

Les réacteurs surgénérateurs : le jackpot du développement durable

Dominique GRENECHE

Conférence SFEN/IdF - Versailles, 5 juin 2025

Les réacteurs nucléaires surgénérateurs

Pourquoi ?

Comment ?

Quand ?



Plaidoyer pour un avenir
énergétique durable et propre

Dominique Grenêche

Avant-propos : **Bernard ACCOYER**

Ancien Président de l'Assemblée nationale, Président de
PNC-France



Préface :

Vincent BERGER

Haut-commissaire à l'énergie atomique



et

Yves BRECHET

membre de l'Académie des sciences

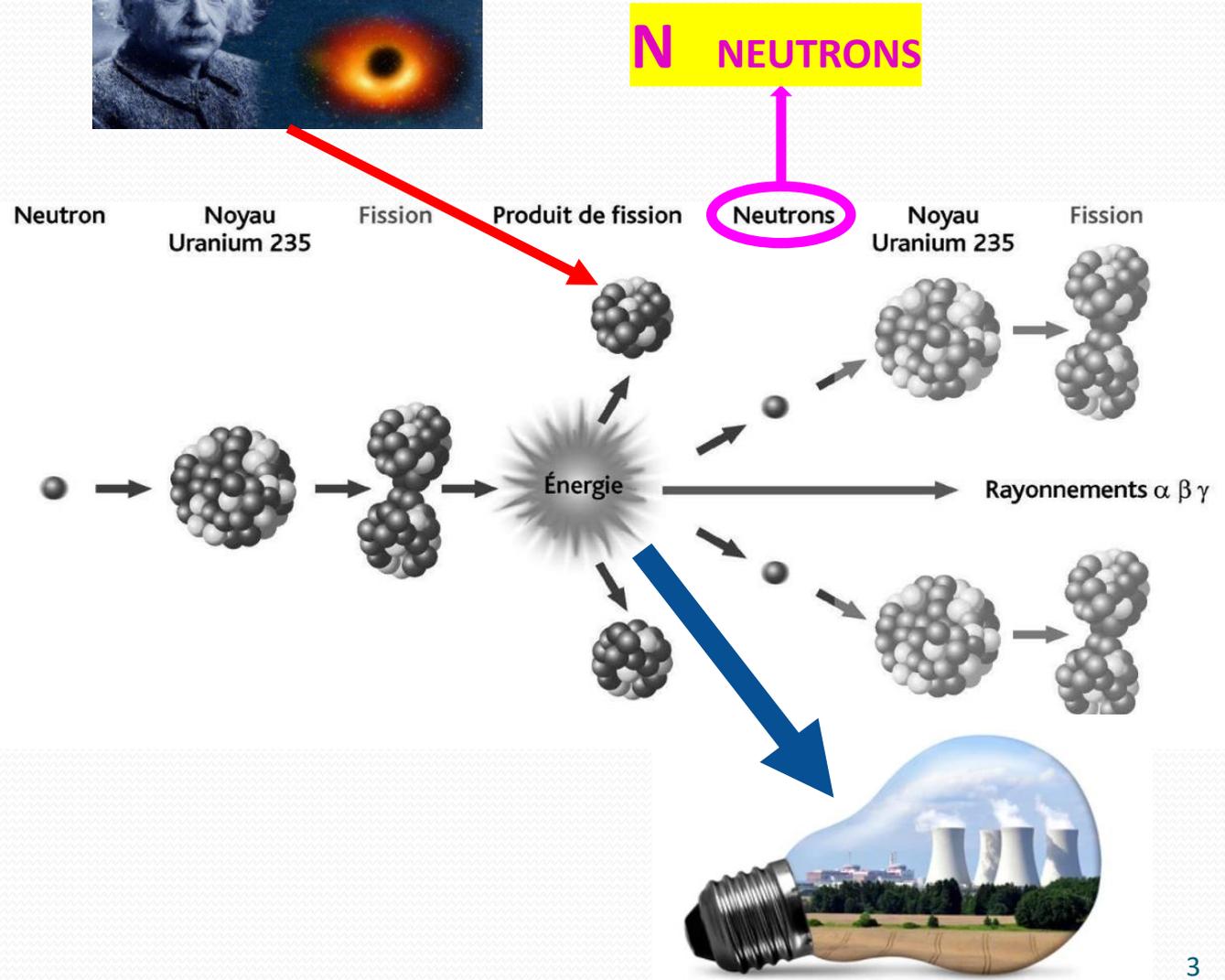
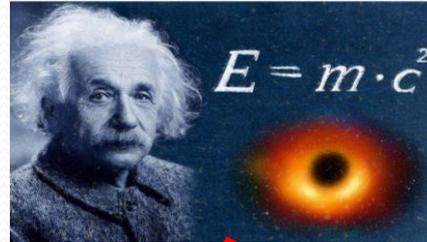


TRADUIT en ANGLAIS

Présenté au congrès annuel d'ANS à Chicago
(15-19 juin)

Uranium naturel : le “carburant” des réacteurs nucléaires

C'est le seul élément de la nature qui contient un **isotope FISSILE : U235**



Uranium naturel : le “carburant” des réacteurs nucléaires



0,71 % de matière FISSILE : U235

99,3 % de matière
FERTILE : U238

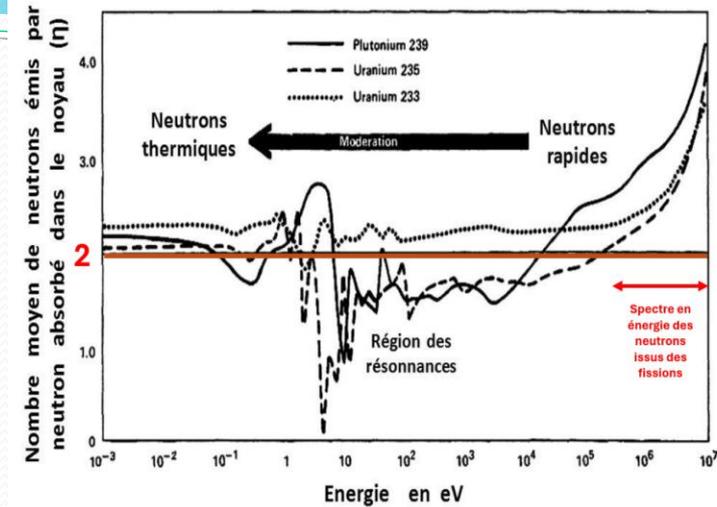
PLUTONIUM

Le SECRET des RNR SURGENERATEURS

1. Le nombre moyen de neutrons **N** produits par une fission du plutonium est nettement plus grand que celui produit par l'U235.

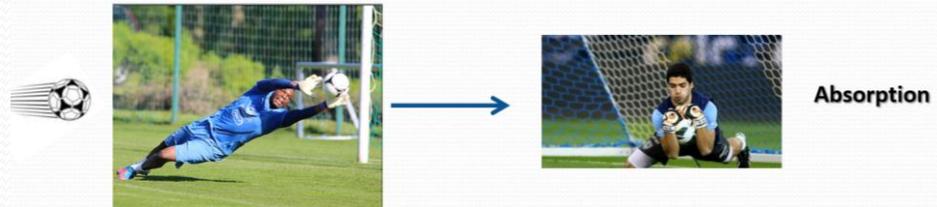
2. Le nombre de neutrons **perdus par capture** dans le plutonium est moindre.

Facteur de reproduction
 $\eta = N \times$
probabilité de fission :
 $Pu \gg U235$

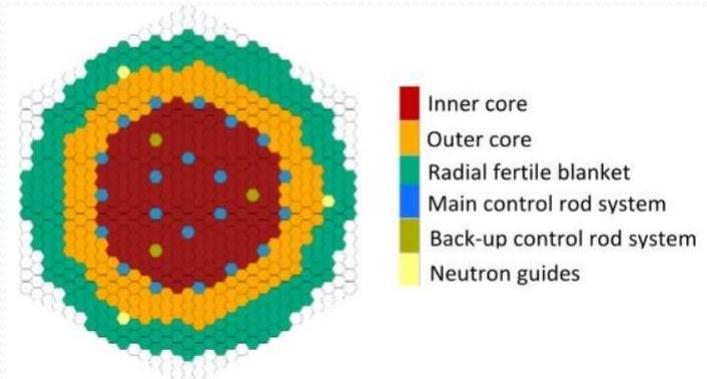


3. Les **pertes de neutrons par captures stériles** sont également **moindres** avec des neutrons rapides, ce qui est d'ailleurs une règle générale (image du gardien de but).

Image du gardien de but : plus le ballon va lentement plus le goal a des chances de l'attraper

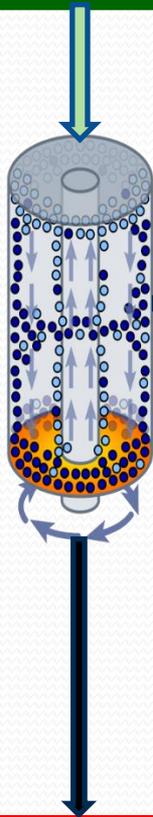


4. Les neutrons qui s'échappent du cœur servent à fabriquer du plutonium grâce aux **couvertures en U238 axiales ET radiales** (uranium appauvri)

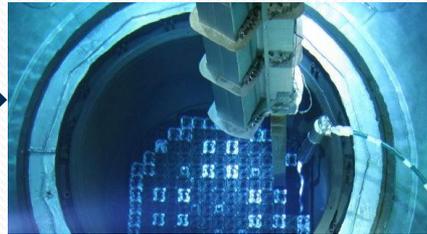


Uranium naturel : 0,711% U235

Enrichissement
(centrifugeuses)



Uranium enrichi :
4% U235



Uranium appauvri
(0.25% U235)

MATIERES
RECYCLABLES

DECHETS

1 combustible eau légère =
500 kg d'uranium
avant irradiation en réacteur

Après irradiation : *

Uranium
475 à 480 kg
95 à 96%

↳ RECYCLAGE

Plutonium
5 kg 1%

↳ RECYCLAGE

Produits de fission (PF)
15 à 20 kg
3 à 5%

↳ RESIDUS ULTIMES

Les “surgénérateurs” qui fabriquent plus de combustible qu’ils n’en consomment pour faire de l’électricité ¹ !

Avec les réacteurs actuels à **neutrons lents**, on n’utilise que **0,5%** du potentiel énergétique de l’uranium naturel

Heureusement, il existe un moyen d’en utiliser 100 %, c’est-à-dire 200 fois mieux :

Les réacteurs à neutrons rapides (RNR)

Ils utilisent uniquement du **PLUTONIUM** comme matière fissile, et ils en fabriquent en quantités **SUPERIEURES** à celles qu’ils **CONSOMMENT** pendant leur fonctionnement



Analogie avec une voiture surgénératrice d'essence

Elle consomme 10 litres d'essence au 100 km

Au départ, 10 litres
dans son réservoir

...à l'arrivée
.....12 litres !

...

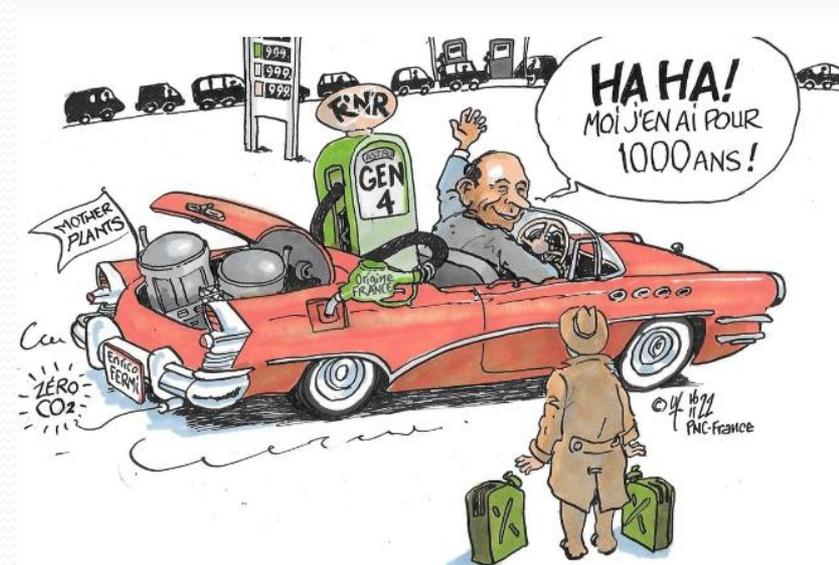


...100 km...

10L



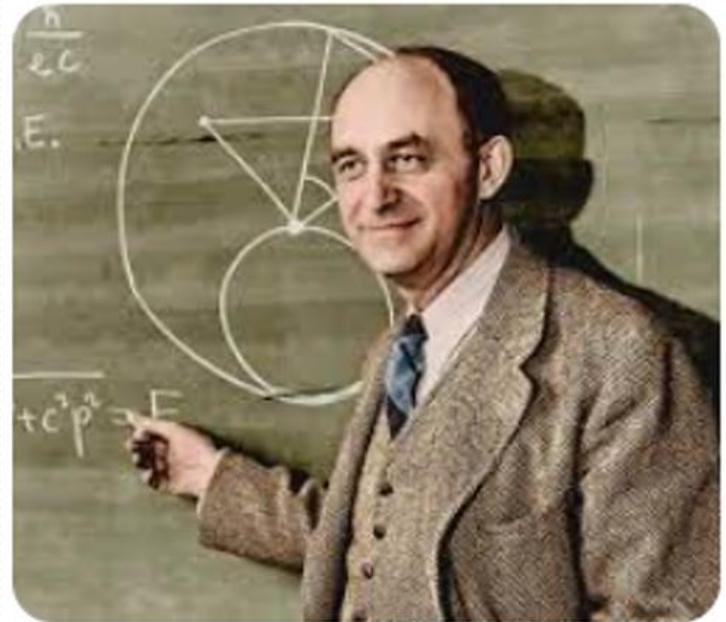
12L !



26 AVRIL 1944



Enrico FERMI



***Il déclara en 1945 :
“The country which first develops a breeder reactor will
have a great competitive advantage in atomic energy”***

Août
1951

Idaho

Réacteur surgénérateur expérimental-1



Uranium : pour combien de temps ?

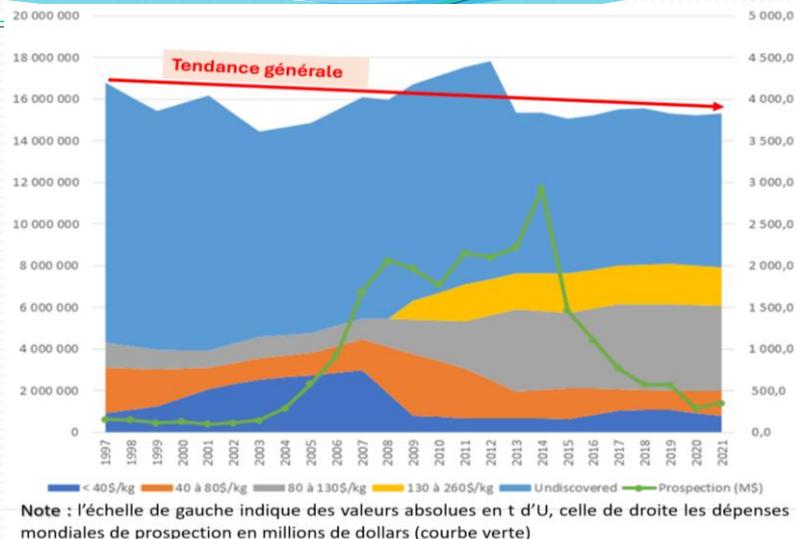
Ressources (< 260 \$/kg U) en millions de tonnes

- Identifiées (RI): 8 MT
- « raisonnablement assurées » (RRA) : 5 MT
- Spéculatives : 3 MT

Consommation en milliers de tonnes :

- En 2024 : 60 000 mt
- En 2050 : doublement (= 2 % par an) : cf. WEC

RESULTAT : épuisement des RI + RRA vers 2100



Toutes les estimations (y compris l'AIEA) montrent que l'on s'achemine inéluctablement vers **une raréfaction des ressources conventionnelles identifiées en uranium naturel économiquement exploitables au tournant de ce siècle**

Toutes les analyses montrent **qu'il n'existe aucun moyen crédible susceptible de bouleverser cette échéance**

IL N'EXISTE PAS D'URANIUM DE SCHISTE !

BIENTÔT L'URANIUM A PRIX D'OR ?

Prix spot de l'URANIUM :
Multiplication par 2,8 en 5 ans

celui de l'OR a été multiplié par 1,9



<https://tradingeconomics.com/commodity/uranium>

Retour d'expérience sur les RNR

MONDE

26 RNR (dont 14 RNR de puissance) **ont été construits et exploités** dans 8 pays.

Tous refroidis au sodium – Expérience cumulée de fonctionnement de 500 réacteurs-ans

FRANCE

- Réacteur expérimental **RAPSODIE** (inauguré en novembre 1967 par le Général de Gaulle).
- Premier réacteur électrogène **PHENIX**. Il a démarré dès 1973, et il a fonctionné pendant 36 ans. Il a permis de **démontrer expérimentalement le processus de surgénération**, en recyclant plus de 3 tonnes de plutonium.
- Le second, **SUPERPHENIX**, fut à l'époque, le plus puissant réacteur nucléaire au monde (1200 MWe). Il a été mis en service en 1984 mais Il a été **foudroyé en pleine jeunesse** par l'acharnement d'une poignée de djihadistes antinucléaires.

Le développement industriel des RNR : il dépend

A - Du **temps de déploiement d'une nouvelle filière** de réacteurs qui sont liées aux capacités industrielles de construction des RNR.

B - Des **capacités des installations du cycle du combustible**, essentiellement pour la fabrication du combustible MOX de RNR, et pour le retraitement des combustibles RNR usés, mais aussi pour celui des combustibles REP usés (UO₂ et MOX)

C - De la **DISPONIBILITÉ du PLUTONIUM** (Pu) pour alimenter les RNR (environ 15 tonnes par GWe pour un RNR, dont la moitié est immobilisée dans le cycle) qui dépend :

- Des quantités de Pu séparés entreposées (45 tonnes + cœur neuf SPX = 7 t.)
- Du flux annuel de Pu issu des combustibles usés du parc existant (10 t actuellement)
- De l'excès éventuel de Pu généré par les RNR en fonctionnement ($GR > 1$)

Temps minimum de déploiement d'un parc complet de RNR : 70 à 80 ANS

Différer à nouveau la relance des d'un vigoureux programme de développement des RNR, ferait courir le risque de perdre tous les bénéfices de la stratégie d'anticipation suivie jusqu'alors, qu'il s'agisse du maintien des compétences ou de la préservation des stocks de matières valorisables (combustibles MOX usés et uranium appauvri).

la France a la chance de bénéficier des meilleurs atouts au monde pour **lancer au plus vite** un tel programme

- **Grande maîtrise de cette technologie** depuis plus de 50 ans programme passé de R&D
- **Savoir-faire industriel inégalé sur le traitement de combustibles usés et le recyclage du plutonium et testé à une échelle pilote pendant 25 ans pour le RNR Phénix**
- De détenir un **stock important de plutonium séparé** (= 3 ou 4 RNR)
- De posséder sur son territoire un **énorme stock d'uranium appauvri : 350 000 TONNES.**
= « trésor en sommeil lui permettra à long terme de **s'affranchir totalement des importations d'uranium naturel**

A terme (fin du siècle) :
SOUVERAINETÉ ÉNERGÉTIQUE TOTALE

En guise de **CONCLUSION**

Général Mc ARTHUR

Les batailles perdues se résument en deux mots ...

TROP TARD