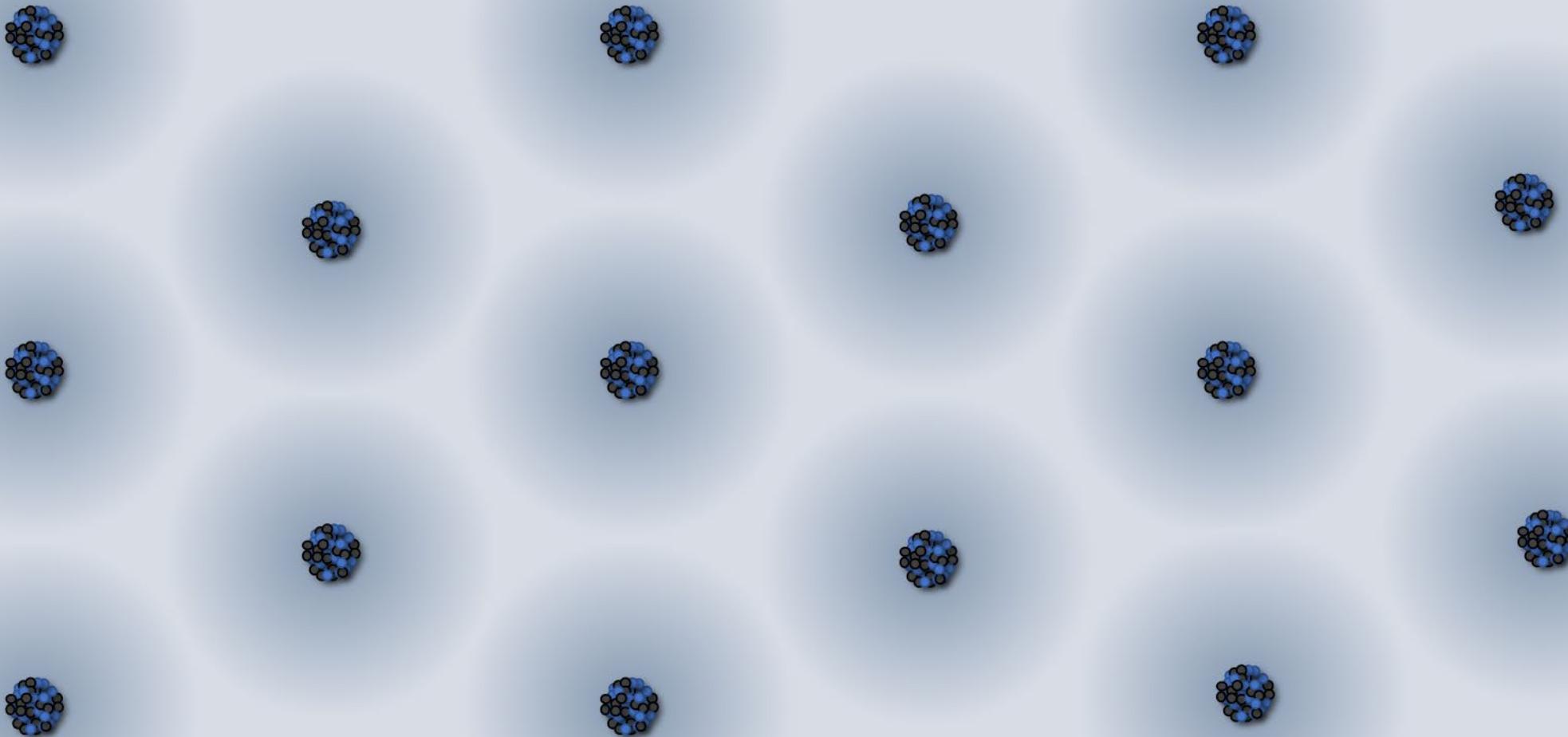
➤ Etablissement de la réaction en chaîne

→ La réaction en chaîne doit être stable – « système critique »



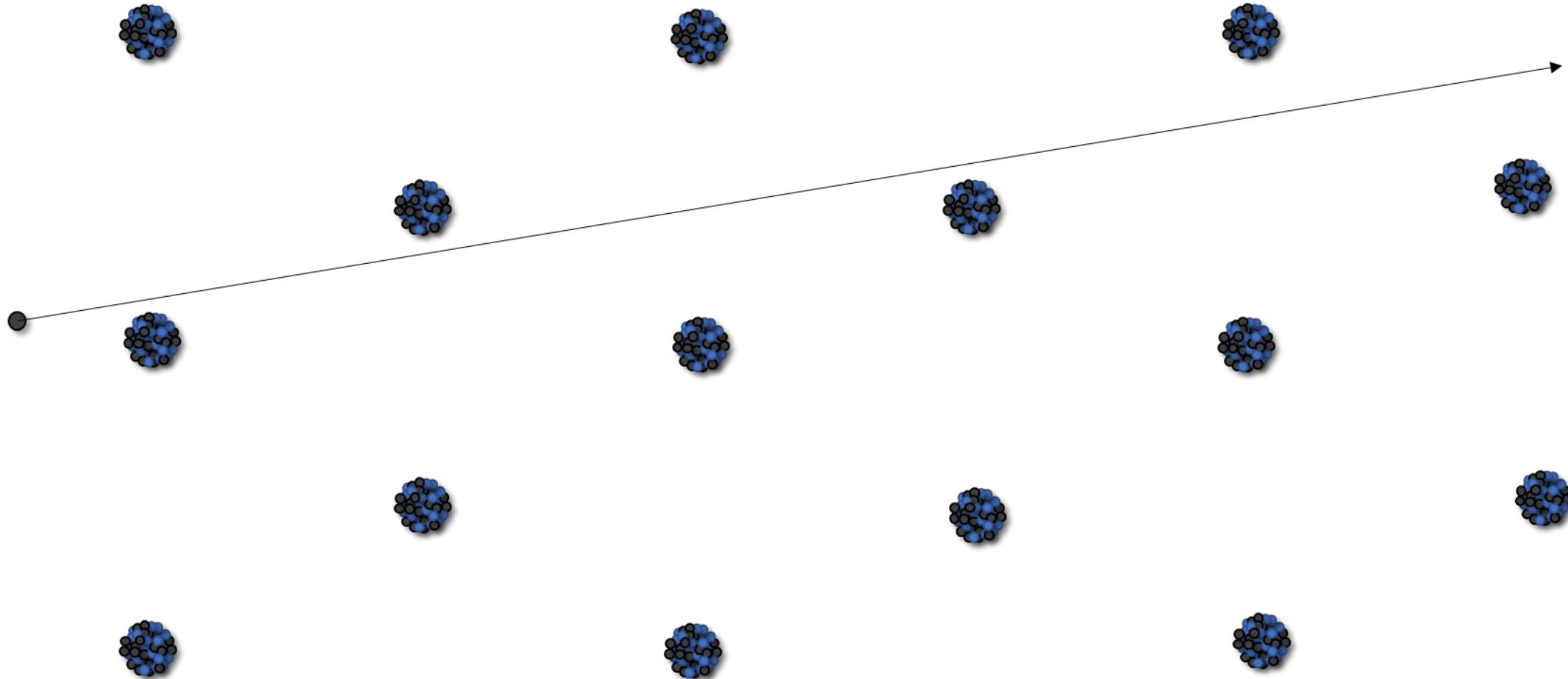
➤ Les noyaux qui capturent les neutrons, comme les produits de fissions sont radioactifs

Interaction des neutrons avec la matières



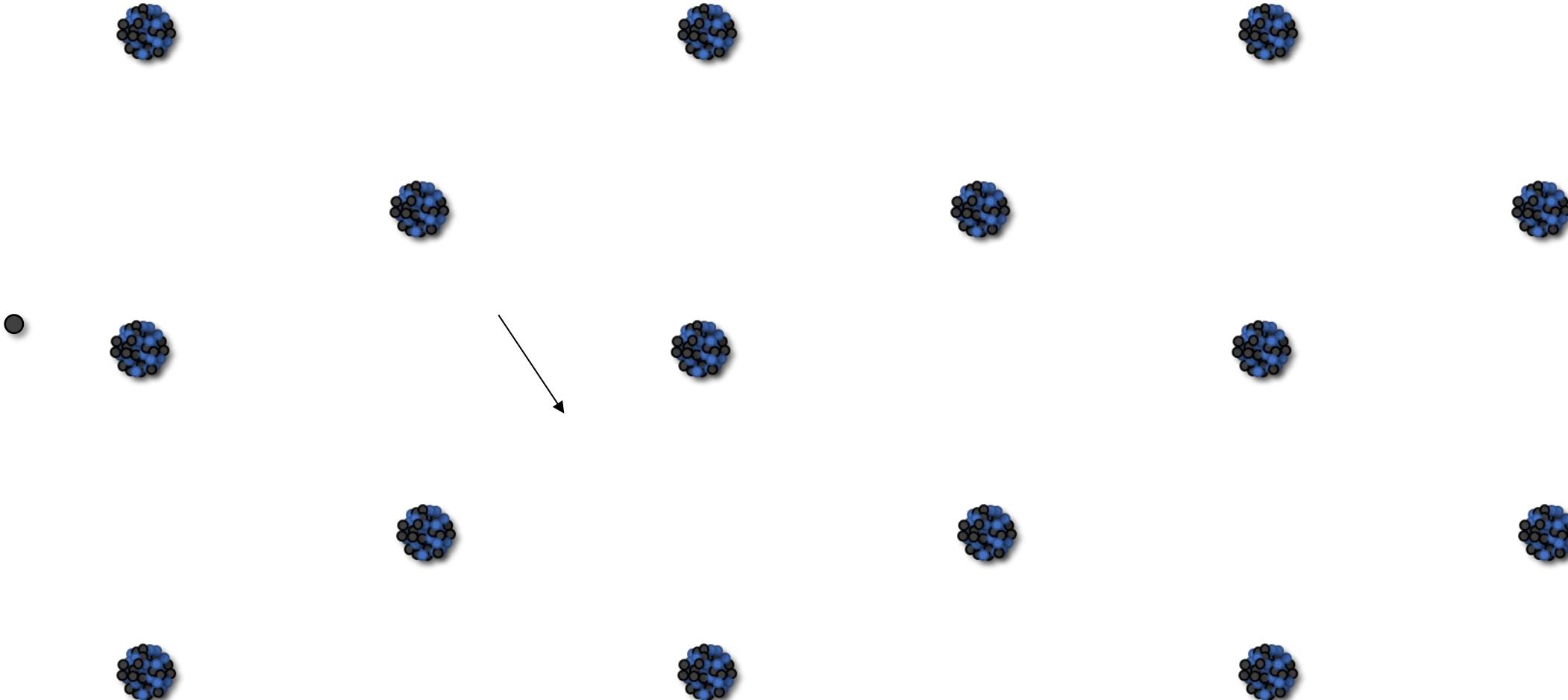
Interaction des neutrons avec la matière

➤ Les neutrons parcourent de grandes distances sans interagir avec la matière



Interaction des neutrons avec la matière

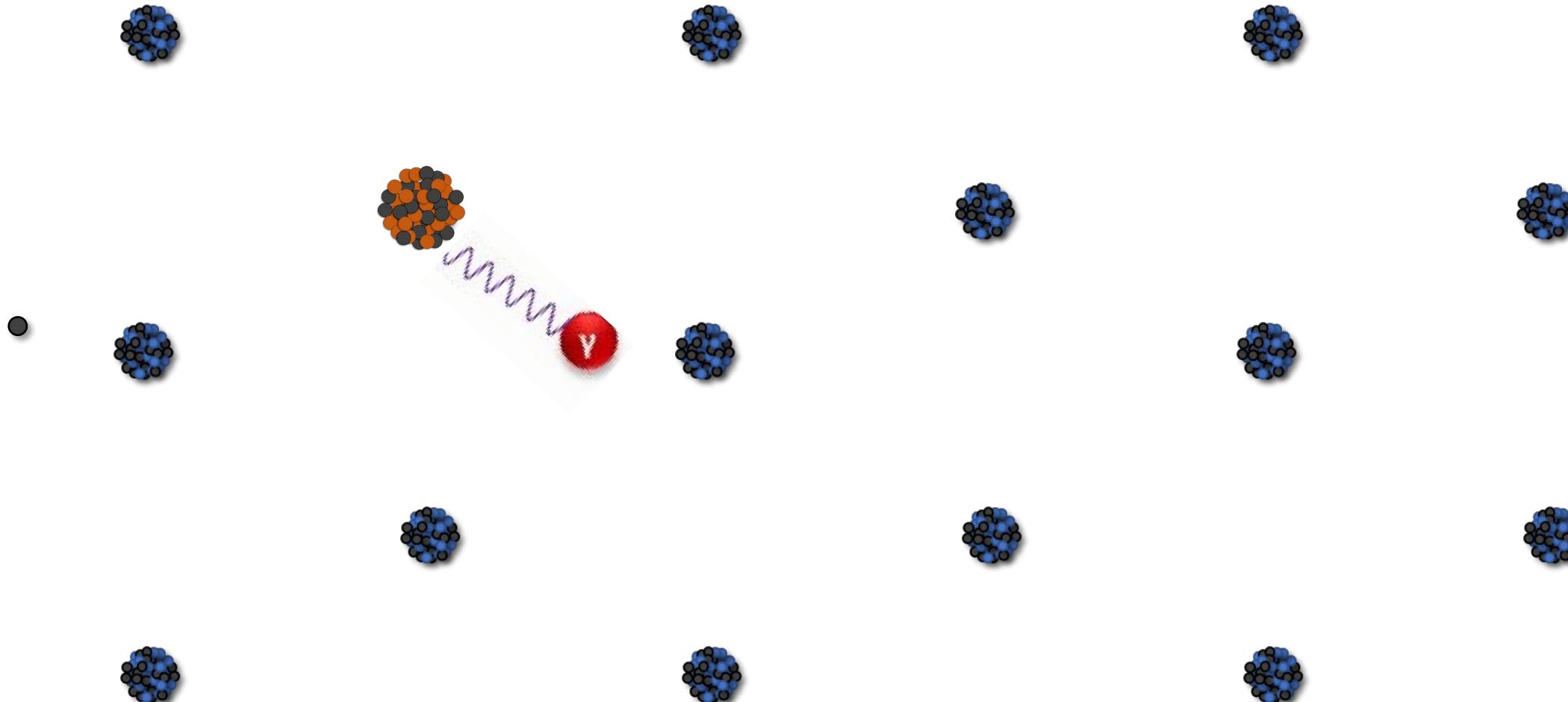
- L'interaction la plus probable est un choc (« billard »)
- Le neutrons perd de l'énergie et la transmet à la matière



Partie 1 : Physique des réacteurs 101 et sans équation

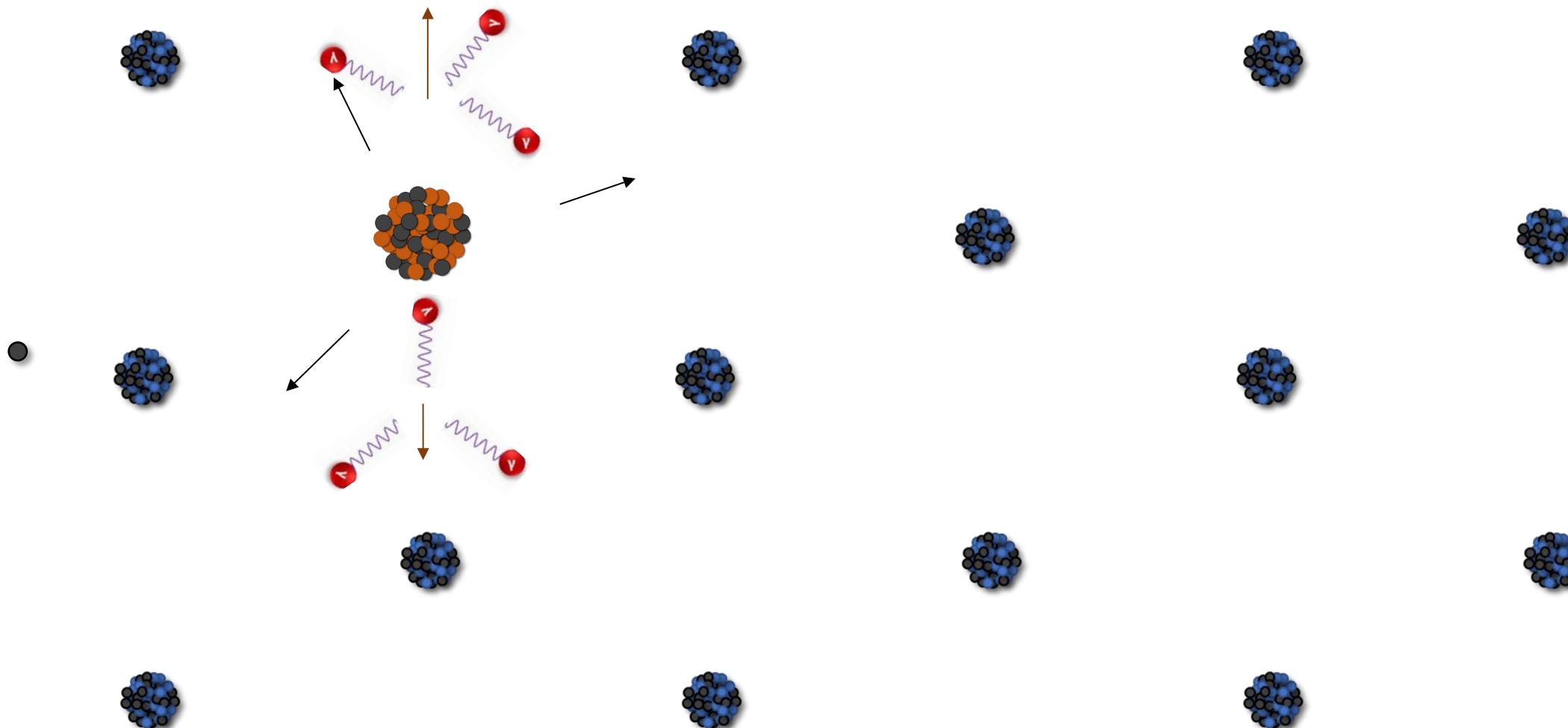
Interaction des neutrons avec la matière

- Le neutron peut-être absorbé par les noyaux
- La matière se transforme et devient radioactive



Interaction des neutrons avec la matière

- Quand les conditions sont réunies, l'absorption peut conduire à la fission du noyau, libérant une grande quantité d'énergie

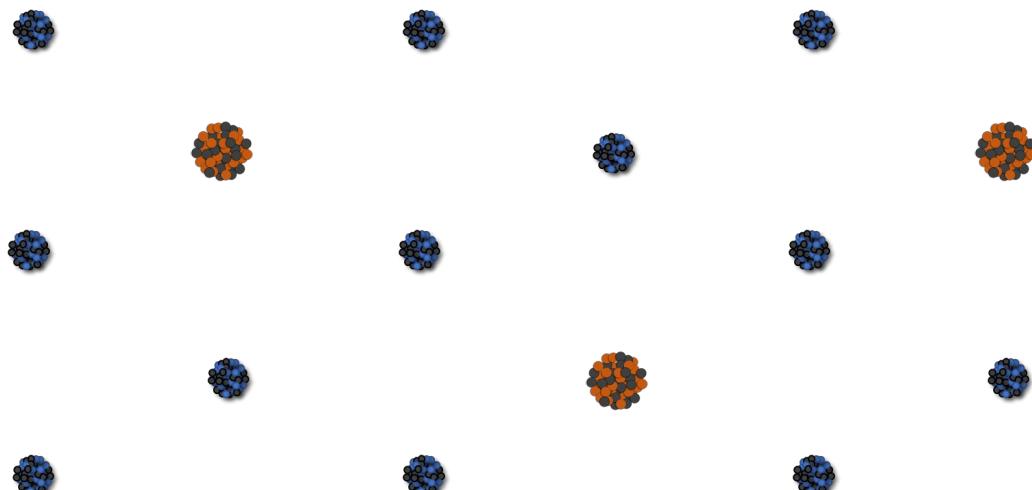


Notion de « section efficace d'interaction »

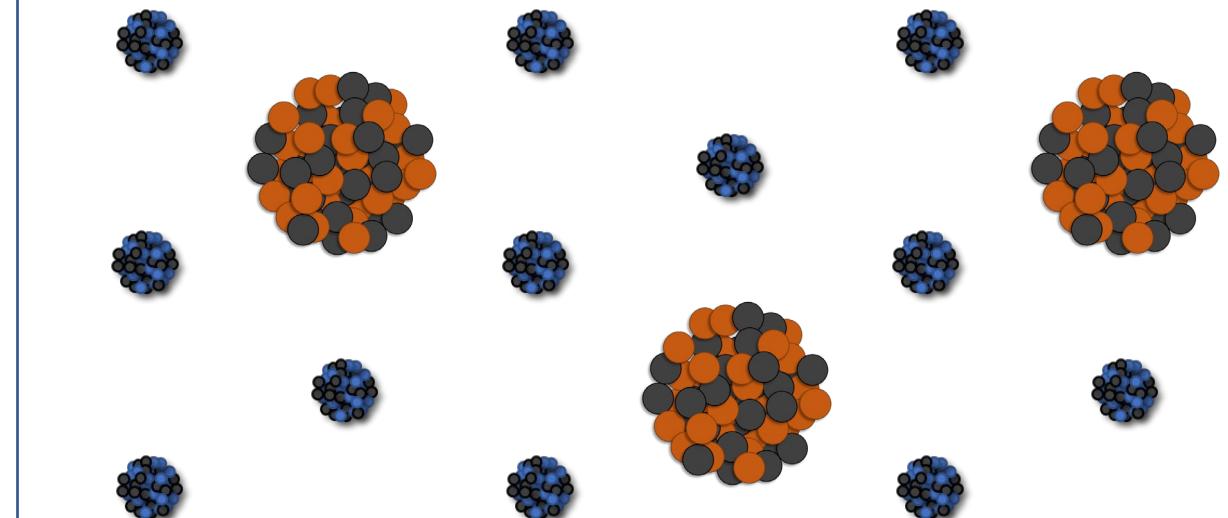
➤ Pour équilibrer la réaction en chaîne, il faut jouer sur les probabilités d'interaction

- Augmenter le nombre de noyaux fissiles par rapport au nombre total de noyaux
- Jouer sur la « taille » des noyaux vu par les neutrons
 - *Tout se passe comme si les noyaux « grossissent » avec quand la vitesse du neutron diminue*

➤ Uranium vu par un neutron « rapide »



➤ Uranium vu par un neutron « lent »

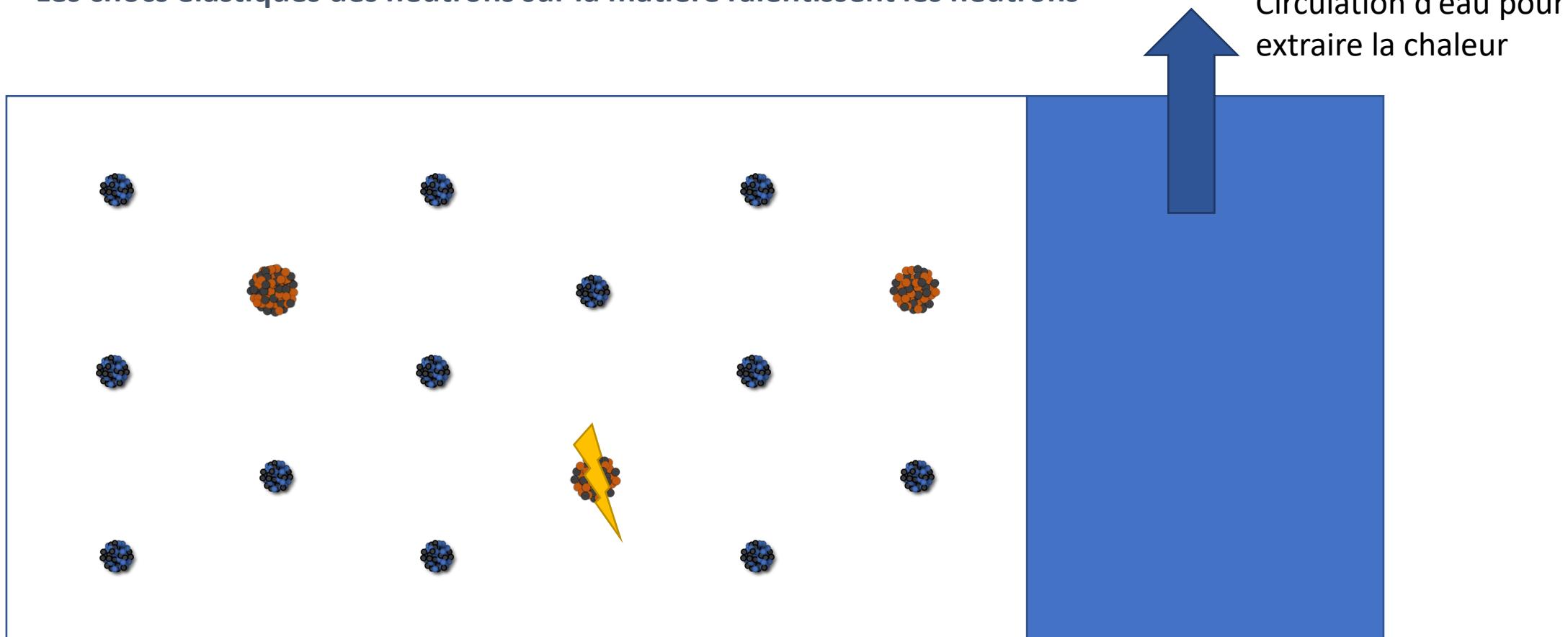


➤ La fission produit des neutrons rapides !

Partie 1 : Physique des réacteurs 101 et sans équation

Les interactions neutrons/matières évoluent fortement avec la vitesse du neutron

➤ Les chocs élastiques des neutrons sur la matière ralentissent les neutrons



➤ Avec le ralentissement, les réactions sur l'uranium 235 deviennent plus probables

- L'hydrogène de l'eau, ralentit les neutrons mais peut également les absorber
→ Augmentation de la concentration d'uranium 235 via l'enrichissement du combustible
- Les neutrons qui ne provoquent pas de fission ($\sim 1,5$) sont absorbés et produisent des noyaux radioactifs
→ Besoin d'équilibrer la réaction en chaîne

Partie 1 : Physique des réacteurs 101 et sans équation

La technologie des réacteurs à eau sous pression (REP)

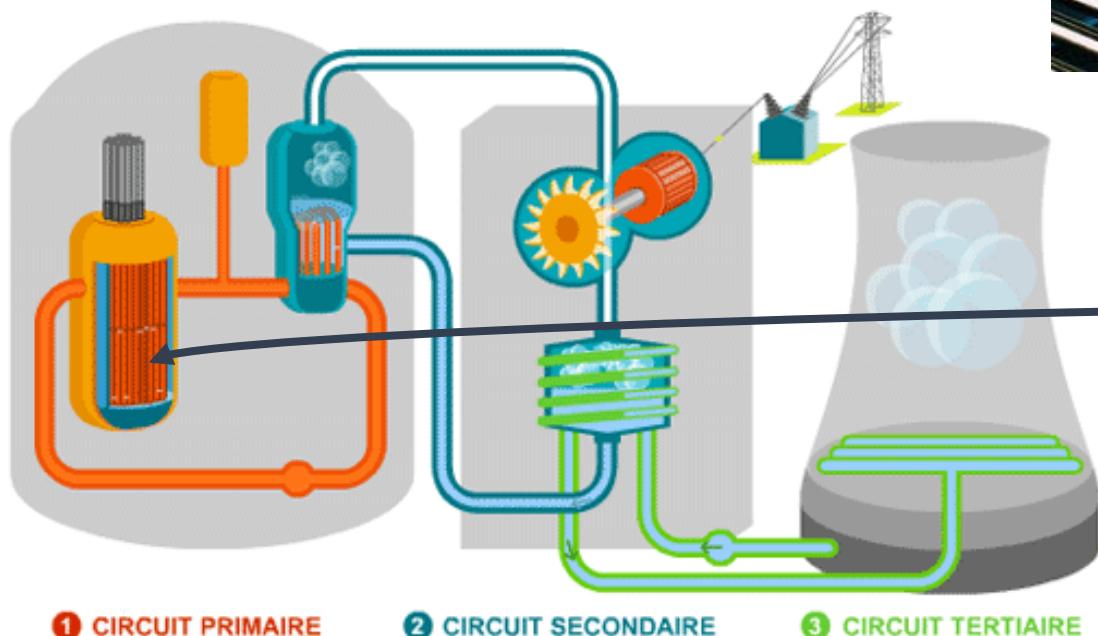
➤ Les REP = un compromis entre le combustible (uranium enrichi) et la « chaudière »



Pastilles combustibles



Crayons combustibles



241 assemblages dans un EPR



➤ L'eau qui permet l'extraction de la chaleur permet le ralentissement des neutrons
→ Concept de sûreté « passive ou intrinsèque »

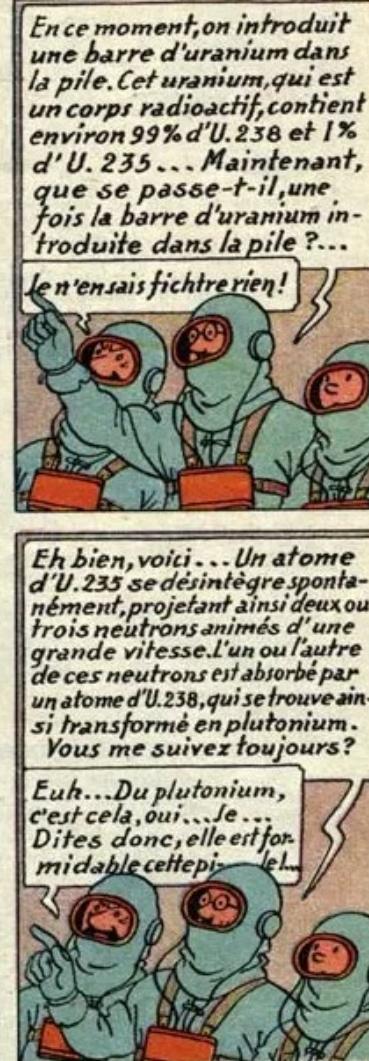
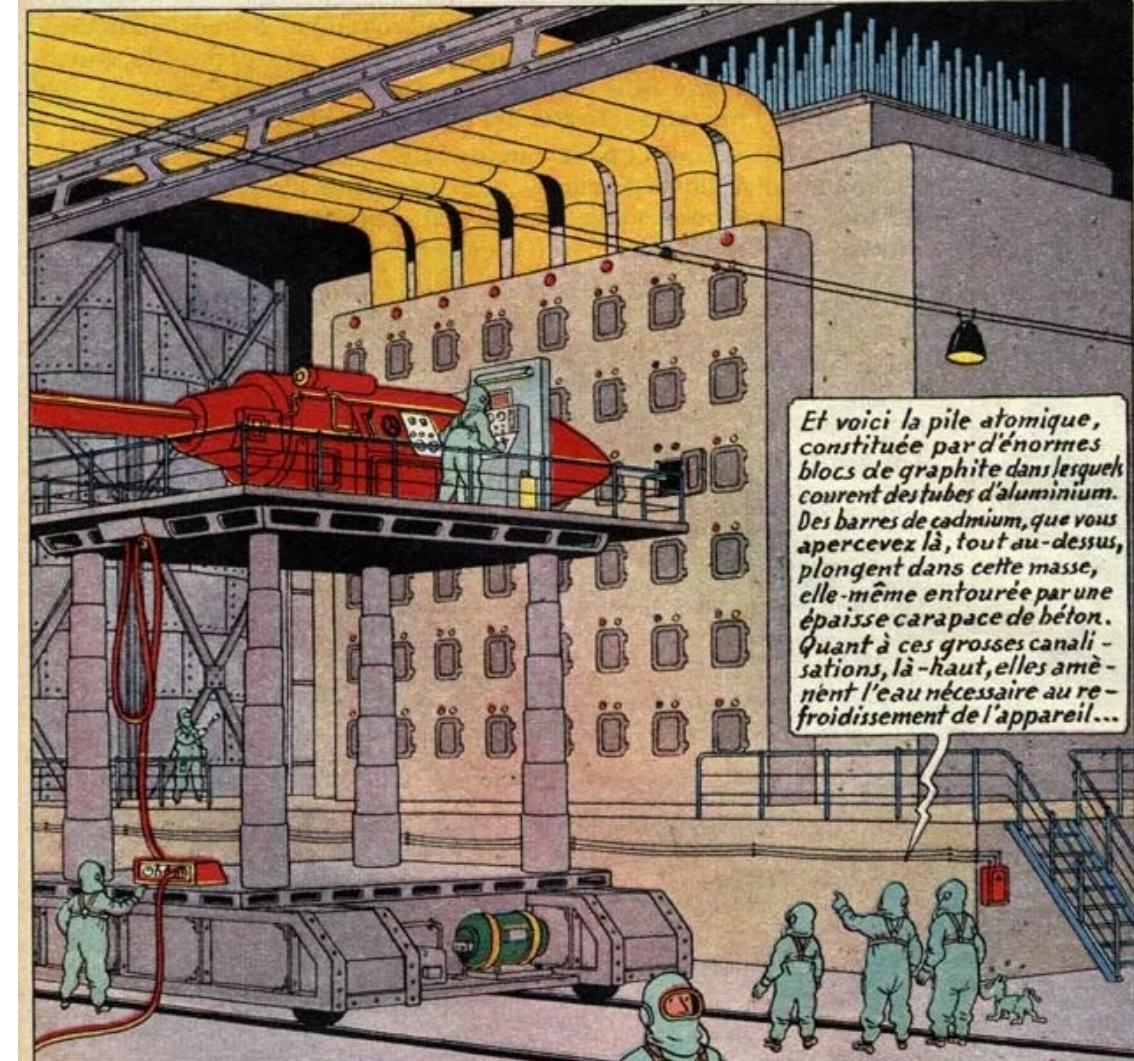
Partie 1 : Physique des réacteurs 101 et sans équation

Beaucoup d'autres options possibles pour atteindre la criticité

➤ D'autres choix sont possibles

→ Uranium naturel, modération au graphite

→ Le réacteur du professeur tournesol (*Tintin objectif lune - 1953*) = Pile de Harwell (GB), Handford B (US) Belgium Reactor 1

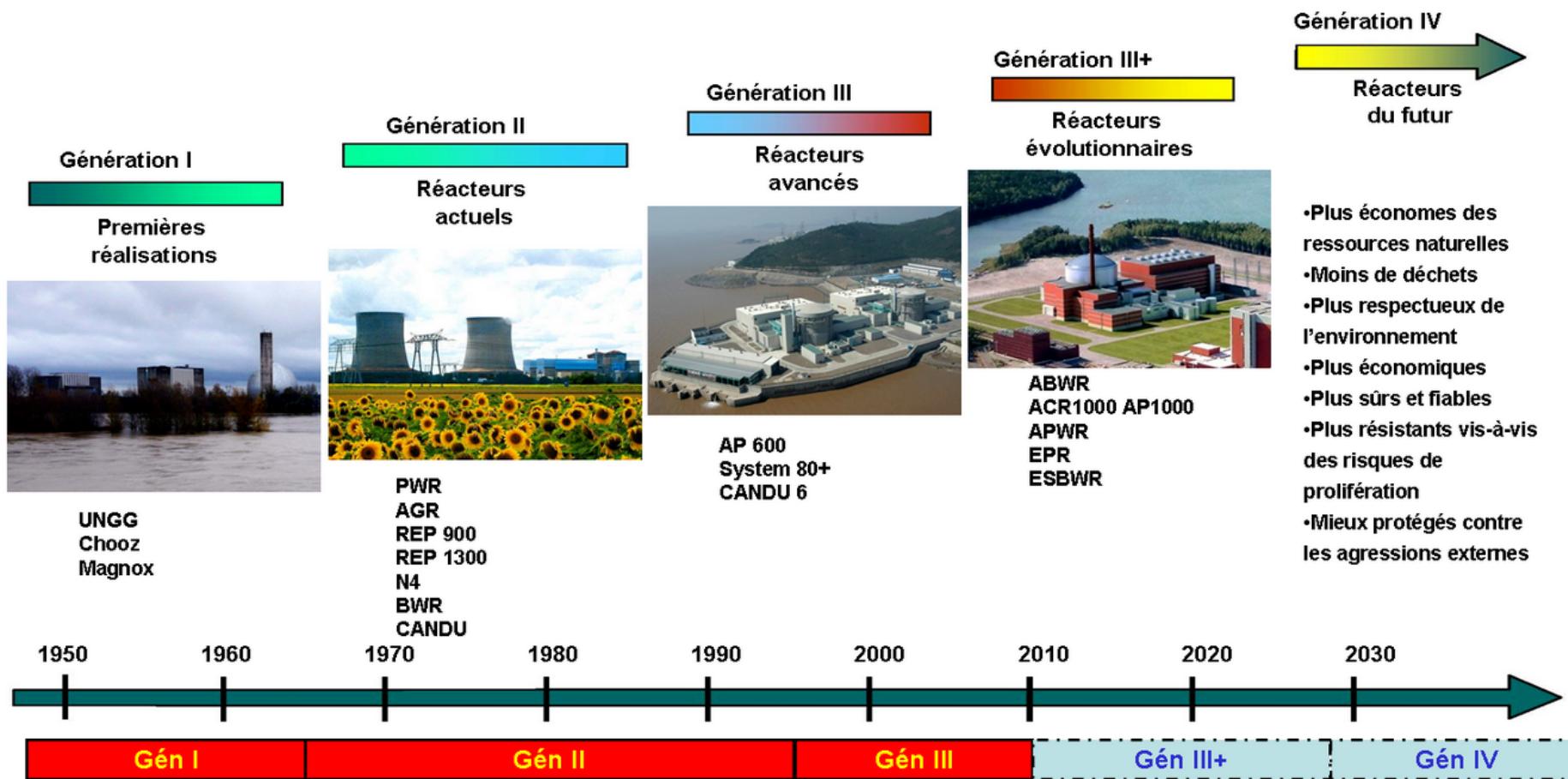


Partie 1 : Physique des réacteurs 101 et sans équation

Notions de « générations » de réacteurs – aucune sans déchet !

➤ Une technologie de réacteur répond à un besoin

- Historiquement, des technologies ont pris le pas sur d'autres à la suite de choix technico-économique (cf. G. Hecht)
- Le CEA a commencé à travailler sur des réacteurs économes en ressource dès les années 1980 (PHENIX et SUPERPHENIX)
- La notion de génération de réacteur a été formalisé en 2000 avec le lancement du GIF : Forum International Génération IV



Ce qu'il faut retenir :

➤ **Toute production d'énergie nucléaire repose sur une réaction en chaîne équilibrée**

- Production de produits de fission (directement proportionnel à la quantité d'énergie produite)
- Activation par capture neutronique pour les 1,5 neutrons qui ne participent pas à la réaction en chaîne

➤ **Une technologie de réacteur est un compromis entre le combustible et la centrale**

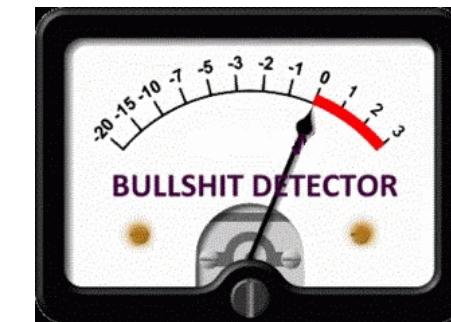
- Enrichir (en noyaux fissiles) ou ralentir (les neutrons) ?

Le Point

Vers un nucléaire sans déchets

LÉPOINT.FR VIDÉOS > ACTUALITÉS

09/03/2023 - 11:48



1. Physique des réacteurs 101 et sans équation

1. Matières ou déchets ? Une définition lourde de conséquences

1. Evolution du combustible
2. Matière ou déchet ?
3. Cycle du combustible et (mono)-recyclage
4. Quels déchets pour quelle filière ?

1. La question du plutonium et de l'uranium

2. Conclusions

Partie 2 : Matières ou déchets ? Une définition lourde de conséquences

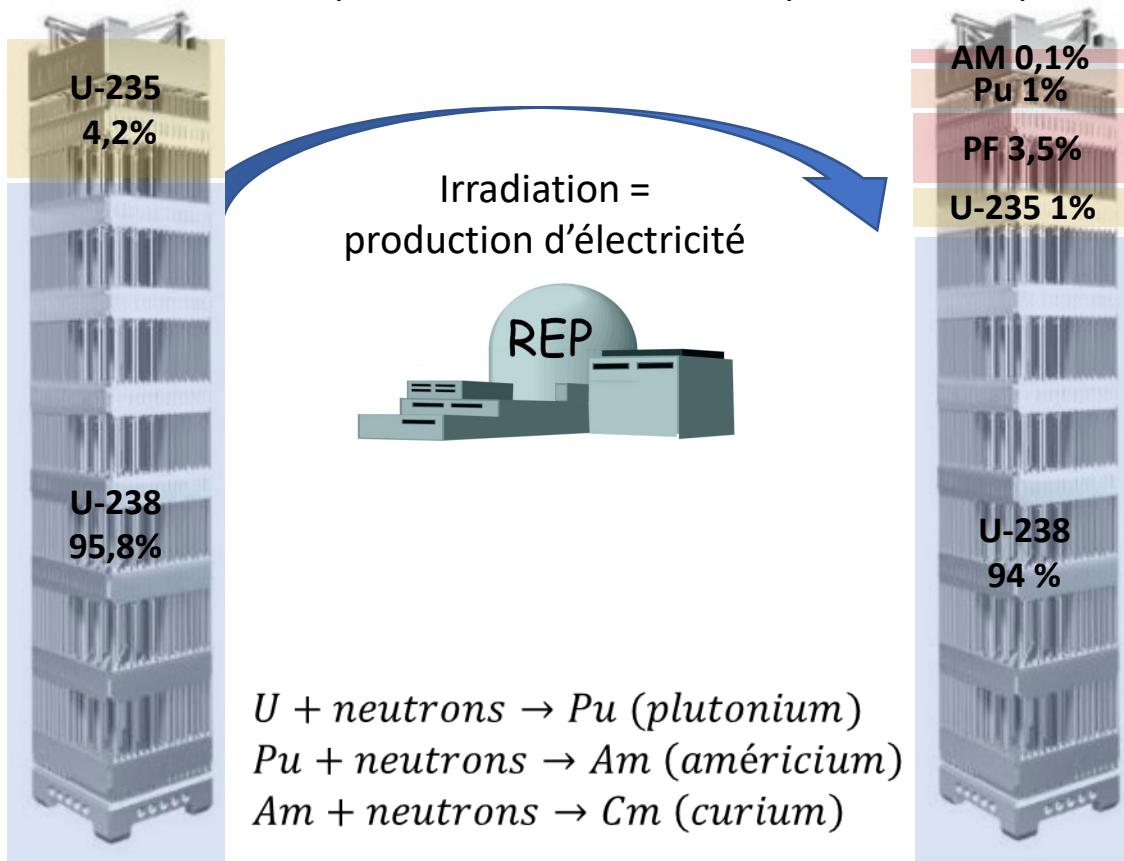
Bilan matière du combustible en cœur

➤ Au déchargement les assemblages sont très radioactifs

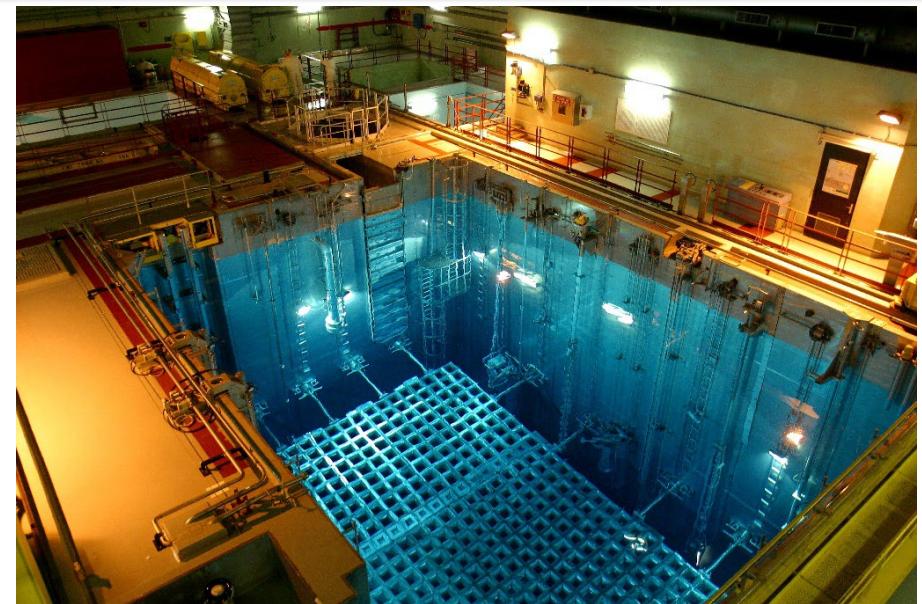
- La radioactivité est responsable du dégagement d'environ **1,4 MW** par assemblage à l'arrêt

→ Refroidissement nécessaire avant toute manipulation

~5 ans en piscine à côté du réacteur puis 2 ans en piscine à la Hague



Actinides Mineurs (Np, Am, Cm,...) = AM



Bilans du combustible – après 7 ans de refroidissement

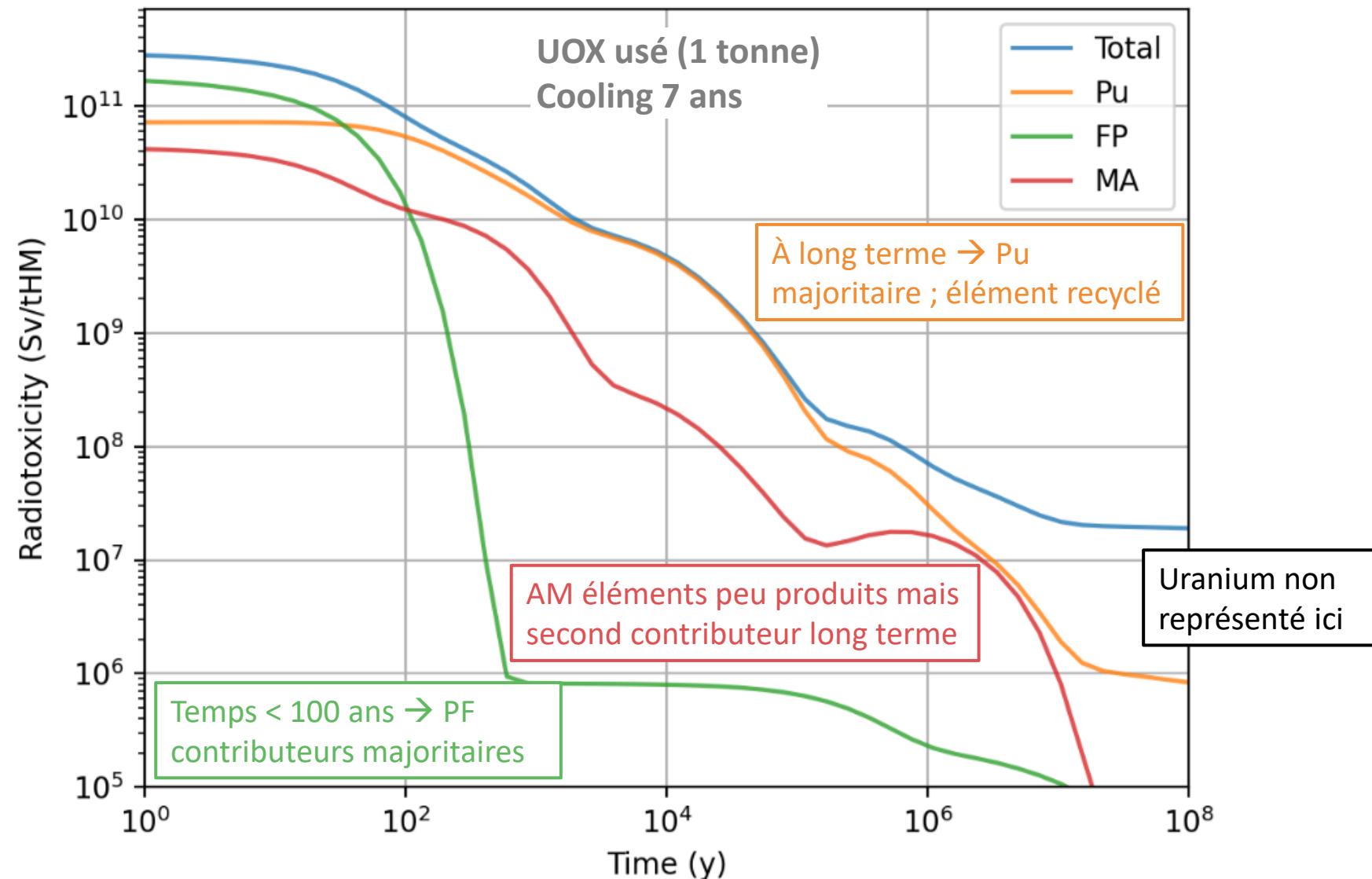
	Masse	Activité	Chaleur
Pu	1%	20,5%	10%
^{235}U	1%	0%	0%
^{238}U	94%	0%	0%
AM	0,1%	1%	12%
PF	5%	78,5%	78%
+ Structures métalliques activées embouts, grille, gaines...			

Partie 2 : Matières ou déchets ? Une définition lourde de conséquences

Evolution du combustible nucléaire hors cœur

➤ Gestion de la radioactivité à très long terme

- Unité = radiotoxicité par ingestion : mesure de l'impact de la radioactivité sur les populations si pollution de la biosphère



Partie 2 : Matières ou déchets ? Une définition lourde de conséquences

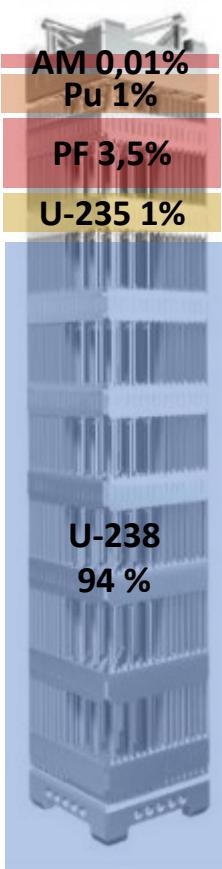
Définitions



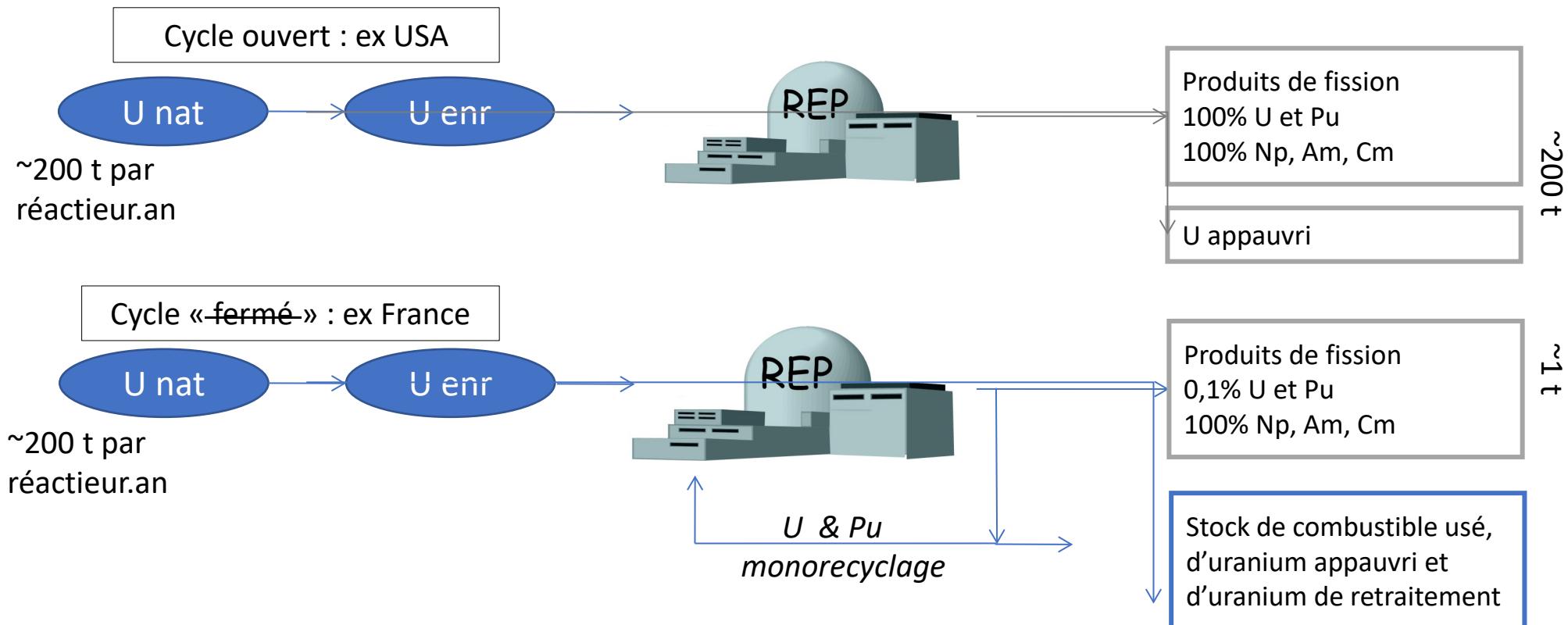
Légifrance
Le service public de la diffusion du droit

LOI n° 2006-739 du 28 juin 2006

Article 5 : « Les déchets radioactifs sont des substances radioactives pour lesquelles aucune utilisation ultérieure n'est prévue ou envisagée »



→ Seuls les PF et les actinides mineurs des déchets

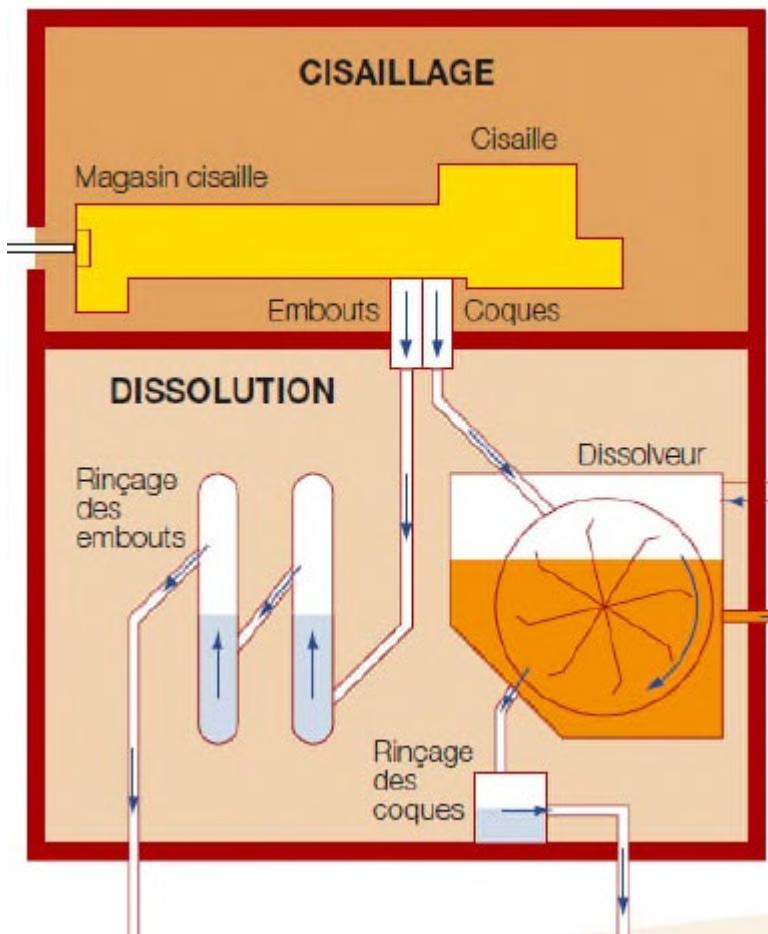


Partie 2 : Matières ou déchets ? Une définition lourde de conséquences

Le traitement des combustibles = différents types de déchets

➤ Principe du procédé de retraitement des combustibles usés

1. Cisaille
2. Dissolution et séparation des « coques & embouts »



Compactage et conditionnement



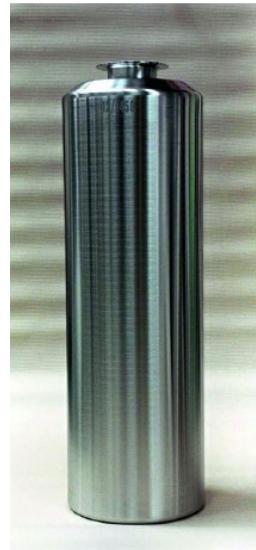
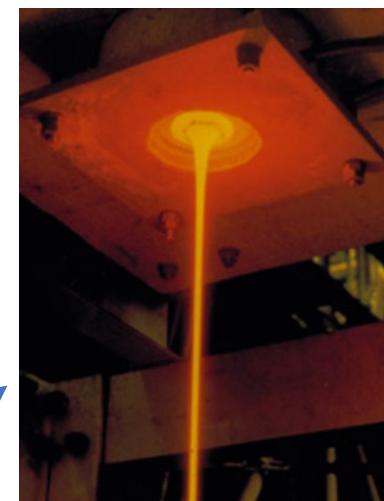
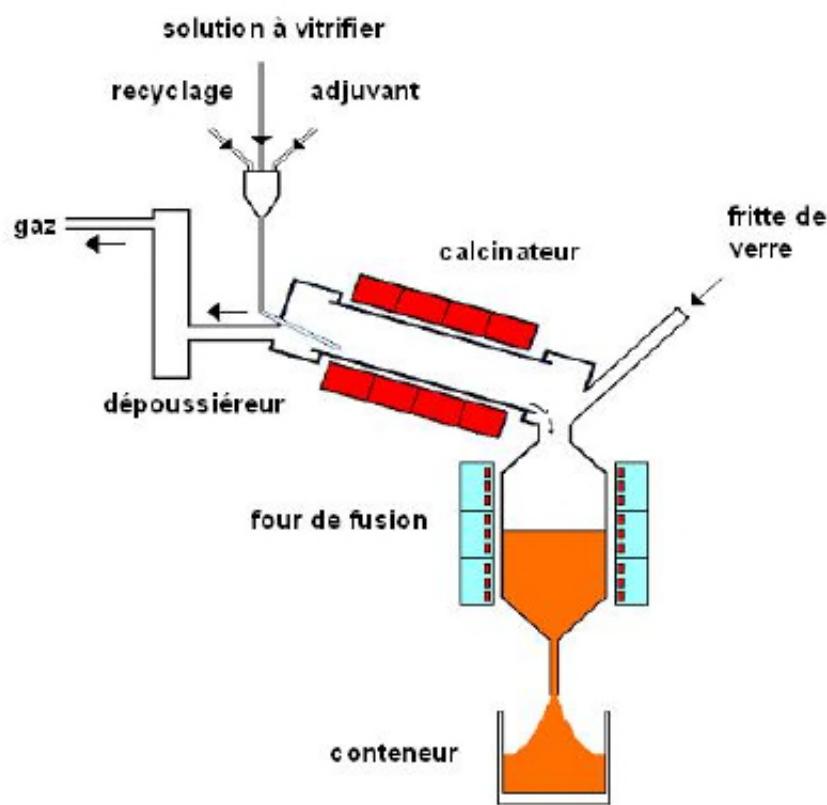
CSD-C : Colis Standard de Déchets Compactés

Partie 2 : Matières ou déchets ? Une définition lourde de conséquences

Le traitement des combustibles = différents types de déchets

➤ Principe du procédé de retraitement des combustibles usés

1. Cisaille
2. Dissolution et séparation des « coques & embouts »
3. Extraction Uranium et Plutonium
4. Vitrification des Actinides Mineurs (AM) et Produits de fissions



CSD-C : Colis Standard de Déchets Compactés

➤ Production de deux types de déchets différents :

- Les PF et actinides mineurs (CSD-V)
→ Haute Activité à Vie Longue (HA-VL)
- Les éléments de structures des assemblages activés (CSD-C)
→ Moyenne Activité – Vie Longue (MA-VL)

Partie 2 : Matières ou déchets ? Une définition lourde de conséquences

Les HA-VL : la forêt qui cache l'arbre ?

➤ L'ANDRA collecte et gère **tous** les déchets nucléaires

CATÉGORIES DE DÉCHETS RADIOACTIFS ET FILIÈRES DE GESTION ASSOCIÉES

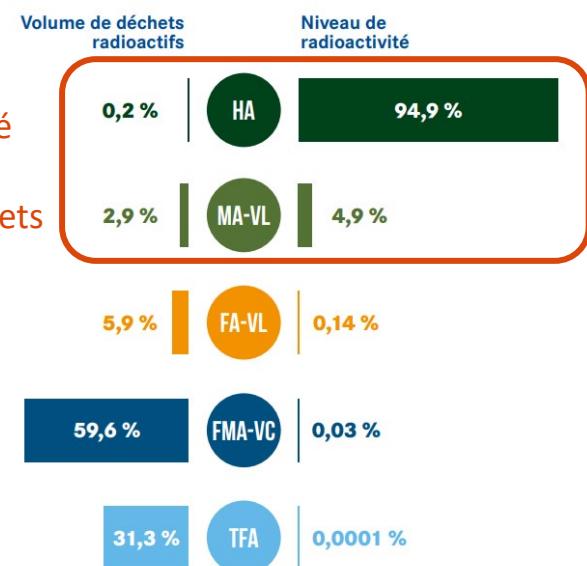
Période radioactive*	Vie très courte (VTC) (période < 100 jours)	Principalement vie courte (VC) (période ≤ 31 ans)	Principalement vie longue (VL) (période > 31 ans)
Activité**			
Très faible activité (TFA) < 100 Bq/g		TFA Stockage de surface (Centre industriel de regroupement, d'entreposage et de stockage)	
Faible activité (FA) entre quelques centaines de Bq/g et un million de Bq/g	VTC Gestion par décroissance radioactive	FMA-VC Stockage de surface (centres de stockage de l'Aube et de la Manche)	FA-VL Stockage à faible profondeur à l'étude
Moyenne activité (MA) de l'ordre d'un million à un milliard de Bq/g			MA-VL Stockage géologique profond en projet (projet Cigéo)
Haute activité (HA) de l'ordre de plusieurs milliards de Bq/g	Non applicable		HA

*Période radioactive des éléments radioactifs (radionucléides) contenus dans les déchets

** Niveau d'activité des déchets radioactifs

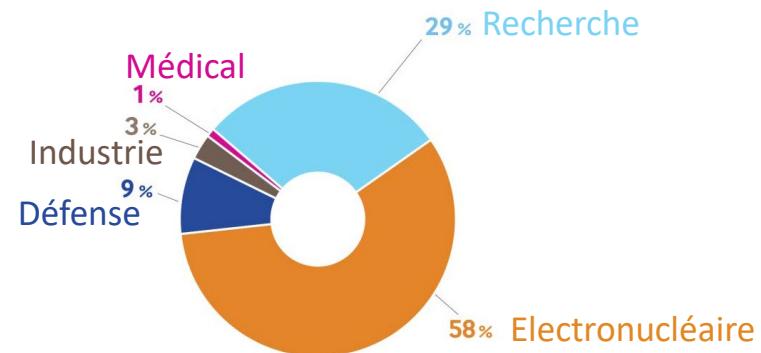
99,8%
de la radioactivité
3,1%
du volume de déchets

La répartition des volumes et niveaux de radioactivité présentée ci-dessous est issue de l'édition 2018 de l'Inventaire national (sur la base des chiffres à fin 2016) :



Les pourcentages ont été calculés sur la base des chiffres exacts puis arrondis.

➤ Qui produit tout ces déchets (en volume)



Partie 2 : Matières ou déchets ? Une définition lourde de conséquences

La gestion des déchets nucléaire en France

➤ Les Très Faibles Activités :

- Centre du Cires (centre industriel de regroupement, entreposage et stockage)



➤ Les Faibles et Moyennes Activités à Vie Courte:

- Centre de Stockage de la Manche (CSM) - fermé



- Centre de Stockage de l'Aube (CSA)



Saturation du CSA et du
Cires à l'horizon 2040

Partie 2 : Matières ou déchets ? Une définition lourde de conséquences

Les projets en cours

➤ Les Faibles Activités – Vie Longue

- Pas de site de stockage

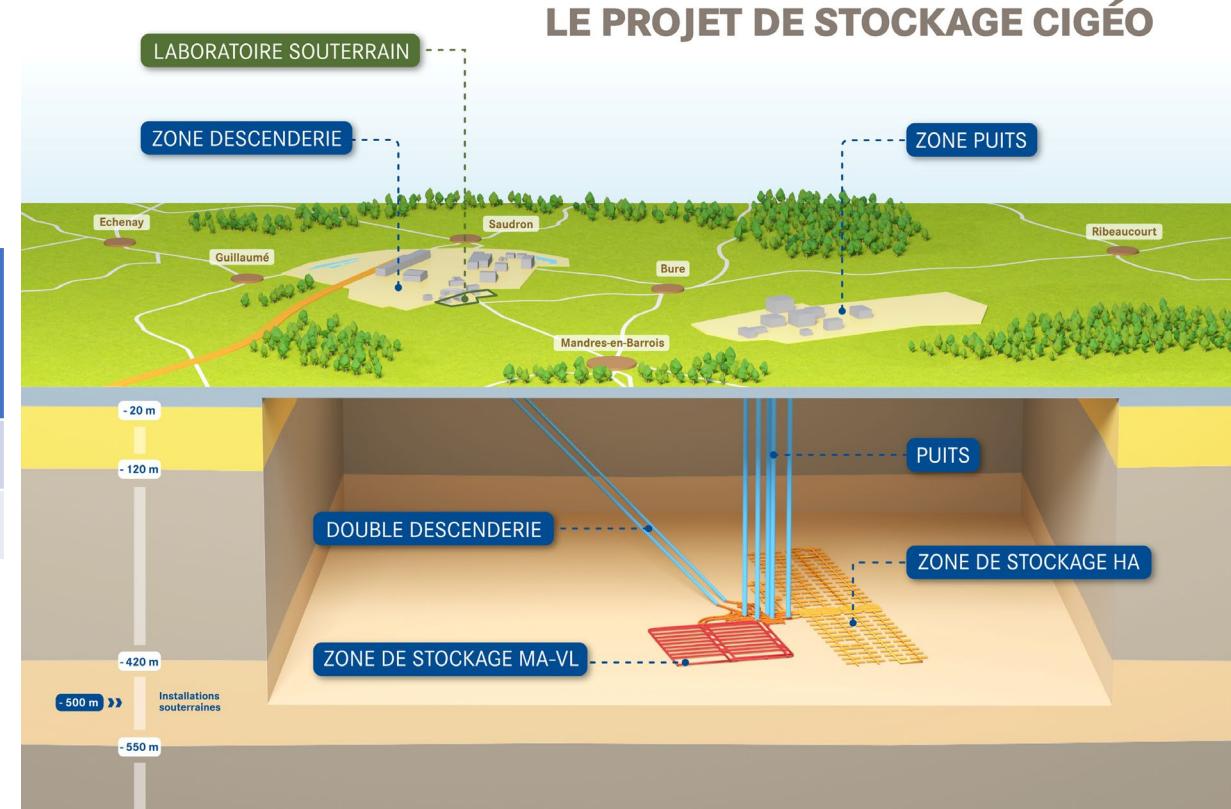
➤ Les Hautes et Moyennes Activités Vie Longues

- Projet CIGEO

	Déjà engagé*	Après 40 ans avec retraitement	Après 40 ans sans retraitement	Capacité CIGEO
HA-VL	5 700 m ³	8 000 m ³	93 500 m ³	12 000 m³
MA-VL	57 500 m ³	67 500 m ³	59 000 m ³	72 000 m³

*déjà produit ou issu du traitement des futurs combustibles usés

CIGEO ne concerne que les déchets produits et « à produire » des réacteurs actuels en supposant une continuité de la production de HA-VL

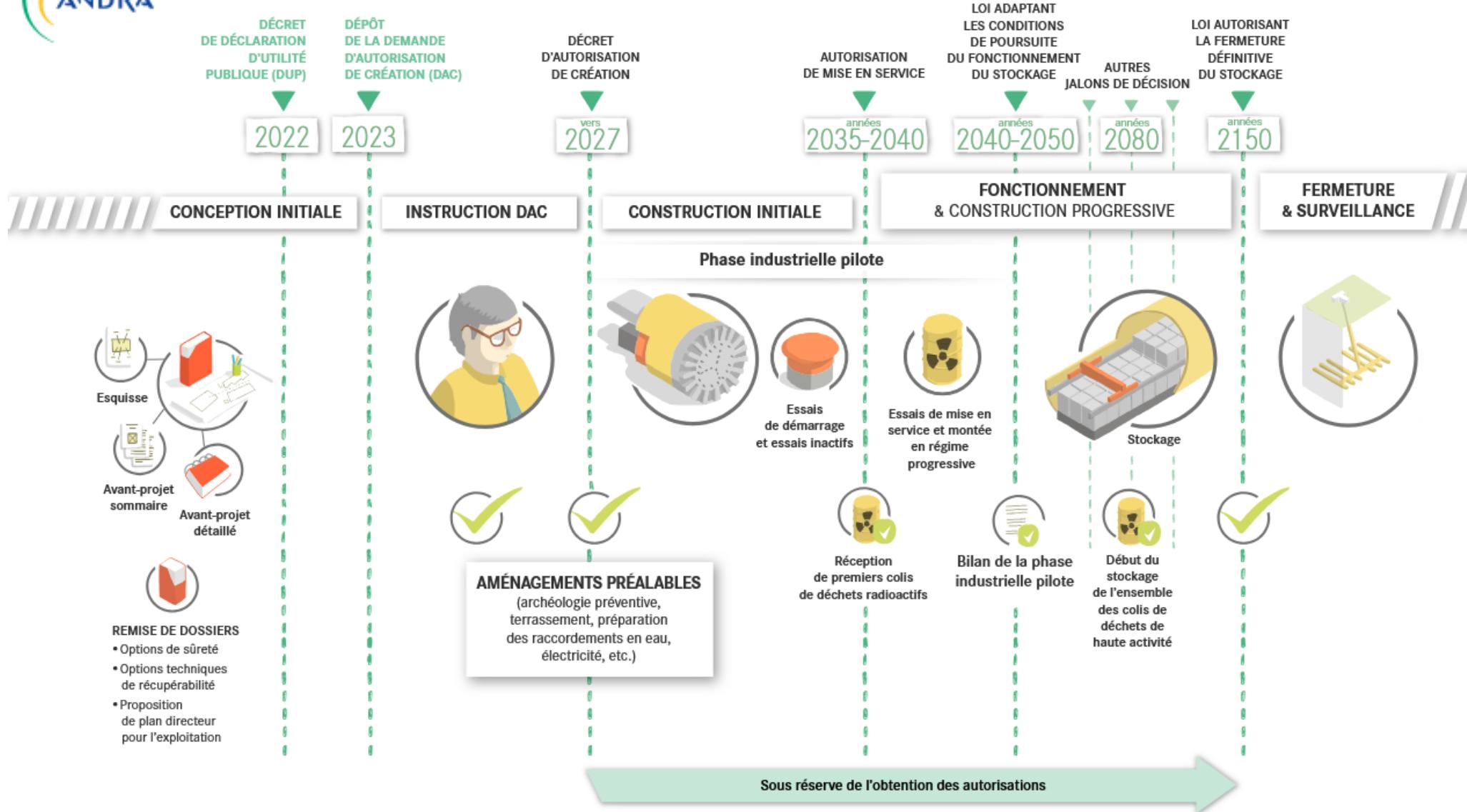


Les questions du débat public PNGMDR 2027 – 2032 :

- ✓ Phase Industrielle Pilote du projet CIGEO
- ✓ Les couts et le financement
- ✓ Les options pour les FA-VL
- ✓ « Libération » des déchets TFA
- ✓ Réversibilité et travaux sur les alternatives à l'enfouissement profond



LES GRANDES ÉTAPES DU PROJET GLOBAL CIGÉO

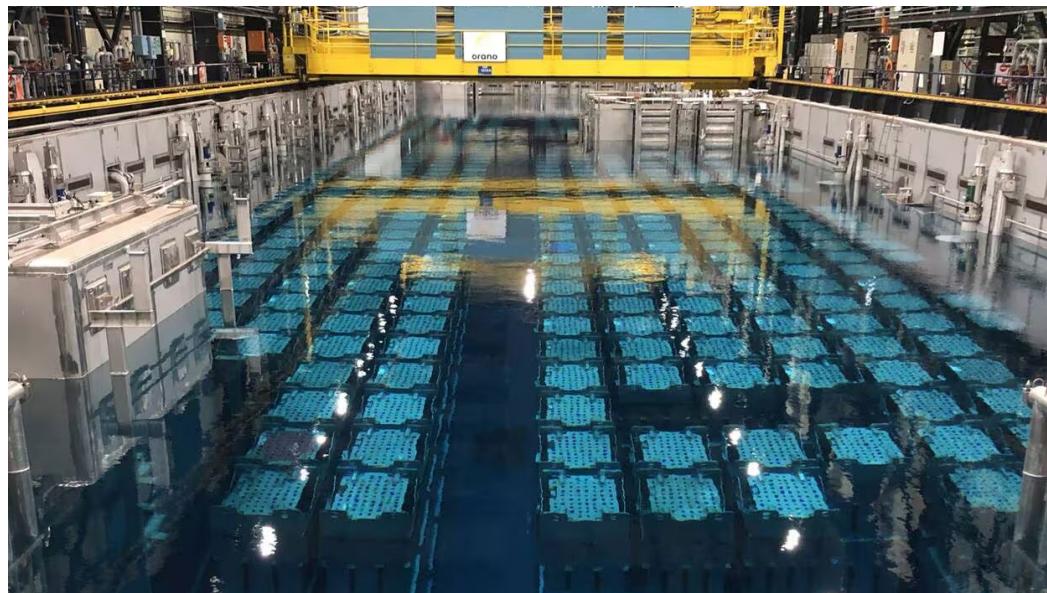
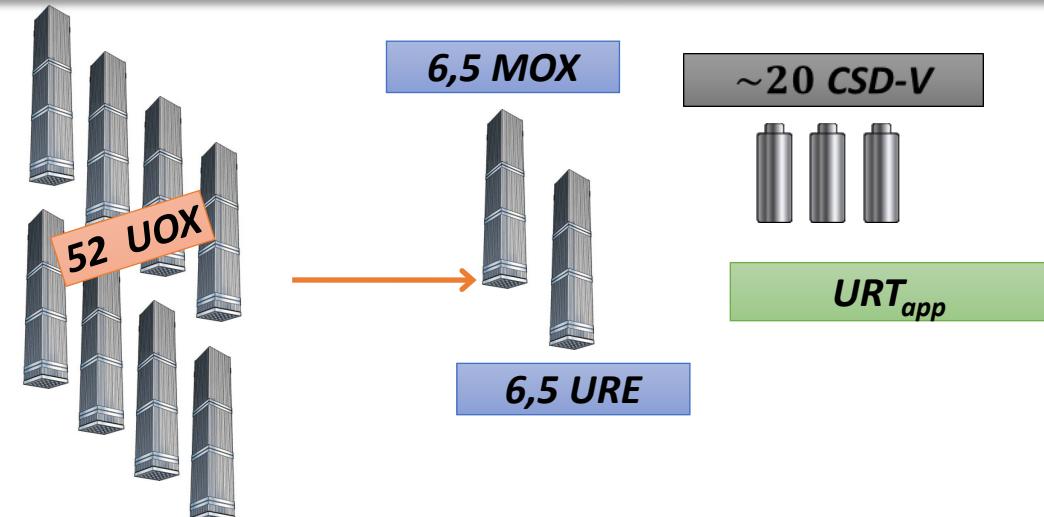


Partie 2 : Matières ou déchets ? Une définition lourde de conséquences

Mais où sont les matières ?

➤ La stratégie Française permet de « garder » disponible les matière et de concentrer le plutonium dans un nombre limités d'assemblages usés

- Valorisation d'une partie de la matière (et économie de l'uranium naturel)
- Après irradiation, l'uranium et le plutonium des MOX et URE usés sont encore des matières valorisables



Entreposage des combustibles usés (MOX et URE) dans la piscine de la Hague (*image Orano*)



Entreposage de l'uranium de retraitement et de l'uranium appauvri au tricastin (*image Orano*)

Partie 2 : Matières ou déchets ? Une définition lourde de conséquences

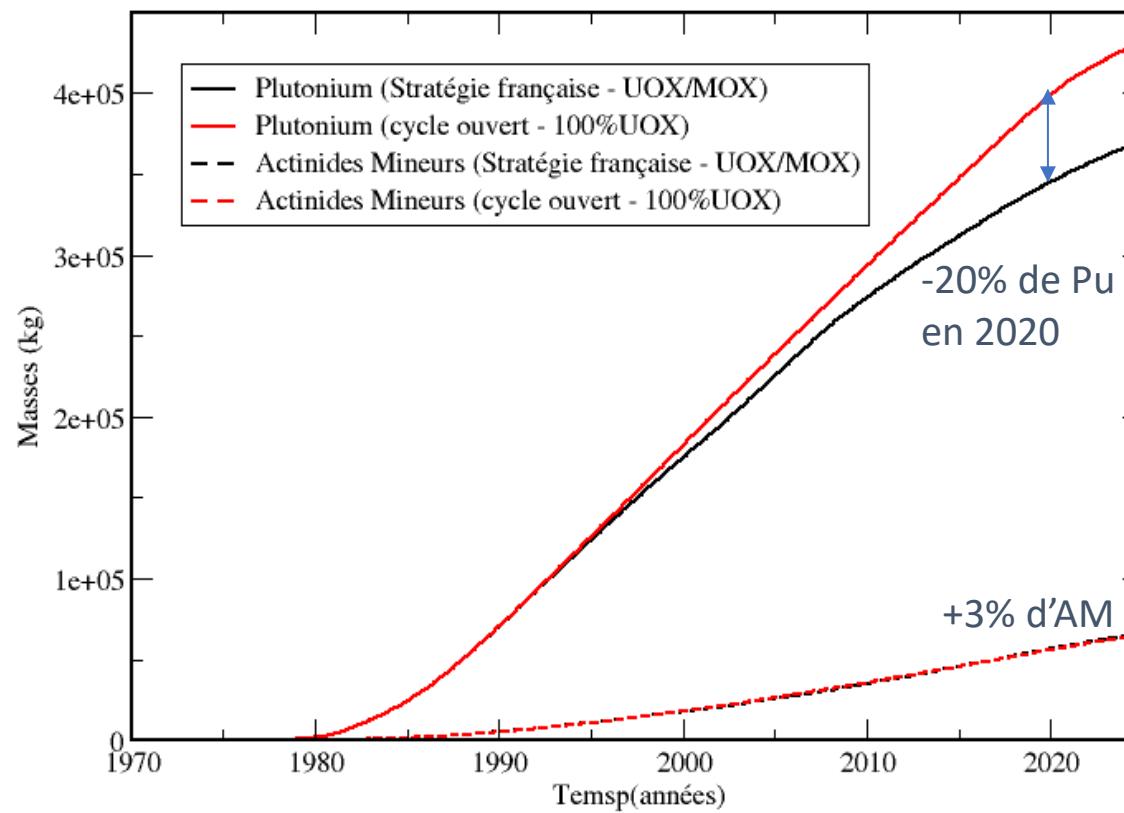
L'intérêt du recyclage du plutonium

➤ MOX vs Cycle ouvert : Que gagne-t-on à remplacer 1 assemblage sur 10 par du MOX ?

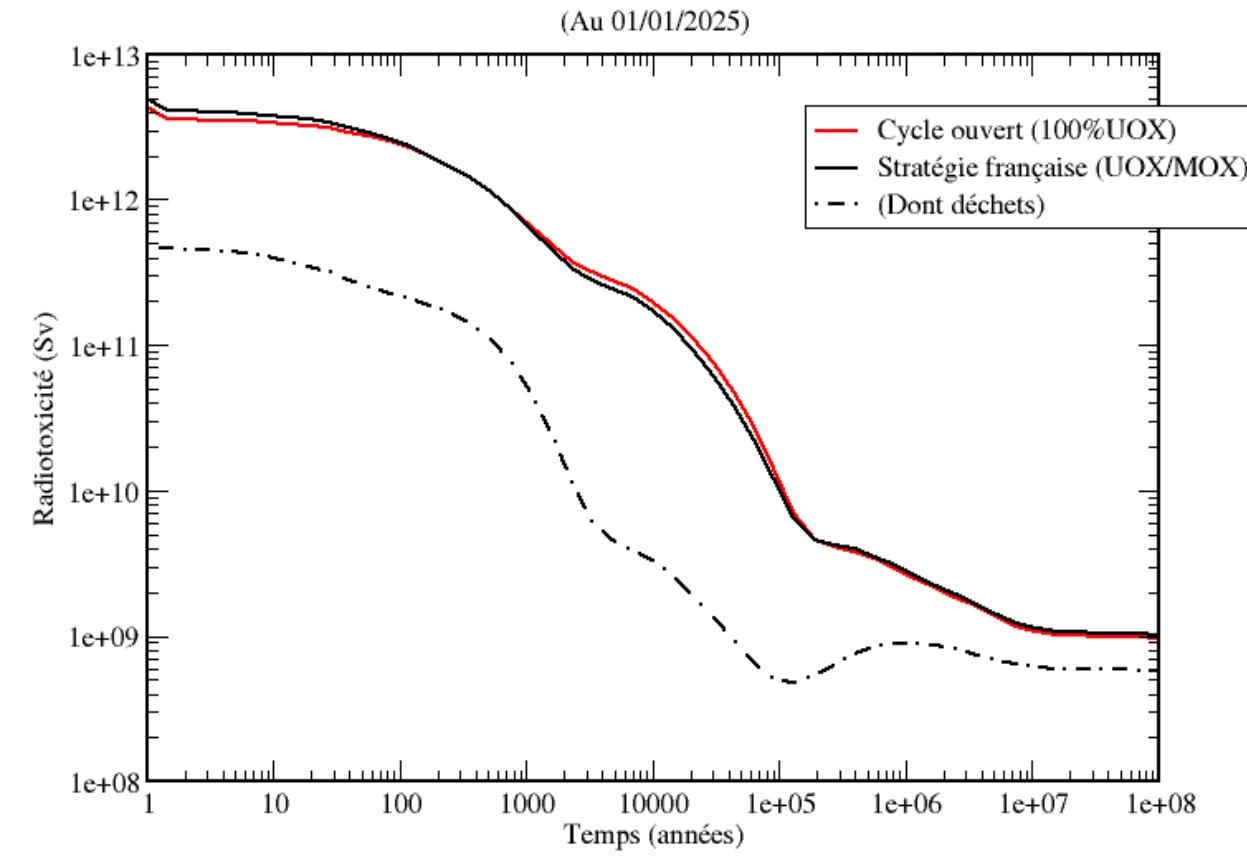
→ Simulation effectué avec CLASS, code de physique du cycle développé par le CNRS



Evolution des matières dans le parc français



Radiotoxicité des matières et déchets pour le parc Français



➤ Une économie d'environ 10 % sur l'uranium naturel

Ce qu'il faut retenir :

- **La définition des matières et des déchets n'est pas qu'une question sémantique**
 - Dans le cadre de la loi Française, pour arrêter de produire des déchets il suffit d'arrêter de retraiter
 - Le cahier des charges de la gestion des déchets dépend *très fortement* du cadre de réflexion
 - *Le statut des MOX usés conditionne les solutions techniques et les financements associés*
 - L'industrie nucléaire possède une gestion des déchets relativement exemplaire en comparaison d'autres industries
 - *Cette gestion est coûteuse*
 - *Cette gestion pose la question de l'engagement des générations futures (début de la phase d'exploitation de CIGEO en 2070)*
 - *L'engagement des générations futures ne pose pas pour la gestion des matières (qui est liée à la politique énergétique)*
- **Retour sur les conclusions du débat de 2005 : utiliser le temps pour définir les solutions de gestions**
 - Bénéficier des progrès à venir
 - Entreposage vs stockage – pas d'urgence à décider et acter le stockage tant qu'on a un stock de matière majoritaire devant les déchets
 - Introduction de la notion de « réversibilité » du stockage

1. Physique des réacteurs 101 et sans équation

1. Matières ou déchets ? Une définition lourde de conséquences

1. La question du plutonium et de l'uranium

1. Les réacteurs du futur, pourquoi ? comment ?
2. L'intérêt de la régénération du combustible
3. La nécessaire anticipation politique à *très long terme*

1. Conclusions

Partie 3 : Le recyclage des matières

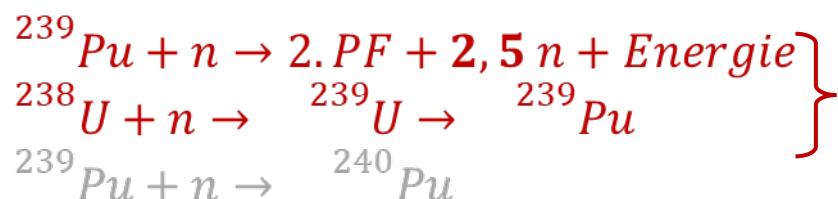
Pourquoi garder le plutonium disponible ?

➤ Retour sur les réacteurs GEN-IV

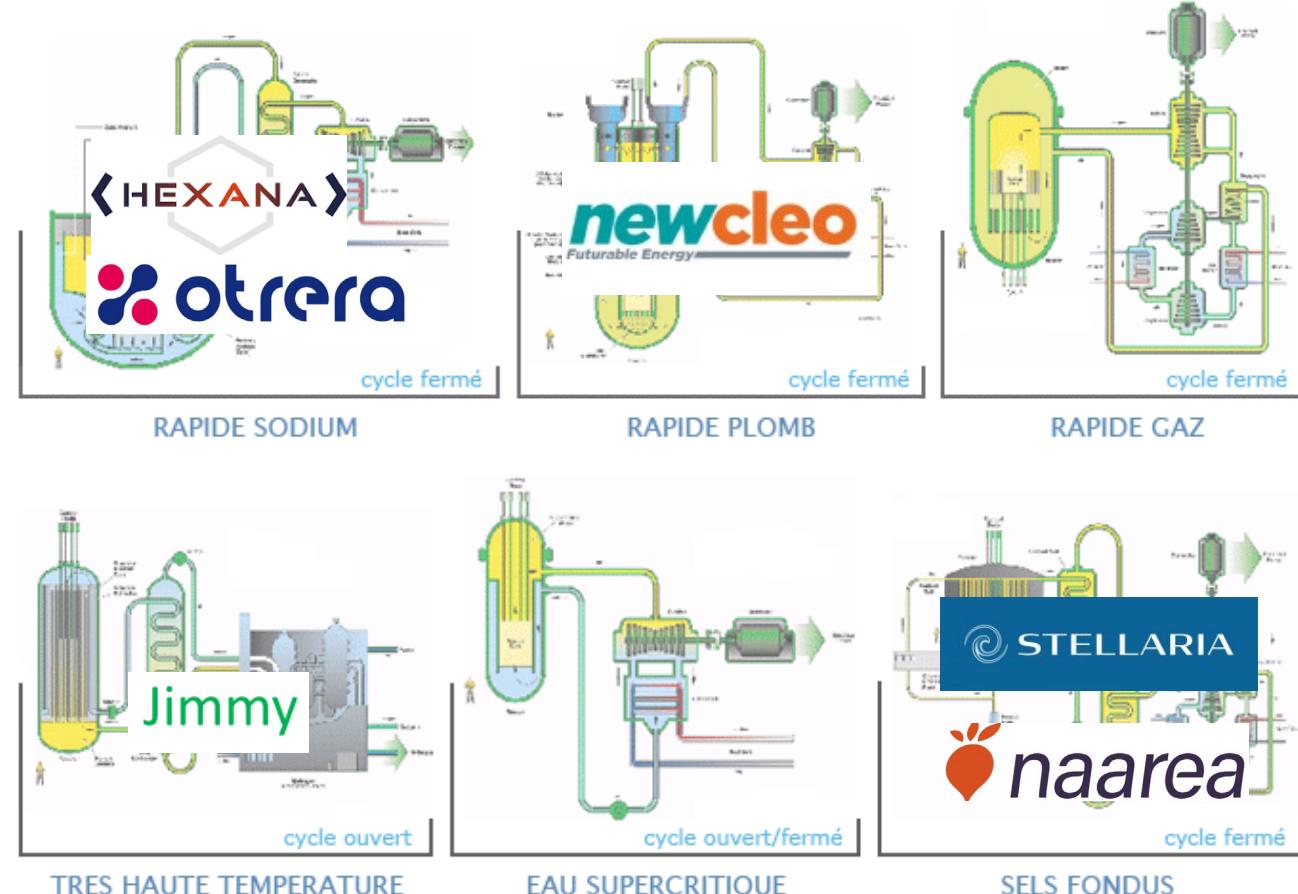


Le DOE (USA) a créé le GIF (Generation IV International Forum) en 2000 pour faciliter la R&D internationale sur le nucléaire du futur

- Améliorer la sûreté nucléaire
- Améliorer la résistance à la prolifération
- Minimiser la production de déchets
- Optimiser l'utilisation des ressources naturelles
- Diminuer les coûts de construction et d'exploitation



6 CONCEPTS INNOVANTS

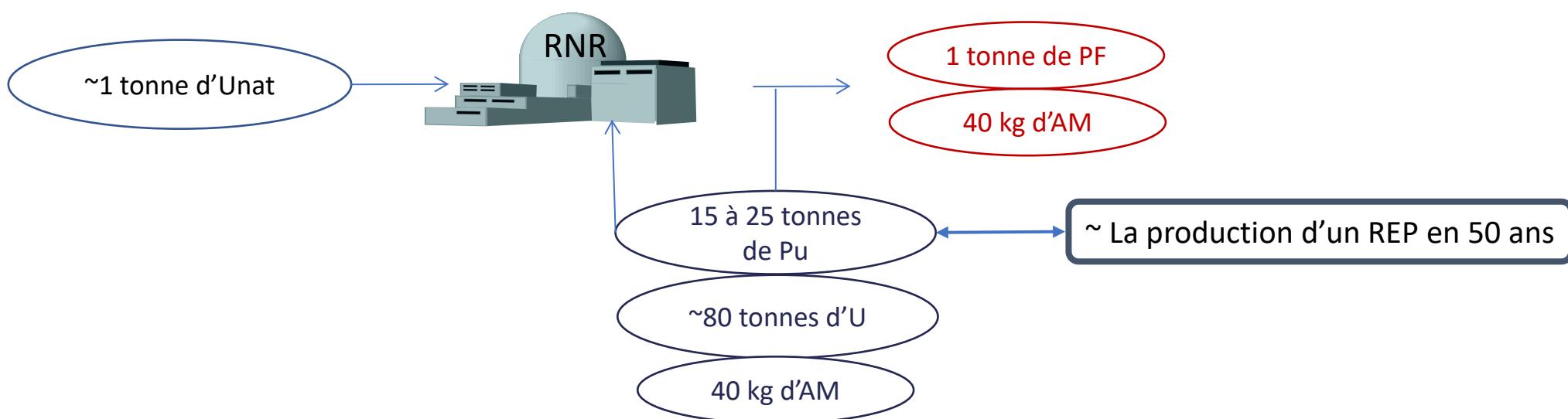


Pour chaque ${}^{239}\text{Pu}$ qui disparaît, un ${}^{239}\text{Pu}$ est re-créé par capture sur l' ${}^{238}\text{U}$
→ C'est la « régénération » du fissile

➤ La régénération est impossible avec des réacteurs à neutrons « lents » (ou thermique)

- Il faut limiter au maximum le ralentissement des neutrons (et enlever l'eau)
 - *Cœur très compact*
 - *Caloporeur efficace et transparent aux neutrons → Plomb ou Sodium liquide*
- A cause des neutrons rapides, il faut une concentration de noyaux fissiles importante
 - *Pour ces réacteurs, le Pu est une matière précieuse*

➤ Une fois l'inventaire Pu disponible, la production d'énergie ne consomme plus de ressource naturelle



➤ Après le recyclage du plutonium, il est possible d'envisager le recyclage des actinides mineurs

- Stratégie de transmutation

➤ Fermer le cycle du combustible = fermer la mine via la recyclage de l'uranium et du plutonium

- De l'énergie « gratuite » sans contrainte sur le climat, partout et avec une production de déchets minimale (si transmutation)

➤ Un principe déjà démontré industriellement

- Réacteurs PHENIX (250 MWe ; 1973 - 2010) et SUPERPHENIX (1250 MWe ; 1986 - 1997)
- Recyclage des combustibles effectué au CEA Marcoule et à la Hague

➤ Un parc de RNR suppose un inventaire Pu « conséquent »

- 1200 à 1500 tonnes pour l'équivalent du parc Français
→ 350 tonnes sont disponibles aujourd'hui

➤ La régénération est-elle nécessaire ? Au-delà du fantasme du scientifique atomiste

→ Justification de l'intérêt si crise de l'uranium naturel

Incertitude forte sur le long terme mais nécessité d'anticiper très en amont pour assurer le combustible



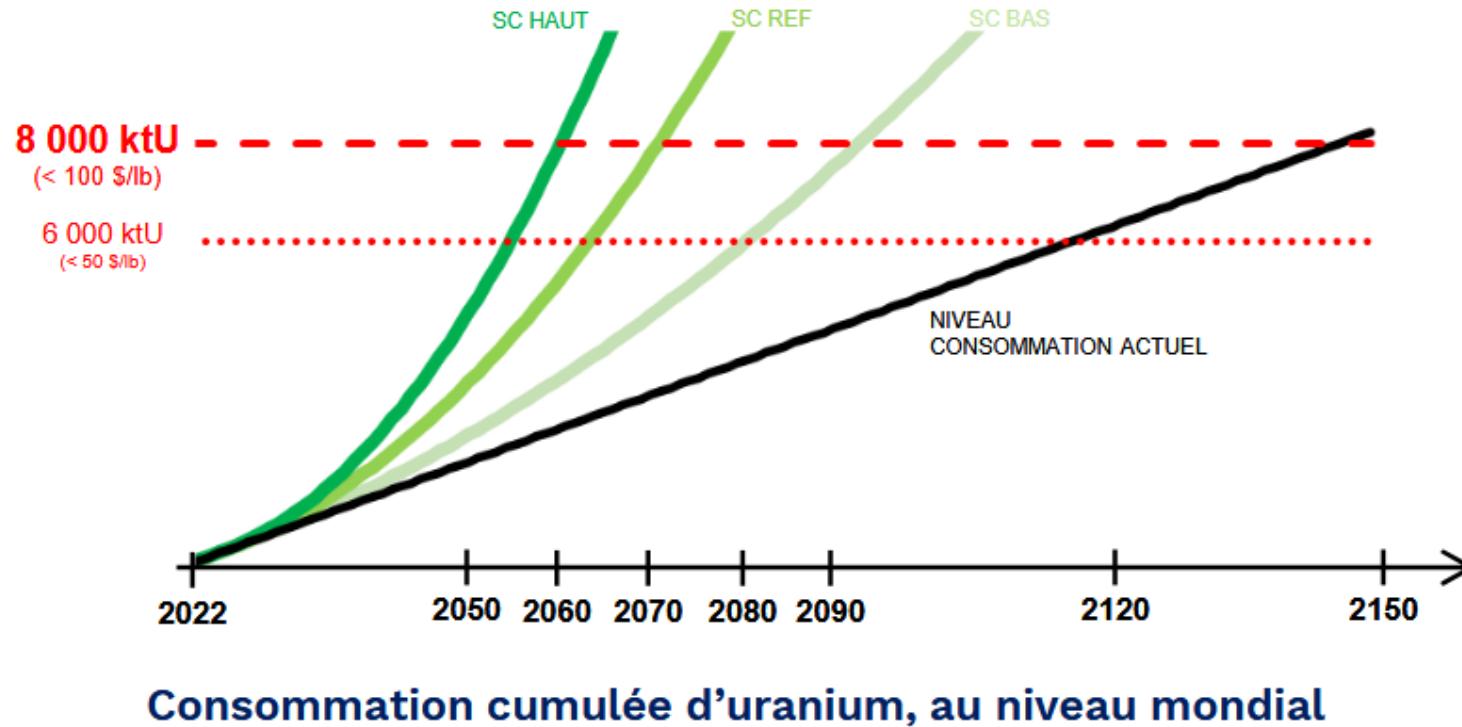
➤ Anticipation nécessaire également pour la technologie de réacteur

- Construction et licensing de SPX impensable aujourd'hui
- Projet de réacteur ASTRID initié en 2006, arrêté en 2019
 - Prochain projet en 2026 ?

Partie 3 : Le recyclage des matières

Doit-on craindre une pénurie d'uranium ?

- Jérôme Garrel (EDF) : « Les ressources en uranium sont abondantes, une rareté est possible avant la fin du siècle suivant les scénarios mais peu probable

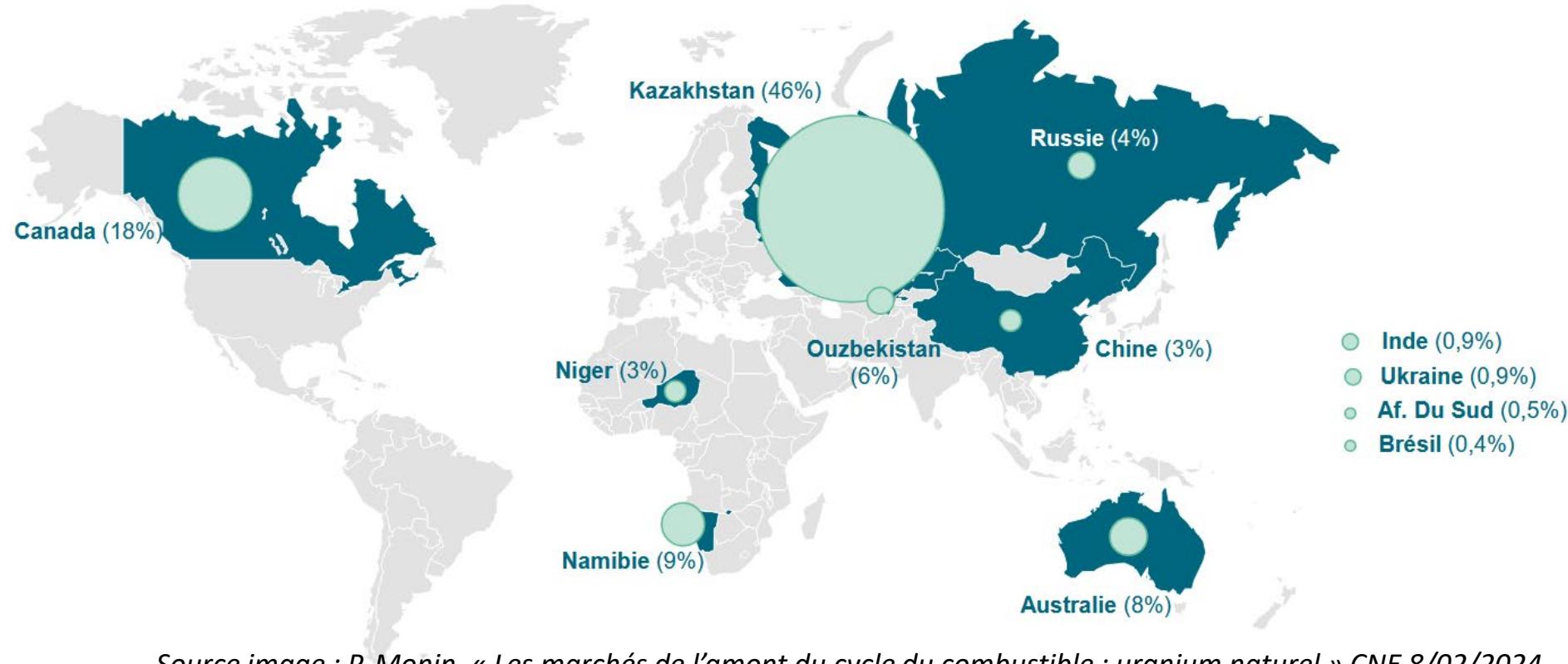


Source image : J. Garrel, « Défis et ambitions pour le cycle nucléaire du futur » CNE 8/02/2024

- Processus déclaratif des ressources auprès de l'AIEA : livre rouge de 2020 > 16 millions de tonnes déclarées

« Des ressources suffisantes en uranium ont été identifiés pour soutenir les scénarios de déploiement du nucléaire au niveau mondial les plus agressifs, mais très peu de mines sont compétitifs au prix actuel » Michel Cuney, (JA, GDR SciNEE)

Projections de répartition des principaux producteurs d'uranium en 2024 (%)



Source image : P. Monin, « Les marchés de l'amont du cycle du combustible : uranium naturel » CNE 8/02/2024

➤ Un marché « restreint » et fortement impacté par la géopolitique

→ Une zone d'influence Chinoise, une seconde d'influence russe et une troisième EU + Europe

➤ Grosses incertitudes sur l'accès aux mines dans le futur

- Les besoins affichés des réacteurs chinois ne sont actuellement pas pourvus
- Crise de l'uranium à anticiper d'ici la fin du siècle

Partie 3 : Les ressources et la régénération

La sécurisation de l'accès à la ressource naturelle : un enjeu géopolitique très fort

France Info

Niger : la France remplacée par la Russie dans l'exploitation d'uranium ?

Niger : la France remplacée par la Russie dans l'exploitation d'uranium ? ... L'entreprise française Orano a annoncé avoir perdu le contrôle d'une...

4 déc. 2024



Le Monde.fr

La Mongolie annonce un accord avec le groupe français Orano pour l'exploitation d'une mine d'uranium

La Mongolie annonce un accord avec le groupe français Orano pour l'exploitation d'une mine d'uranium. Le groupe français investira 1,6 milliard...



28 déc. 2024

rfi

Uranium: le géant russe Rosatom se retire de sites d'extraction au Kazakhstan et vend ses parts à la Chine

Le géant russe du nucléaire Rosatom se retire de certains sites d'extraction d'uranium au Kazakhstan. Le groupe vend ses parts à deux...



18 déc. 2024

➤ Temporalité de la crise énergétique vs temporalité du nucléaire ?

- Ressources stratégiques :

- Uranium de retraitement
- Uranium appauvri
- Plutonium ex-MOX



Quelques années de fonctionnement du parc si les technologies pour recycler le combustible sont disponibles (*pas le cas pour le traitement de l'uranium*)

- A mettre en regard des temporalités du nucléaire :

Temps de conception d'un réacteur
→ ASTRID : 2006 - 2020

Temps de construction d'un réacteur
→ EPR Flamanville : 2007 - 2024

Temps démocratique
→ EPR2 Bugey : 2026 - 2033

➤ La question de la souveraineté énergétique dans un contexte géopolitique incertain mérite-t-il de revoir les investissements du nucléaire ?

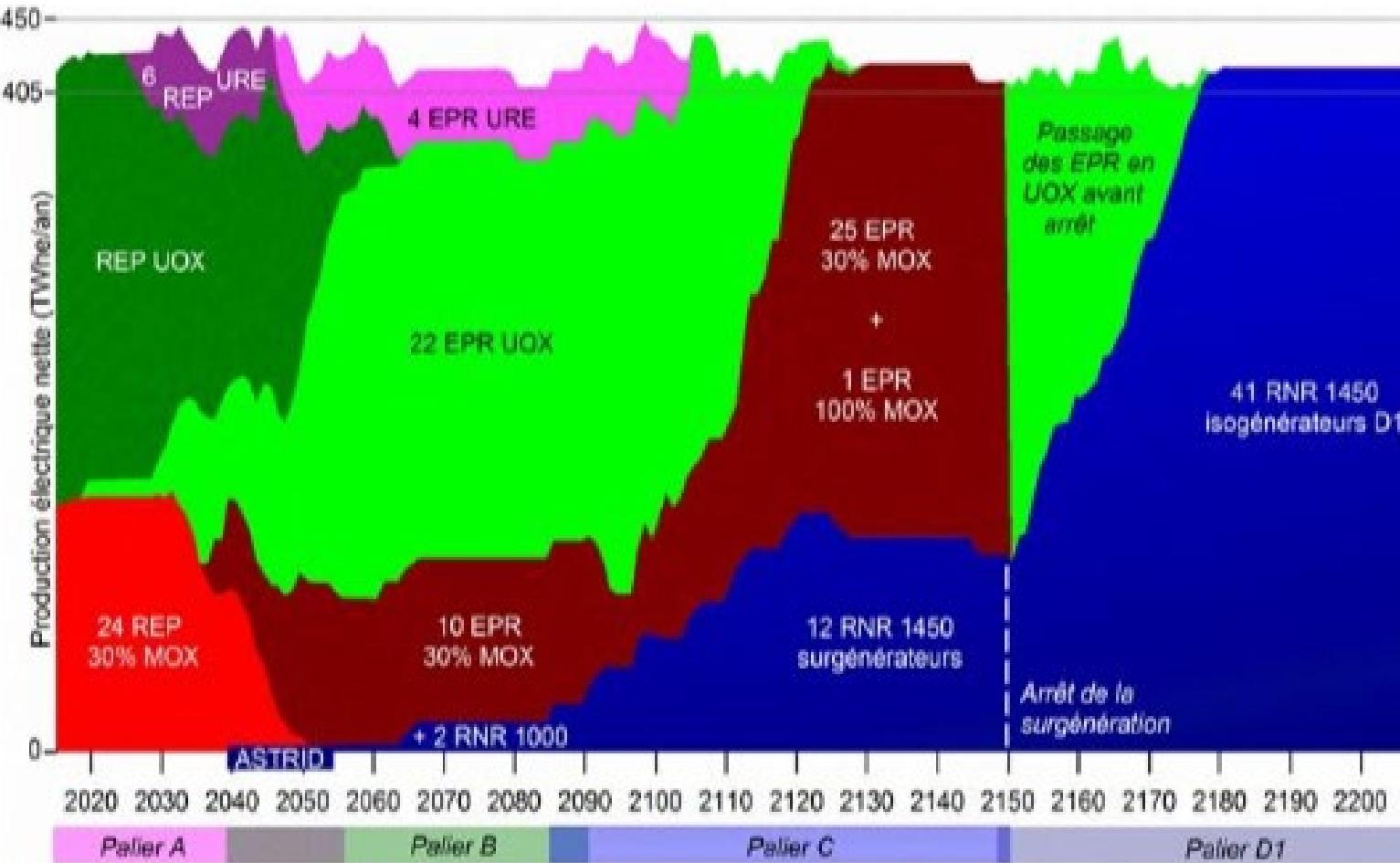
- Si la gestion de l'incertitude du déploiement du nucléaire mondial (*et donc de la crise de l'uranium*) justifie la stratégie Française, alors elle devrait justifier le développement des réacteurs à neutrons rapides et des installations du cycle associées

Conclusions :

➤ Un petit retour en arrière via une analyse des scénarios prospectifs de la filière nucléaire

- Scénario nucléaire construit par la filière industrielle pour discuter avec le gouvernement des investissements d'avenirs

➤ Scénario 2012 - 2018 : Anticipation d'un essor mondiale du nucléaire, très important → Crainte d'un manque d'uranium



- Résultat des études : il manque du plutonium et il faut des réacteurs « sur - générateurs »

Prospective inventory of radioactive materials and waste produced by the french nuclear fleet according to various options, Chabert et al. 2018

Conclusions :

➤ Un petit retour en arrière via une analyse des scénarios prospectifs de la filière nucléaire

➤ 2019 abandon du projet ASTRID :

- Essor du nucléaire retardé
- Pas de problème de ressources
- Monde « stable » géopolitiquement

} Horizon temporel des réacteurs à neutrons rapides repoussé après 2090



➤ Débat public lié au PNGMDR 2019

➤ Requalifier certaines matières en **déchets** ?

- *MOX usés qui s'entassent dans des piscines maintenant pleines*
- *Uranium appauvri et uranium de retraitement*

Conclusion du débat : si **pas d'utilisation planifiée** alors ces **matières** doivent être **considérées comme des déchets** !

→ Définition d'une constante de temps pour utiliser les matières : **30 ans** !

➤ Mais les « intérêts nationaux » restent d'actualité :

- *Conserver le plutonium dans le cycle du combustible (au cas ou ?)*
- *Remplacement des installations à la Hague (à l'horizon 2050)*
- *Problématique du stockage direct (crise des piscines)*

→ **Recyclage du plutonium dans les prochains EPR2**

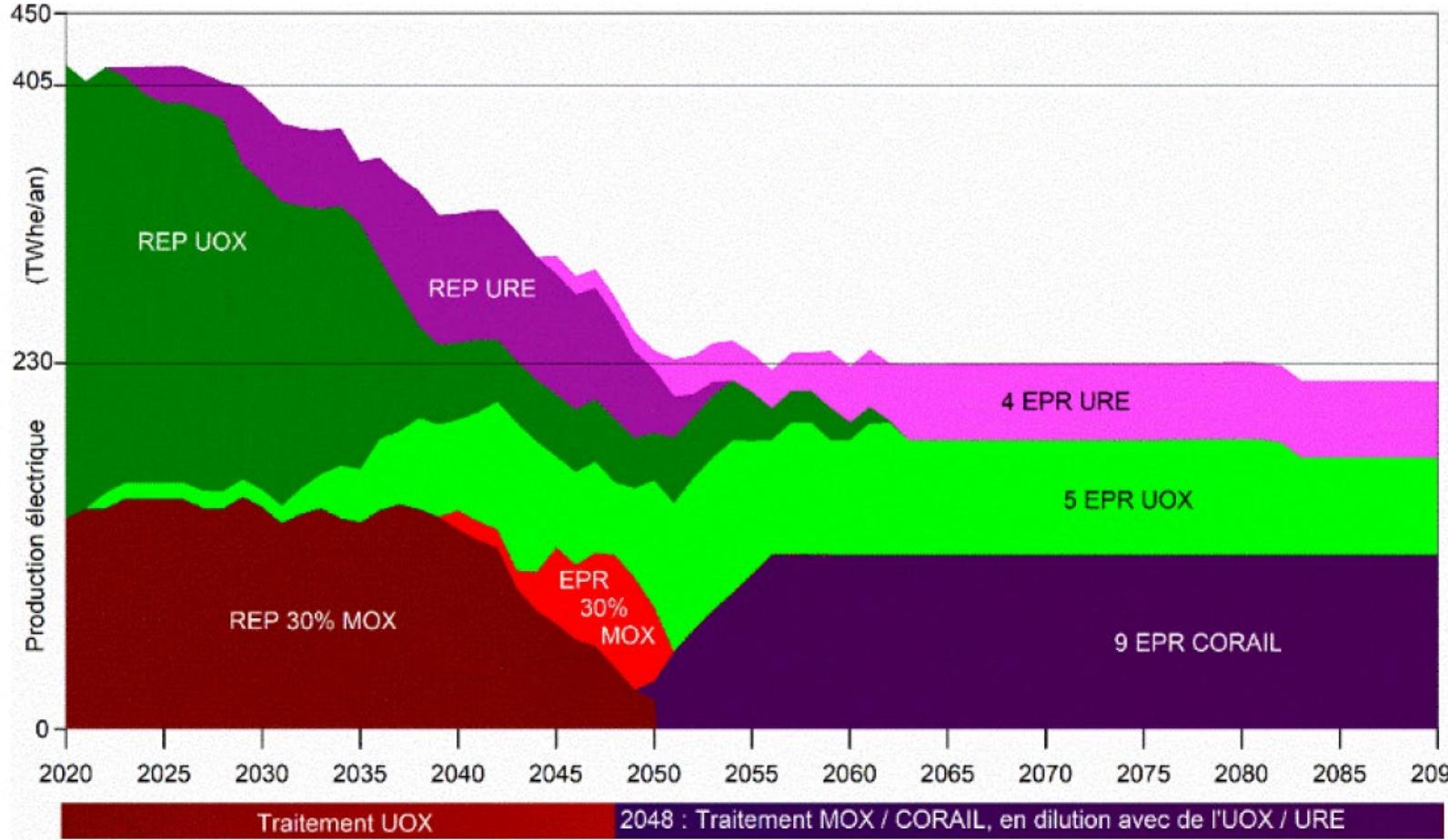
→ **Reprise du recyclage de l'uranium de retraitement**

Conclusions :

➤ Un petit retour en arrière via une analyse des scénarios prospectifs de la filière nucléaire

- Scénario nucléaire construit par la filière industrielle pour discuter avec le gouvernement des investissements d'avenirs

➤ Scénario 2018 - 2022 : Pas de manque d'uranium anticipé, (multi-)recyclage du plutonium dans les REP



- Production de déchets accrue (très forte production d'actinides mineurs)
- Plutonium stabilisé à ~600 tonnes dans le cycle (la moitié de ce qui est nécessaire pour un parc à neutrons rapides)

Conclusions :

- **Un petit retour en arrière via une analyse des scénarios prospectifs de la filière nucléaire**
 - Scénario nucléaire construit par la filière industrielle pour discuter avec le gouvernement des investissements d'avenirs
- **Scénario 2025 - ? Une piste possible dans les rapports du Conseil politique nucléaire ?**

<https://www.elysee.fr/emmanuel-macron/2025/03/17/reunion-du-4eme-conseil-de-politique-nucleaire/>

 - **Le Conseil a fait un point d'étape sur la mise en œuvre du programme EPR2 qui vise à construire 6 nouveaux réacteurs de forte puissance, à Penly, Gravelines et Bugey, pour une première mise en service d'ici 2038**
 - *Question sur le financement, le maintien des coûts de construction et du calendrier du projet*
 - **Le CPN a validé une stratégie de développement des activités minière d'Orano**
 - *Soutien de l'Etat à Orano sur l'approvisionnement en Uranium de la France à moyen et long terme.*
 - **Le CPN a confirmé le programme permettant le renouvellement des installations sur l'aval du cycle du combustible nucléaire à la Hague, nécessaire pour l'entreposage et le recyclage des combustibles usés.**
 - **Il a lancé des travaux préparatoires nécessaires pour relancer la recherche sur la fermeture du cycle, qui permettra à terme de se passer des importations d'uranium naturel.**
 - *Fermeture du cycle dans la seconde moitié du siècle*
 - *Demande d'un calendrier d'ici fin 2025*

Conclusions :

➤ Une évidence qu'il est toujours bon de rappeler : la gestion des déchets est liée à leur production

- La prospective sur les déchets est donc lié à la prospective énergétique !
- Acter une gestion donnée, c'est accepter la politique énergétique associée
 - La gestion des déchets est la seule problématique débattue nationalement... qui devient alors le sujet de fixation entre pro et anti nucléaire

➤ Et le débat PNGMDR 2027-2032 ?

Les questions du débat :

Les questions en lien direct avec les déchets

- ✓ Phase Industrielle Pilote du projet CIGEO
- ✓ Les couts et le financement
- ✓ Les options pour les FA-VL
- ✓ « Libération » des déchets TFA
- ✓ Réversibilité et travaux sur les alternatives à l'enfouissement profond



Un certain chemin parcouru depuis 1991

Le débat gagne en technicité, perd en controverse
→ Affirmation de la décision « stockage » avec le temps

Les questions liés à la politique énergétique et aux matières

- ✓ L'impact des orientations énergétiques sur le PNGMDR
- ✓ Matière ou déchet : les différences et les impacts de cette classification
- ✓ Les impacts territoriaux
- ✓ *Les déchets issus du secteur médical*



Peu d'évolution depuis 2006

La politique nucléaire reste une « compétence » du gouvernement non débattue par le public

➤ Et après le débat ?

- Peu de chance d'une évolution de la politique nucléaire mais des adaptations de la politique de gestion des déchets
- Un fort besoin de formation niveau bac+5 et bac+8

Merci pour votre attention