

Principes autour du cycle du combustible fermé

Emmanuelle Galichet

Enseignante-chercheure Sciences et Technologies Nucléaires

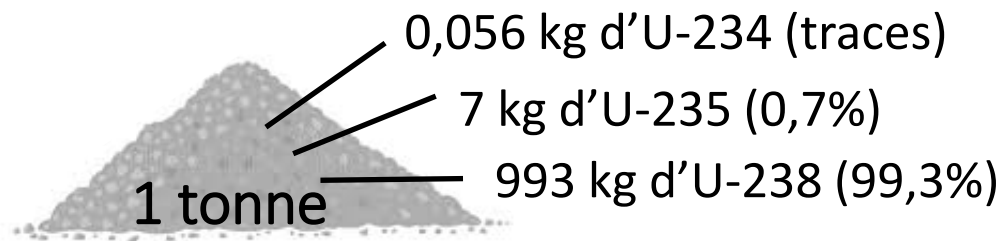
Le Cnam



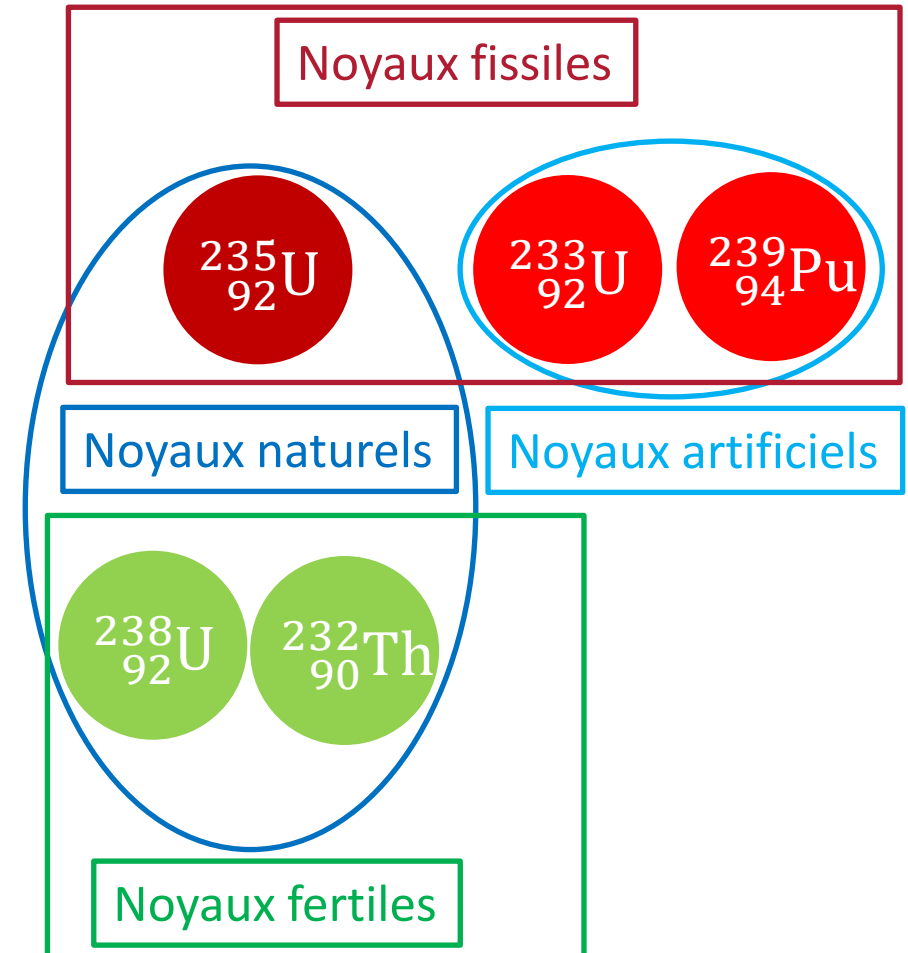
Le nucléaire durable

Durabilité :
se préoccuper
des matières premières
et des pollutions

Composition uranium naturel : 3 isotopes



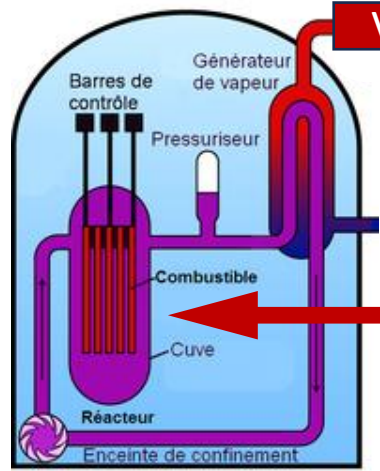
REP : consomme l' ^{235}U
RNR : consomme l' ^{238}U



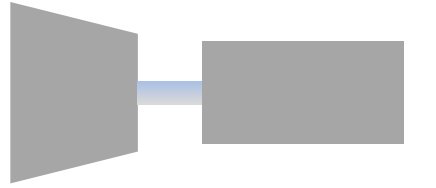
➔ Augmentation d'un facteur entre 50-100 de l'énergie que l'on peut tirer de l'uranium naturel

Un réacteur nucléaire

Une cocotte-minute!



Vapeur d'eau



Turbine Alternateur

Electricité

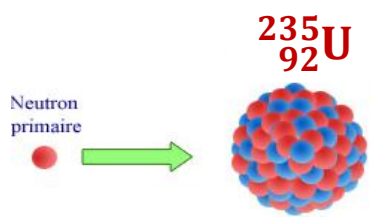
Chaleur

$$P_{th} = E_{fission} \times \text{taux de fission}$$

Watt

Joules

Nombre de fissions/s

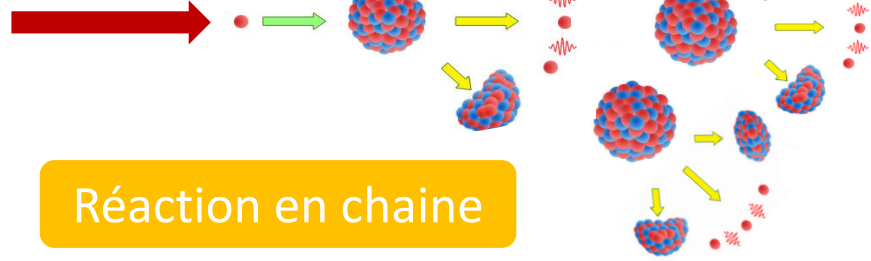


Une fission

Produit de fission A

Neutrons et gamma secondaires

Produit de fission B



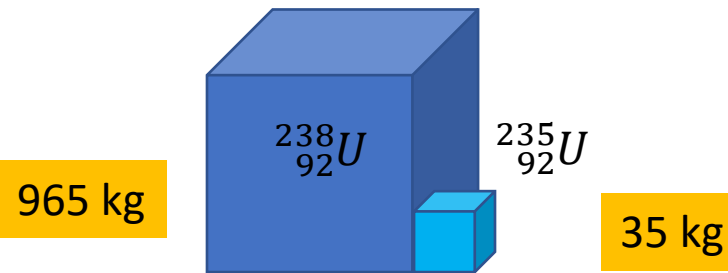
Réaction en chaine

Pour 1 réacteur de 1GWe
 $N_{fissions} \cong 10^{20}$ fissions/s

(Source d'après dessins site la Radioactivité)

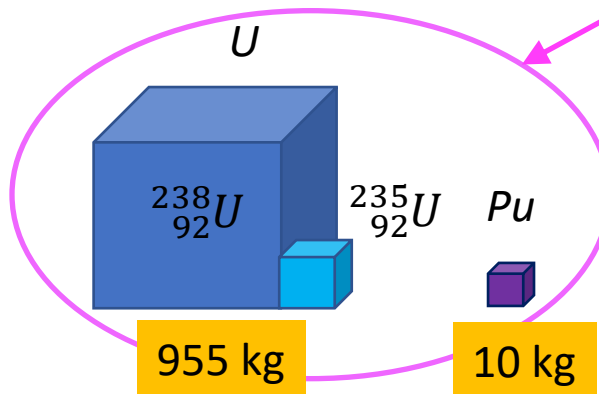
Le combustible

1 tonne d'uranium enrichi à 3,5%
965 kg $^{238}_{92}\text{U}$ et 35 kg $^{235}_{92}\text{U}$

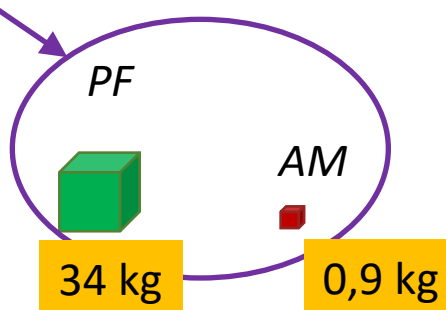


3-4 ans en réacteur

Matières valorisables



Déchets ultimes



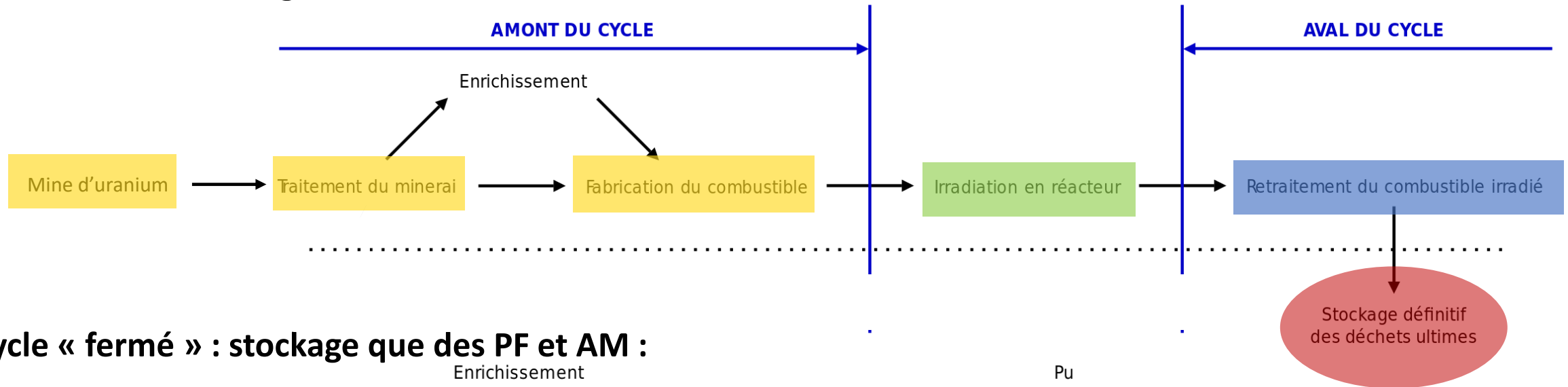
Après passage en cœur :

- 95% de l'uranium
- 1% de plutonium
- 4% PF+AM

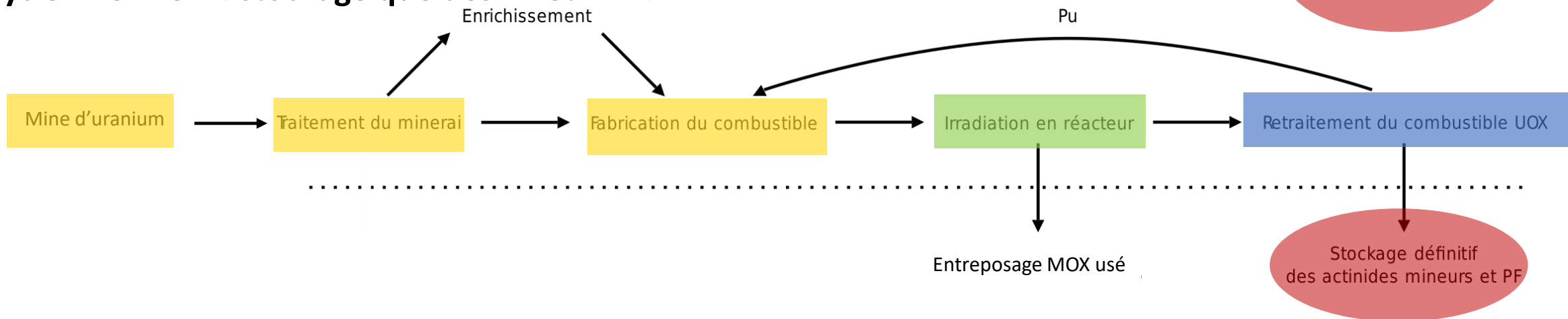
Vers le nucléaire durable:
Utiliser mieux le
combustible

Amont/Aval et cycle ouvert/fermé

❑ Cycle ouvert : stockage de tout le combustible utilisé :



❑ Cycle « fermé » : stockage que des PF et AM :



Les réactions nucléaires dans un réacteur

❑ Deux réactions essentielles :

La fission



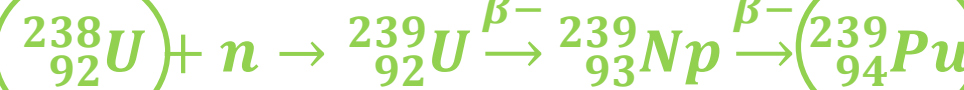
Consommation matière fissile :

REL (rendement 33 %) : 130 kg/TWhe

RNR (rendement 40 %) : 110 kg/TWhe

(Chiffres d'après techniques de l'ingénieur)

La capture neutronique



Production de matière fissile
Variable suivant le combustible

❑ **Bilan en matière fissile :** comparer production et consommation

Le facteur de conversion

❑ C'est le rapport du nombre de noyaux fissiles formés au nombre de noyaux fissiles détruits.

$$C = \frac{\text{nbre de noyaux fissiles produits}}{\text{nbre de noyaux fissiles détruits}}$$

C < 1 : sous-génération

C = 1 : iso-génération

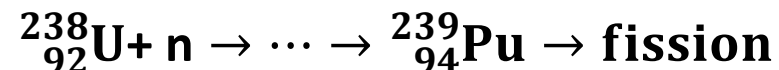
C > 1 : sur-génération

❑ Le facteur de conversion C pour différentes filières de réacteurs:

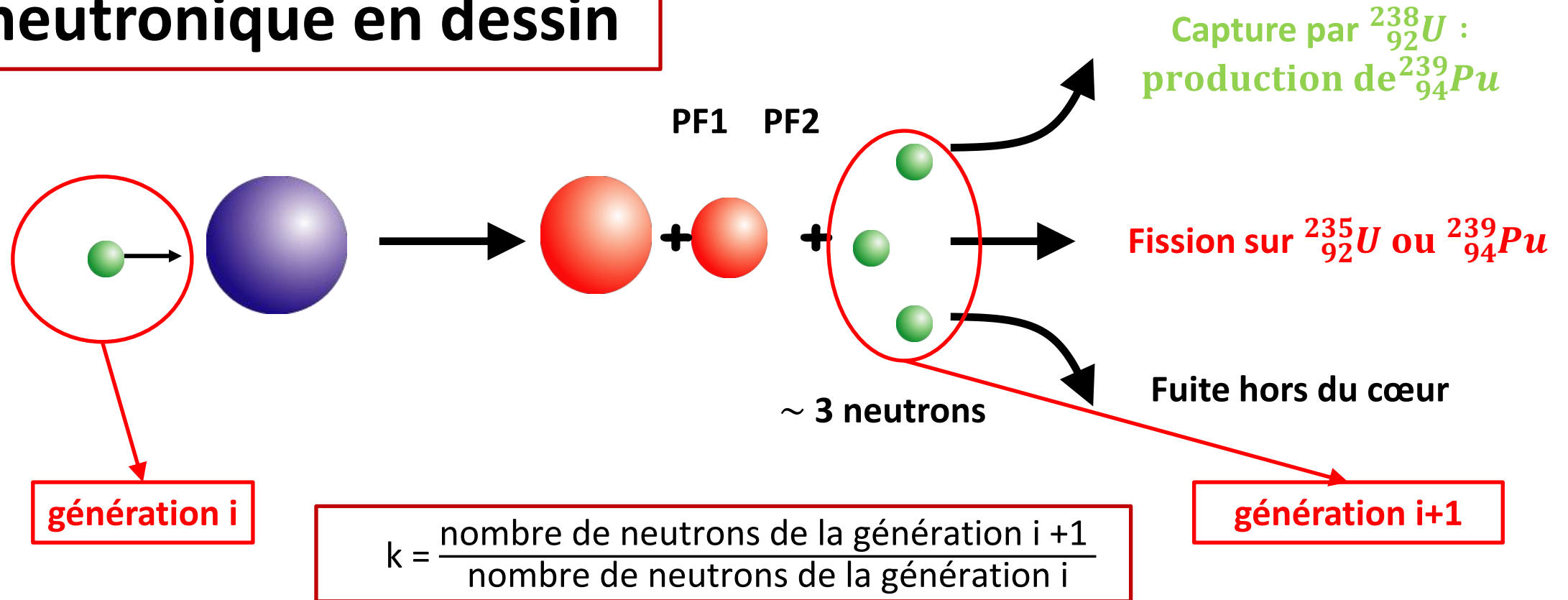
filière	UNGG	CANDU	REP	RNR
C	0,8	0,9	0,6	0,8-1,2

(Chiffres: Précis de neutronique, Paul Reuss)

Que faut-il pour produire de la matière fissile ? assez de neutrons !



Bilan neutronique en dessin



□ Maitrise de la réaction en chaîne:

- si $k > 1$ la réaction s'emballe;
- si $k < 1$ la réaction s'étouffe;
- si $k = 1$ la réaction s'auto-entretient.

Intérêt des neutrons rapides

❑ Neutron thermique ou lent :

- Utilisé dans les réacteurs à eau (REP, REB, CANDU)
- Vitesse $\approx 2\,200$ m/s

❑ Neutron rapide :

- Utilisé dans les réacteurs à neutrons rapides
- Vitesse $\approx 2 \times 10^7$ m/s

Les neutrons rapides permettent la fission de tous les noyaux lourds

❑ Nombre de neutrons produits par neutron absorbé dans un noyau fissile :

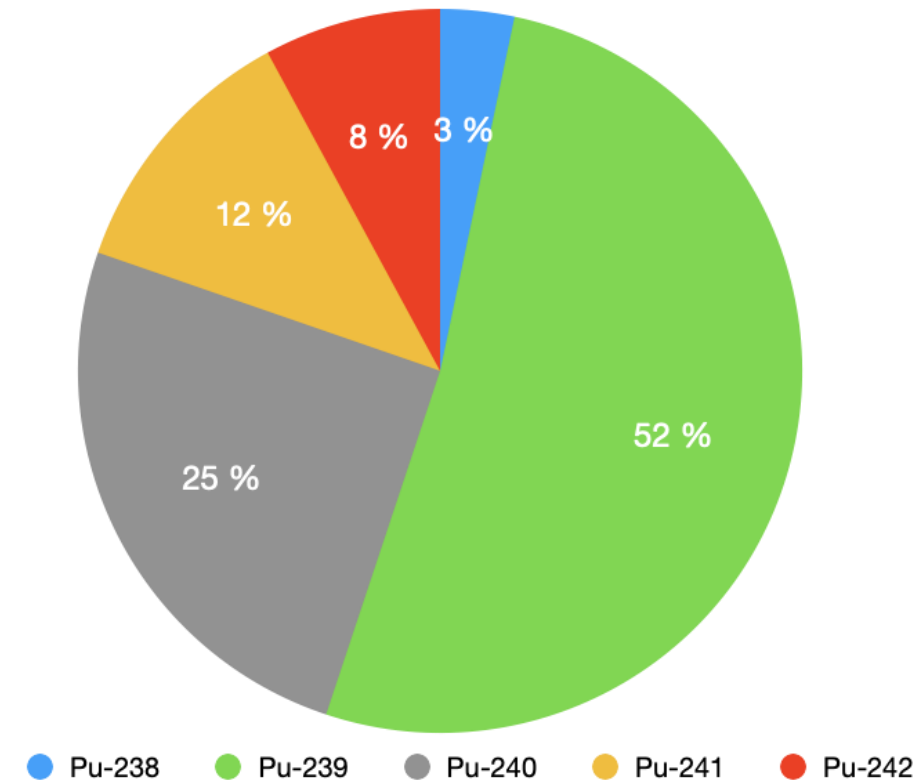
	Réacteur à neutrons lents	Réacteur à neutrons rapides
U-235	2,085	1,88
Pu-239	2,11	2,33
U-233	2,3	2,3

Isogénération possible

Le cas du plutonium : ce n'est pas un déchet!

- ❑ Dégradation de la qualité du plutonium sous irradiation en cœur.
- ❑ Fission favorisée que pour Pu-239 et Pu-241 en n thermiques.
- ❑ Les isotopes pairs du plutonium absorbent les neutrons.
→ **problème pour stabilité de la réaction en chaîne.**
- ❑ Environ 60% d'isotopes impairs et 40% de pairs.
→ **Le plutonium moins adapté après plusieurs cycles d'irradiation.**
- ❑ En n rapides, tous les isotopes du plutonium peuvent fissionner.

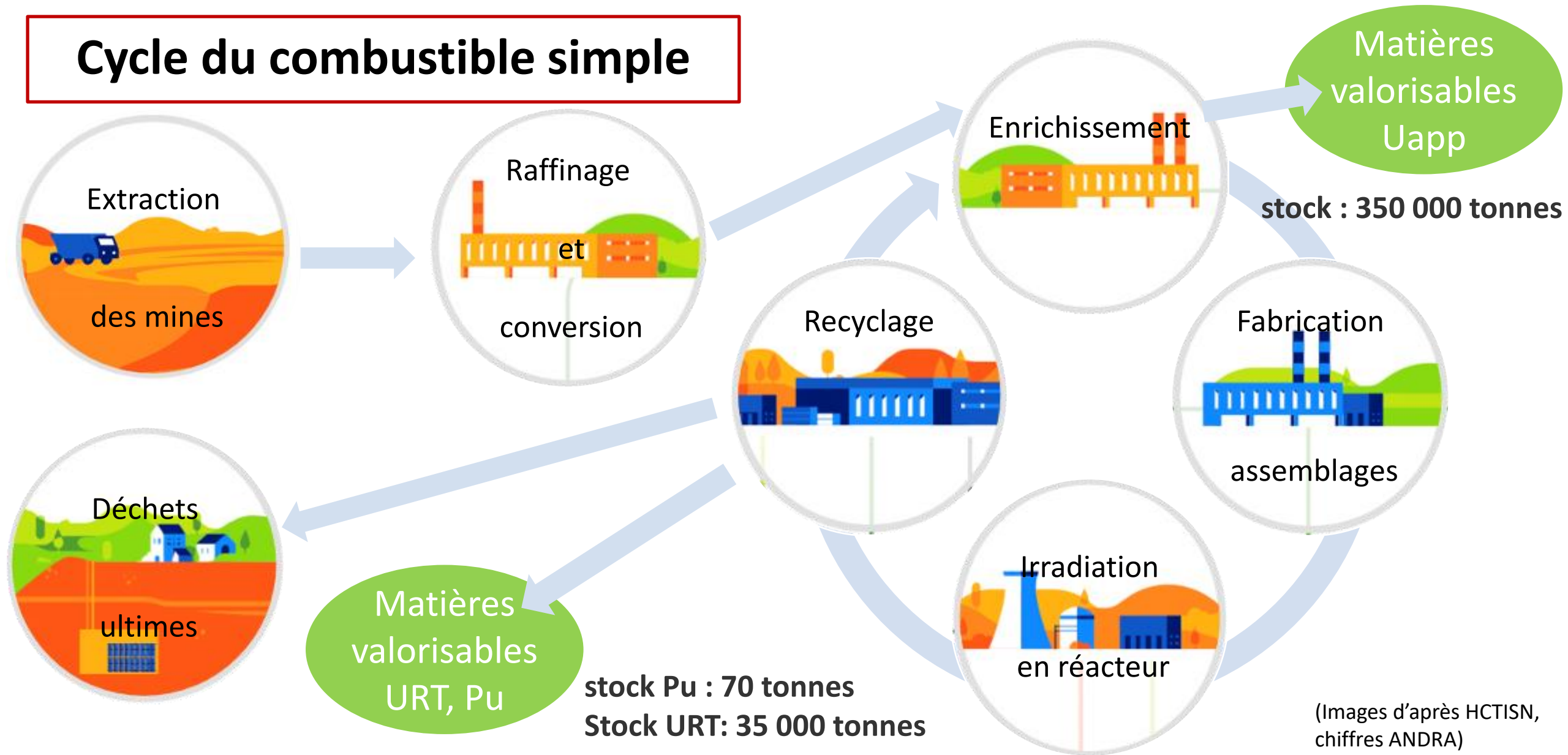
Pourcentage isotopes du plutonium combustible
déchargé à 50 000 MWj/t



Conclusion :

- Surgénération impossible dans les REP en cycle U/Pu.
- Nombre de recyclages du plutonium dans les REP: max 2.
- RNR permettent le multirecyclage du plutonium en sous-, iso- ou surgénération.

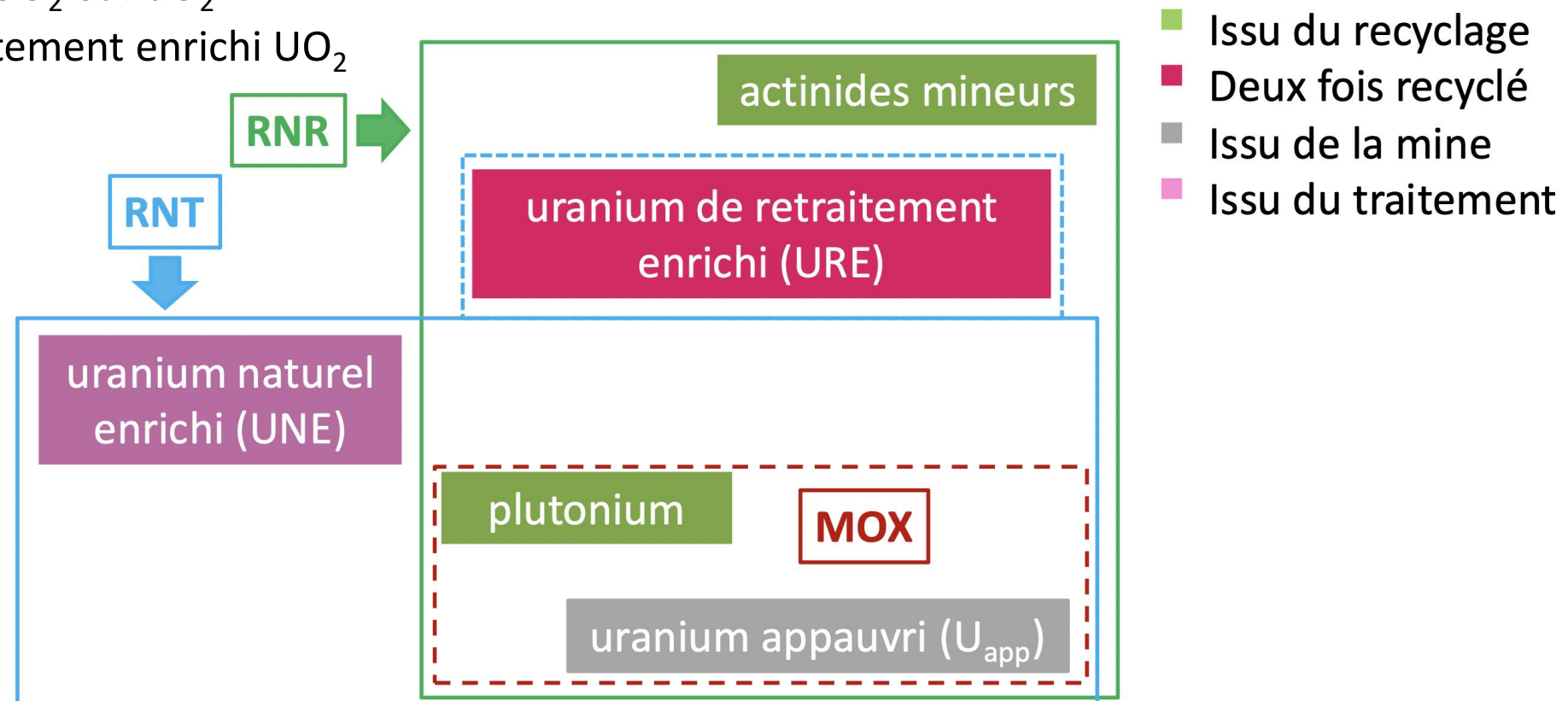
Cycle du combustible simple



Quel combustible pour quel réacteur?

☐ Combustible possible:

- UNE : uranium naturel enrichi UO_2
- MOX : mélange oxydes UO_2 et PuO_2
- URE : uranium de retraitement enrichi UO_2



□ Merci de votre attention.