

# Transmutation des déchets nucléaires

## principes de base avantages et limites

Débat public PNGMDR, Bar le Duc, 20 Juin 2019

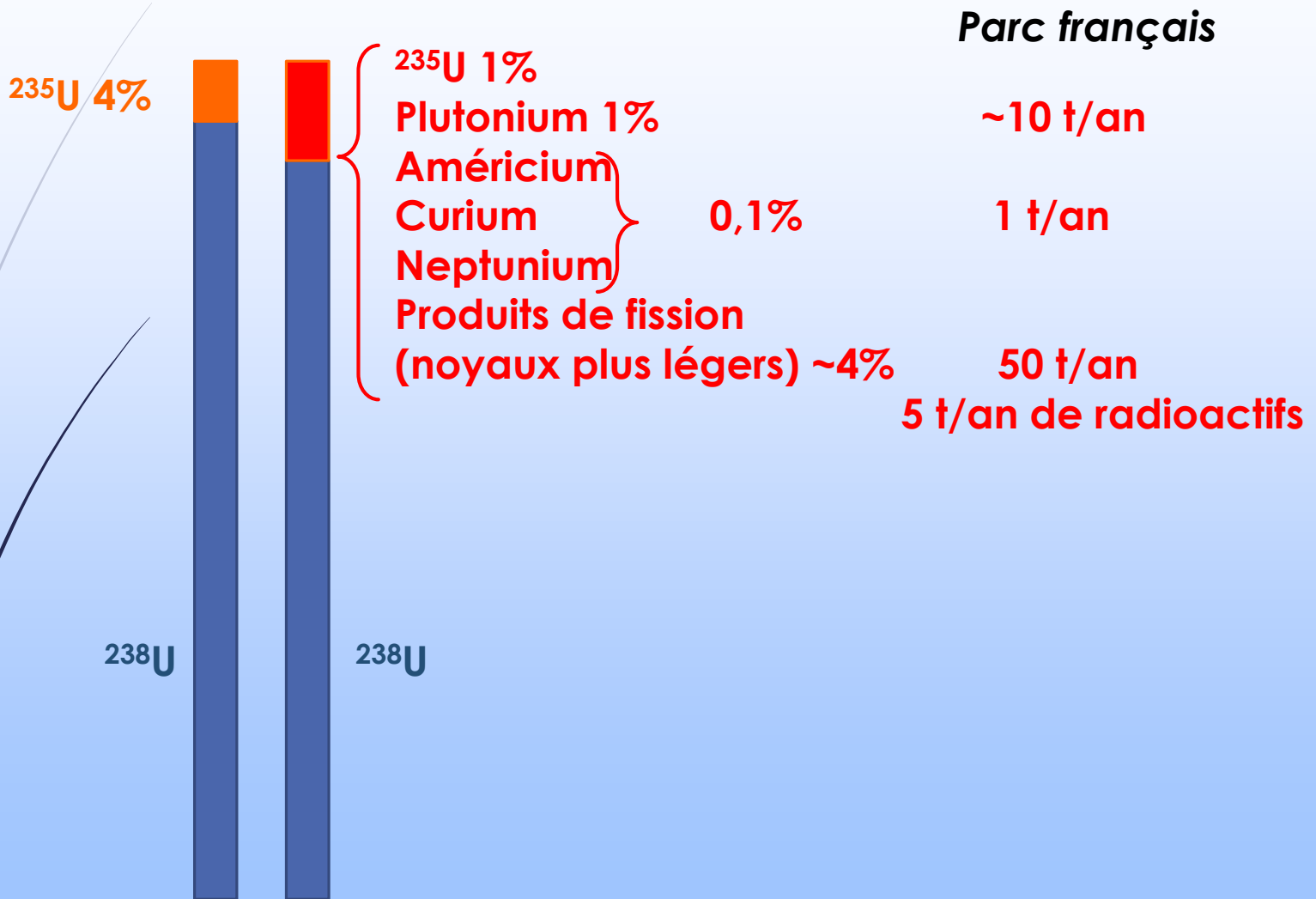
1

S. David, directeur de recherche CNRS/IN2P3

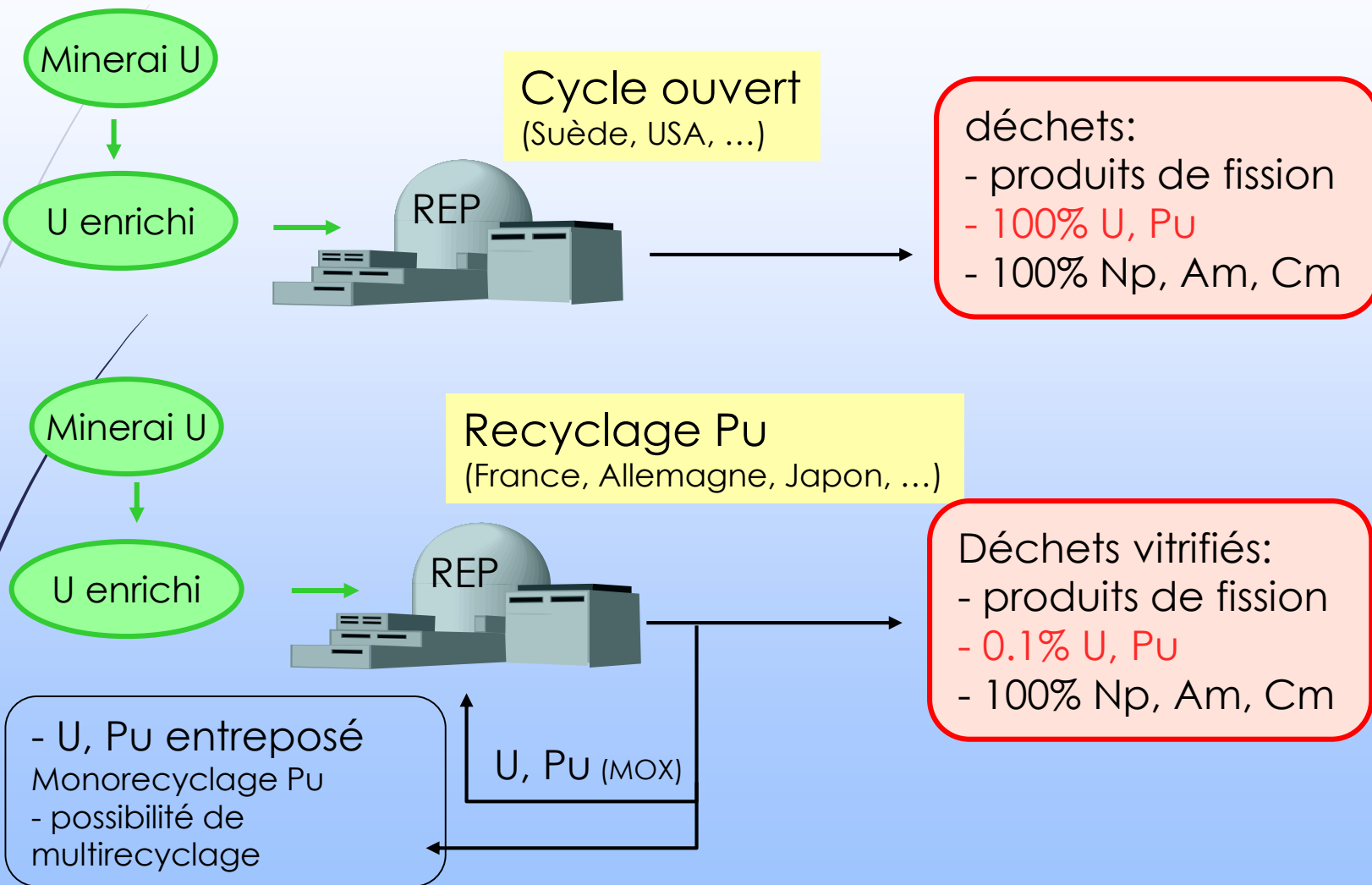
# Rappel sur le combustible utilisé

2

## Ordres de grandeur



# Rappel cycle du combustible simplifié



## Transmutation : quels déchets?

Les déchets dépendent du cycle du combustible envisagé

Le terme « transmutation » concerne les radionucléides pour lesquels aucune valorisation énergétique n'est envisageable à court ou long terme.

Cela suppose implicitement que le Plutonium a trouvé une utilisation : multirecyclage en réacteurs actuels, en réacteurs rapides, etc... *cf atelier Cherbourg.*

La transmutation concerne donc potentiellement :

### **Produits de fission**

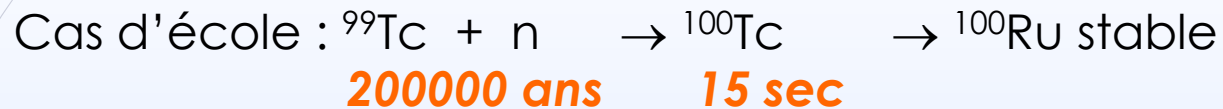
Issus de la fission des noyaux lourds  
Iode, Césium, Technétium, ...

### **Actinides mineurs**

Neptunium, Américium, Curium

# Transmutation des produits de fission

Transmutation = capture neutronique



## Difficultés

Captures parasites possibles, on détruit mais on en crée d'autres noyaux, c'est le cas pour le Césium (135, 137, ...)

Il faut des matériaux qui confinent l'élément de façon sûre pour l'irradiation en réacteur : difficulté pour l'iode par exemple

La transmutation consomme des neutrons, seuls les réacteurs produisent des neutrons de façon rentable énergétiquement. La transmutation peut donc diminuer les « performances neutroniques » d'un réacteur

*En France, les recherches sur la transmutation des produits de fission ne sont plus très actives depuis environ 15 ans*

# Transmutation des actinides mineurs

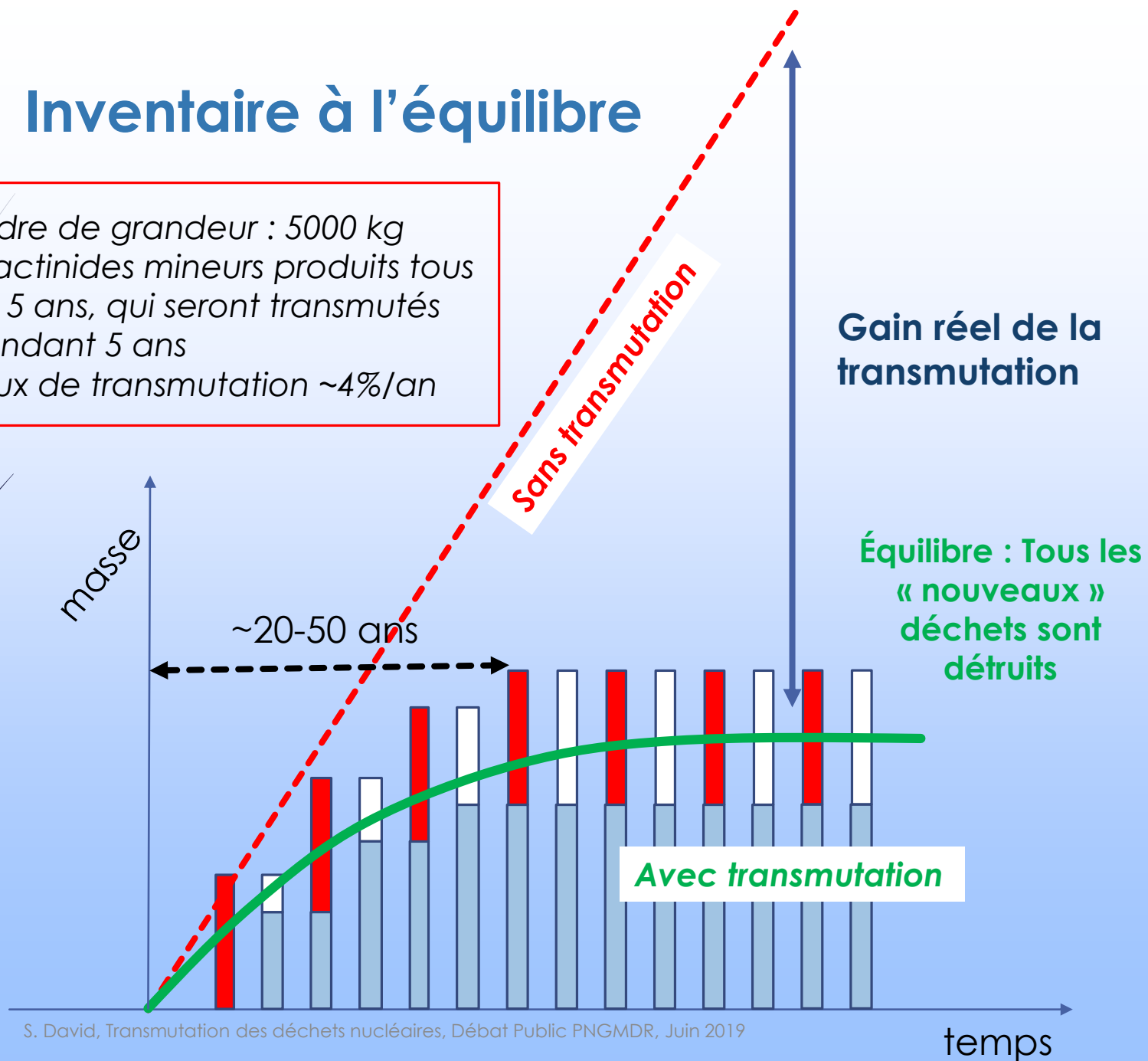
Les actinides mineurs, notamment l'américium, dominent la charge thermique à moyen terme (siècles) des déchets de haute activité.

Transmutation = fission induite par un neutron

En multi-recyclant les actinides mineurs, dont Américium, on les détruits par fission

# Inventaire à l'équilibre

Ordre de grandeur : 5000 kg  
d'actinides mineurs produits tous  
les 5 ans, qui seront transmutés  
pendant 5 ans  
Taux de transmutation  $\sim 4\%/an$



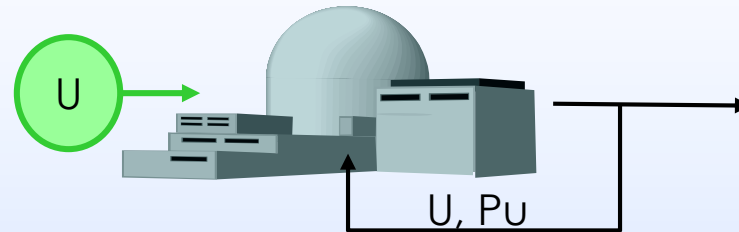
# Stratégies de transmutation

8

Rappel : pour transmuter les actinides mineurs, il faut d'abord que le plutonium soit multirecyclé. Exemple des réacteurs à neutrons rapides

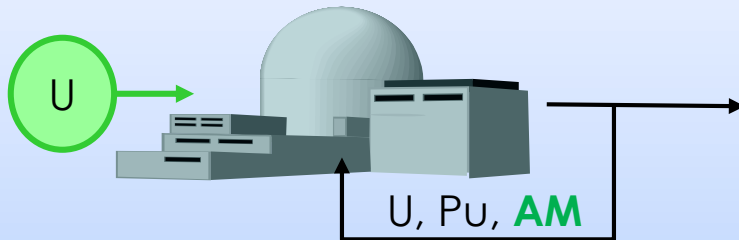
## Déchets annuels

**Sans transmutation**



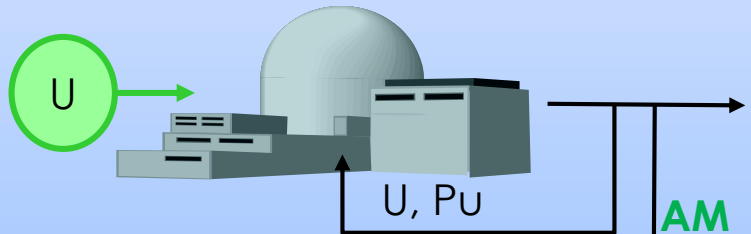
100% Produits de fission  
100% Actinides mineurs  
0,1% U, Pu

**Transmutation homogène**



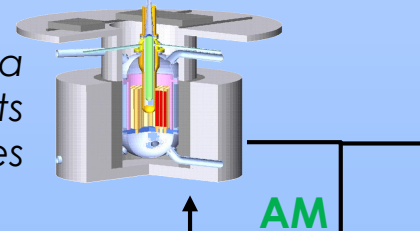
100% Produits de fission  
0,1% Actinides mineurs  
0,1% U, Pu

**Transmutation en double strate**



100% Produits de fission  
0,1% Actinides mineurs  
0,1% U, Pu

Réacteurs dédiés à la transmutation des déchets nucléaires





# Stratégies homogène et double strate

***Le réacteur rapide est un bon candidat pour mettre en œuvre cette transmutation  
Mêmes performances de transmutation globales en homogène ou double strate***

## ***Homogène***

- Les actinides mineurs sont dilués dans tout le parc électrogène
- Très peu d'impact sur le fonctionnement du réacteur
- Peu d'impact sur le comb. et sur le cycle, mais l'ensemble des volumes à traiter/fabriquer est concerné

## ***Double strate***

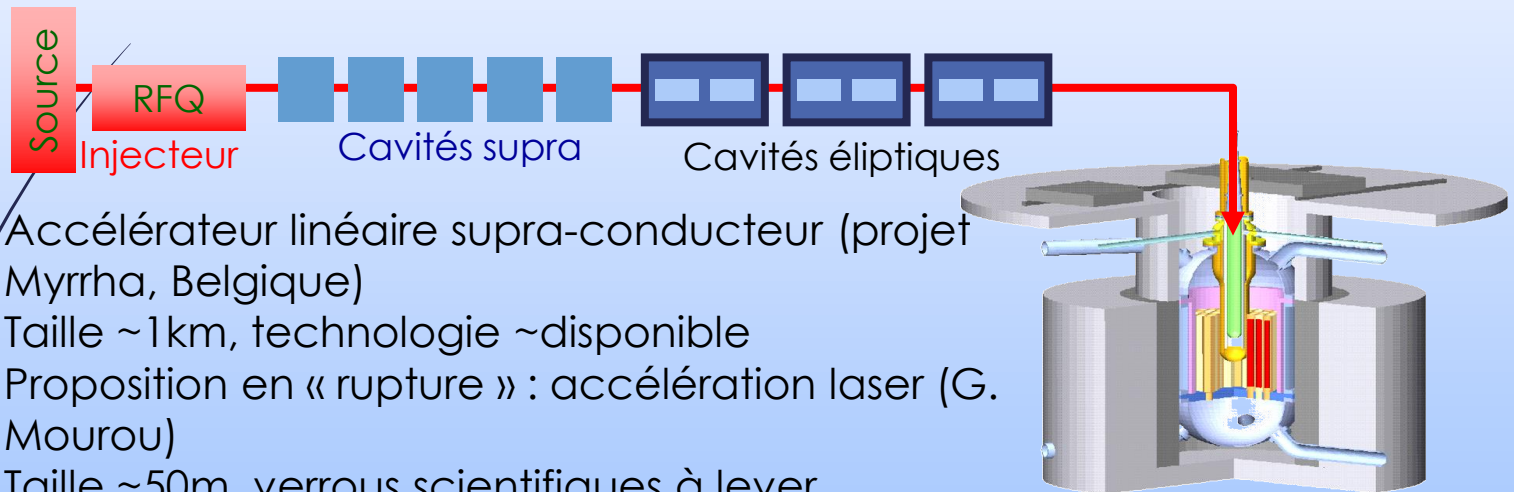
- Les actinides mineurs sont concentrés dans une petite partie du parc (10% de la puissance)
- Impact significatif sur le fonctionnement du réacteur
- Impact significatif sur le comb. et le cycle, mais sur des volumes réduits

## Double strate les réacteurs dédiés à la transmutation

Les combustibles très chargés en actinides mineurs sont de mauvaise qualité neutronique

Nécessité de passer en mode sous-critique

- La réaction en chaîne n'est pas auto-entretenu
- Il est nécessaire de disposer d'une source externe de neutrons



***Pas de changement en termes de performances finales et d'analyse avantages/inconvénient***

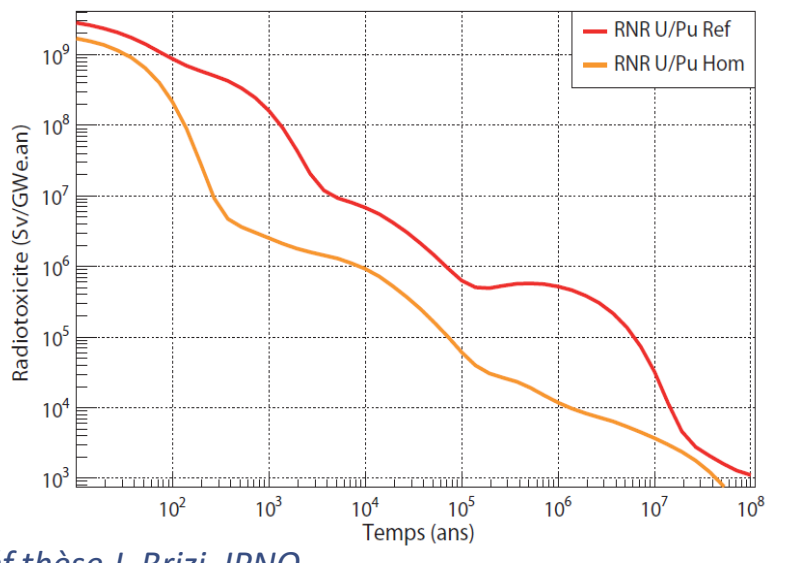
# Discussion avantages/inconvénients

Radiotoxicité des déchets réduites d'un facteur 10 à 100 après 100 ans

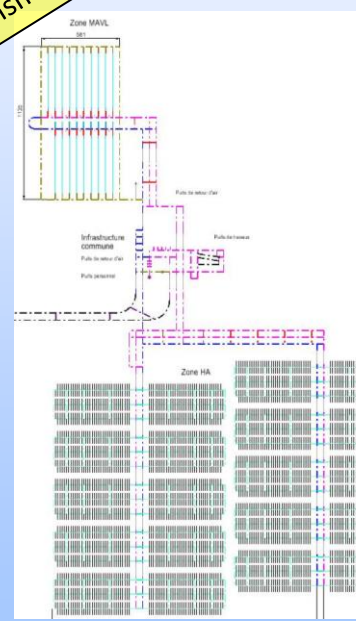
Réduction de la chaleur résiduelle pendant les 1<sup>ers</sup> siècles, et réduction de la taille du stockage

Sans transmutation (70 y)

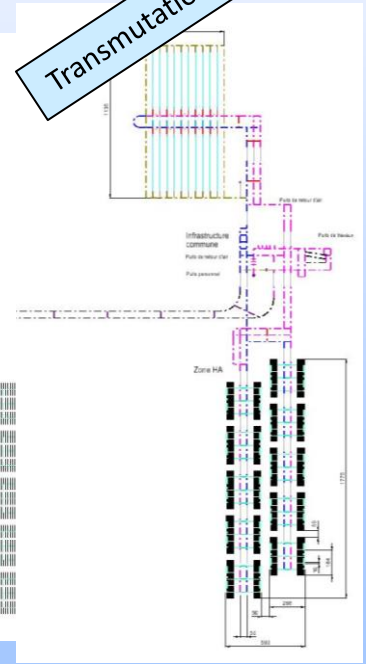
Transmutation AM (120 y)



Réf thèse J. Brizi, IPNO



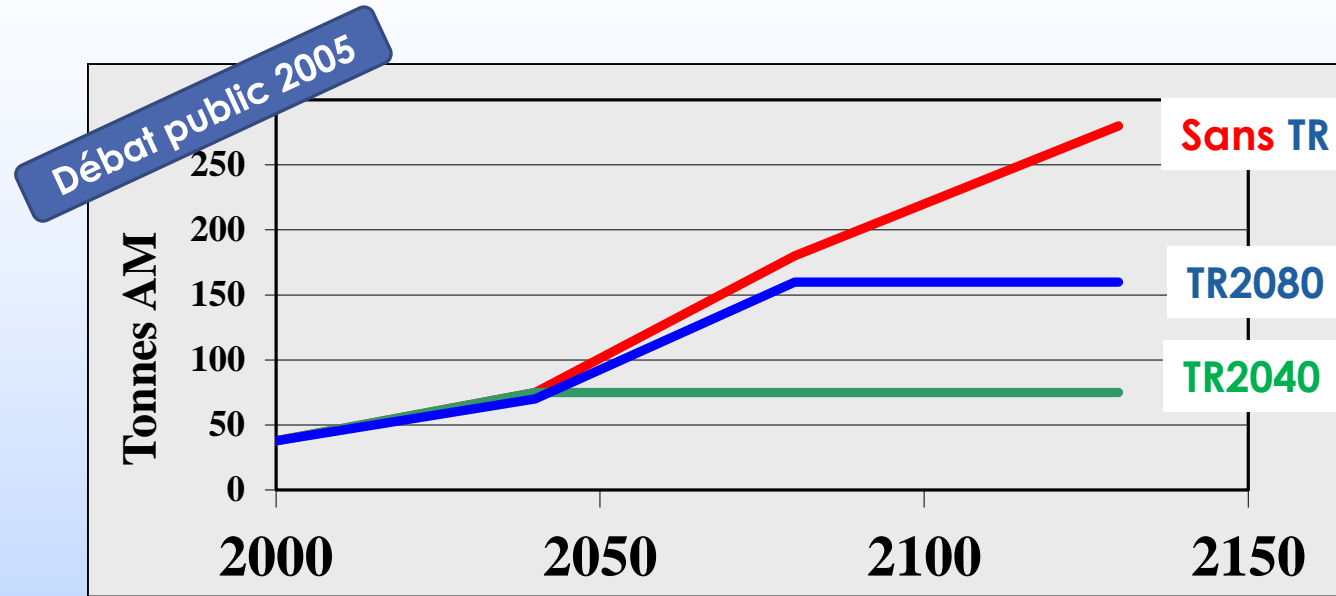
Zone HA 510ha



Zone HA 110 ha

Réf ANDRA

# Discussion avantages/inconvénients



Stratégie de long terme : au moins un siècle pour voir un impact significatif

Effet « Talon » : la vitrification étant considérée comme irréversible, plus on attend, moins l'impact est grand

# Avantages / Inconvénients

13

*Les actinides mineurs compliquent la manipulation des combustibles, du fait de la présence d'émetteurs  $\gamma$  et neutrons.*

*La manipulation / transport de ces matières compliquera la gestion du cycle et les aspects de sûreté seront primordiaux*

*Lors d'un stockage géologique dans l'argile, les actinides sont des noyaux très peu mobiles et ne devraient pas contribuer à la dose à l'exutoire.*

*Cf avis IRSN « la transmutation n'améliore pas la sûreté d'un site de stockage »*

## Conclusion

Des recherches actives depuis ~25 ans (loi 1991)

Les concepts physiques de base de la transmutation des actinides mineurs sont bien connus et démontrés

La faisabilité technique a commencé à être démontrée (combustible notamment)

Des avantages et inconvénients.  
L'arbitrage coûts/bénéfices fait clairement débat

Une stratégie difficile à « décider »

Dans tous les cas, cette stratégie s'inscrit dans la durée, il faut de l'ordre du siècle pour avoir un effet significatif, et ne peut être mise en œuvre qu'après le multi-recyclage du Plutonium, en réacteur rapide ou dans les réacteurs actuels (cf atelier débat public Cherbourg)

Et inversement, plus on attend, plus l'impact est limité à cause du « talon » vitrifié de façon irréversible