

DE LA RECHERCHE À L'INDUSTRIE

cea



[www.cea.fr](http://www.cea.fr)

# GOSPODARKA WYPALONYM PALIWEM I ODPADAMI PROMIENIOTWÓRCZYMI:

---

## WYZWANIA I ROZWIĄZANIA STAN OBECNY I PERSPEKTWY

**Dr Hervé BERNARD**

**Zastępca Dyrektora Generalnego**

*Komisariat ds. Energii Atomowej i Alternatywnych Źródeł Energii (CEA)*



Posiedzenie Komisji Gospodarki Narodowej Senatu RP, 4 czerwca  
2013 r.

- ❑ Przypomnienie
- ❑ Wybrane dane liczbowe
- ❑ Gospodarki odpadami - stan obecny
- ❑ Wypalone paliwo i jego gospodarka – stan obecny
- ❑ Perspektywy gospodarki odpadami promieniotwórczymi: zmienić skalę, by uzyskać perspektywę czasową, którą łatwiej zaakceptować z punktu widzenia życia ludzkiego.

- ❑ W przyrodzie niektóre **jądra atomów** są **niestabilne**: noszą nazwę **radioizotopów**.
- ❑ Radioizotopy ulegają samorzutnej przemianie, w wyniku której powstają inne jądra atomów, promieniotwórcze lub stabilne: **ulegają samorzutnemu i przypadkowemu rozpadowi**.

**Aktywność** próbki promieniotwórczej mierzy się w bekerelach (Bq):

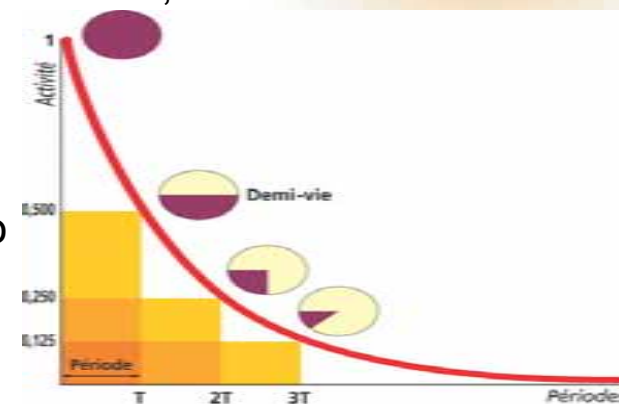
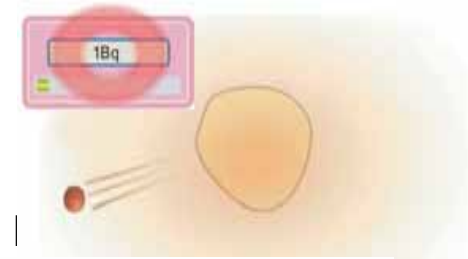
1 Bq = 1 rozpad na sekundę

Przykładowa promieniotwórczość naturalna :

Człowiek: ~ 0,1 Bq/g - granit: ~ 1Bq/g - ziemniak: ~0,15

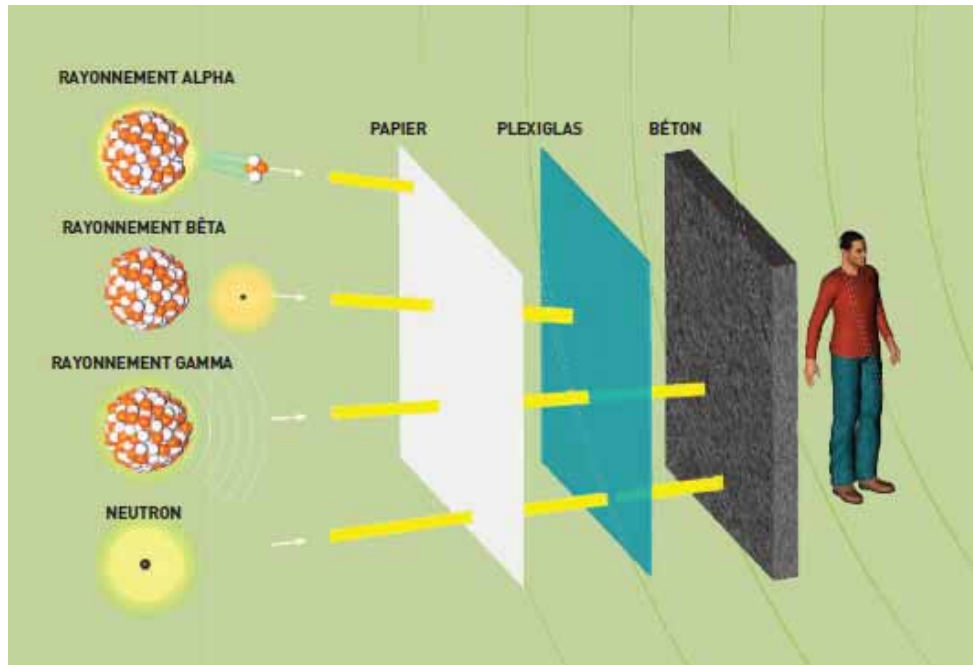
- ❑ **Aktywność** próbki promieniotwórczej **maleje w miarę upływu czasu**:

Szybkość, z jaką maleje aktywność próbki, mierzy się za pomocą okresu połowicznego rozpadu: jest to czas potrzebny, by liczba radioizotopów w próbce promieniotwórczej spadła o połowę.



Décroissance de l'activité d'une substance radioactive  
Le temps mis par la moitié des noyaux de la substance pour se désintégrer est appelée période radioactive ou demi-vie

- ❑ Rozpadowi **radioizotopów** towarzyszy **emisja różnych, mniej lub bardziej szkodliwych rodzajów promieniowania.**



- **Przed promieniotwórczością chroni nas odległość, stosowanie osłon, ograniczenie czasu ekspozycji i upływ czasu potrzebny do obniżenia aktywności.**

## Co to jest odpad radioaktywny?

**Opadem radioaktywnym jest wszelka substancja radioaktywna, której późniejsze wykorzystanie nie jest przewidziane lub planowane.**

## Odpady radioaktywne różnią się:

- stanem skupienia i składem chemicznym
- **aktywnością oraz okresem połowicznego rozpadu**
- objętością

<b>HA</b>	<b>Odpady wysokoaktywne</b> Aktywność ~ kilka miliardów Bq* / g	<b>Pochodzą głównie z wypalonego paliwa po obróbce</b>
<b>MA-VL</b>	<b>Odpady średnioaktywne długożyciowe</b> - Aktywność: ~ milion Bq / g - Okres połowicznego rozpadu > 31 la	<b>Pochodzą w większości z obróbki wypalonego paliwa</b>
<b>FA-VL</b>	<b>Odpady niskoaktywne długożyciowe</b> - Aktywność < kilkaset tysięcy Bq / g - Okres połowicznego rozpadu > 31 lat	<b>Głównie grafit i odpady radonośne</b>
<b>FMA-VC</b>	<b>Odpady niskoaktywne krótkożyciowe</b> - Aktywność < miliona Bq / g - Okres połowicznego rozpadu < 31 lat	<b>Z różnych źródeł</b>
<b>TFA</b>	<b>Odpady bardzo nisko aktywne</b> Aktywność < sto Bq / g	<b>Z różnych źródeł</b>



\* 1 Bq = 1 rozpad na sekundę

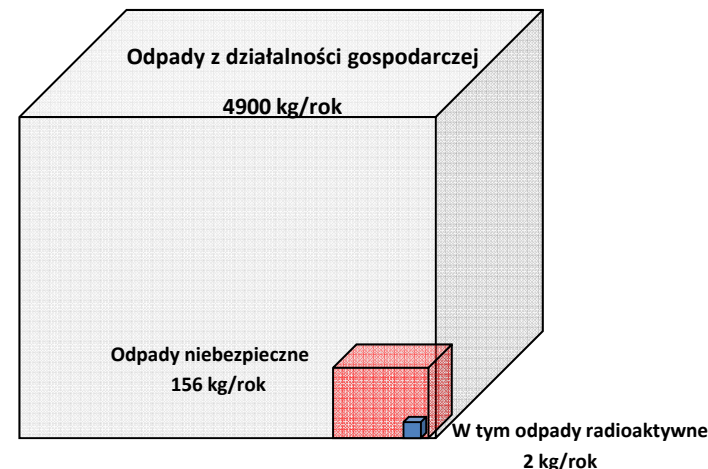
## ZESTAWIENIE ODPADÓW WYPRODUKOWANYCH WE FRANCJI : 2010 r.

### Ilość / objętość odpadów radioaktywnych

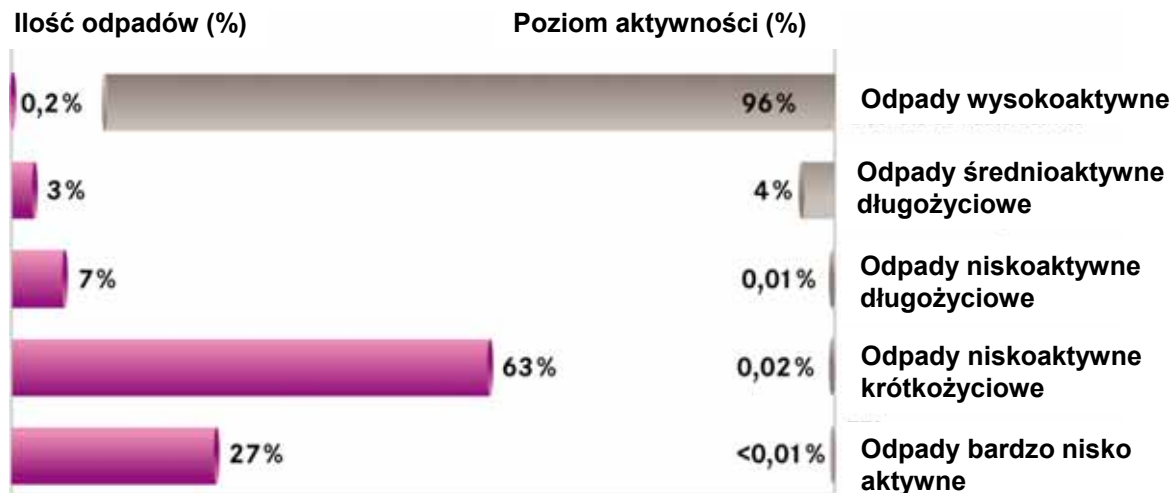
Rodzaj	Objętość na koniec 2010 r. (równowartość liczby m3 po kondycjonowaniu)
HA	2 700
MA-VL	40 000
FA-VL	87 000
FMA-VC	830 000
TFA	360 000
SUMA	~ 1 320 000

Źródło: ANDRA

### Odpady z działalności gospodarczej we Francji (w kg/rok na 1 mieszkańca)

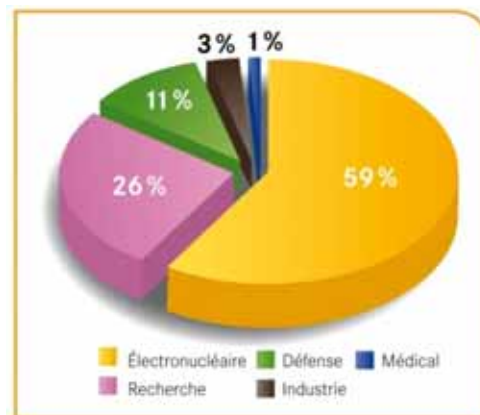


### Podział odpadów radioaktywnych wg ilości i poziomu aktywności



Źródło: ANDRA

➤ Produkcja odpadów radioaktywnych w podziale na sektory gospodarki



Źródło: ANDRA

➤ Odpady produkowane obecnie w średnim reaktorze (wybrane dane liczbowe):

➤ Odpady **wytwarzane przez pracujący reaktor:**

**150 m<sup>3</sup> na reaktor / rok** - 2/3 nisko i średnioaktywne krótkożyciowe (FMA-VC)  
1/3 bardzo niskoaktywne (TFA)

➤ Odpady z przerobu **wypalonego paliwa:**

**Odpady wysokoaktywne (HA:~2,5m<sup>3</sup>) i średnioaktywne długożyciowe (HA-VL :~3 m<sup>3</sup>)**

➤ Odpady z **rozbiórki** :

**18 000 m<sup>3</sup> na reaktor (średnio)** / wszystkie rodzaje odpadów, w większości krótkożyciowe

P.R. (20 kg)  
(4%)

**Odpady**

A.M. (0.5 kg)  
(0.1%)

Pu (5 kg)  
(1%)

**Przetwarzanie**

U (475kg)  
(95%)

500 kg uranu  
przed użyciem

➤ **Gospodarka wypalonym paliwem to główne wyzwanie**

Wspólny cel i główne wyzwanie w celu uzyskania akceptacji społecznej:

Odizolować odpady radioaktywne od człowieka i otoczenia do czasu, gdy ich aktywność spadnie i nie będzie już stanowił zagrożenia.

Różne działania z uwagi na różnorodność odpadów:

Poszczególne kategorie odpadów poddawane są wielu operacjom, głównie:

- **Selekcja**: podział odpadów wg ich właściwości: okres połowicznego rozpadu, aktywność, stan skupienia, skład chemiczny, objętość.
- **Przetwarzanie i kondycjonowanie**: przetwarzanie odpadów zależnie od ich rodzaju (spalanie, stapianie, prasowanie, zeszkliwanie itd.) Odpady są następnie kondycjonowane w pojemnikach, które tworzą « pakiety ».
- **Przechowywanie i składowanie**: Pakiety są następnie przewożone do miejsc, gdzie będą:
  - przechowywane: przez określony czas
  - lub
  - składowane: nie przewiduje się ich wydobywania

➤ **Niezbędne są przepisy gwarantujące krótko i długoterminową ochronę ludzi i środowiska.**



**Odpady zeszkliwione**  
- Przekrój- (180 l)



**CEDRA**

Działa od maja 2006 r.  
- przechowanie odpadów średnioaktyw.  
długozyciowych przez 50 lat



## RÓŻNE RODZAJE SKŁADOWISK



- Składowisko w głębokich warstwach geologicznych dla odpadów z obiektów jądrowych
  - wyprodukowano już 30% odpadów wysokoaktywnych (HA) i 60% odpadów średnioaktywnych długożyciowych (MA-VL) przeznaczonych dla Cigéo
- Szacunkowa pojemność składowiska:
  - 10 000 m<sup>3</sup> odpadów wysokoaktywnych (HA)
  - 70 000 m<sup>3</sup> odpadów średnioaktywnych długożyciowych (MA-VL)
- Inwestycja składa się z:
  - 2 obiektów na powierzchni:
    - strefa na powierzchni: odbiór, kontrola i przygotowanie pakietów odpadów
    - zaplecze do realizacji wykopów i robót przy budowie obiektów podziemnych
  - 1 obiektu pod ziemią (w warstwie ilastej na głębokości 500 m)
- Obiekt **jest budowany stopniowo** w miarę potrzeb
- Obiekt zaprojektowano tak, by zapewnić odwracalność przez co najmniej 100 lat



## ■ Debata publiczna

- 2013: **14 spotkań w okresie od maja do października 2013 r.**

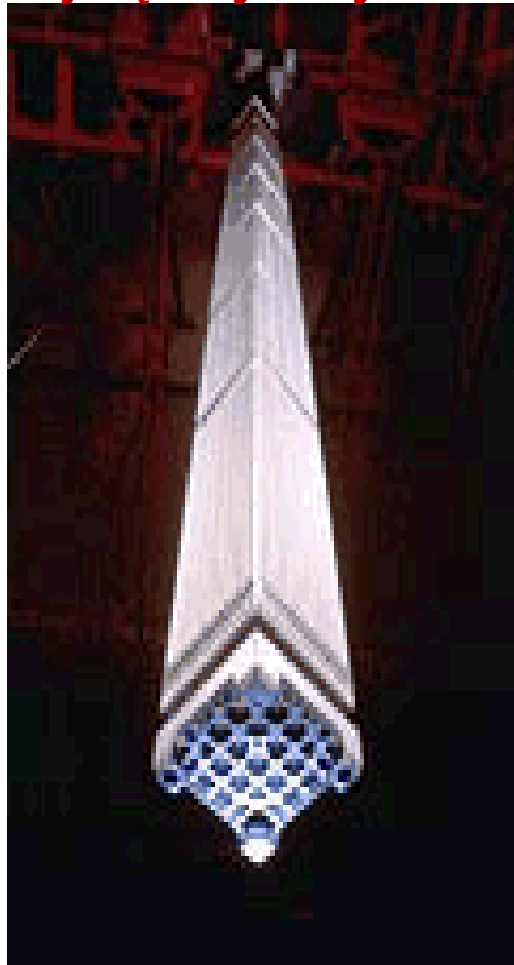
## ■ Proces wydania pozwolenia

- 2014-2015: **Przygotowanie wniosku o pozwolenie na budowę**
- 2015: **Złożenie wniosku o pozwolenie na budowę**
- 2015-2018: **Ocena wniosku o pozwolenie na budowę**

## ■ Budowa i rozpoczęcie eksploatacji (wymagające zezwolenia)

- 2019: **Rozpoczęcie budowy**
- 2025: **Uruchomienie Cigéo** (wymaga zgody Urzędu Dozoru Jądrowego [Autorité de sûreté nucléaire])
- 2025-2030 : **Rozruch**
- 2030 : **Stopniowa rozbudowa Cigéo** i regularne badania w zakresie bezpieczeństwa (co 10 lat).

Wypalone paliwo jest głównym źródłem wysokoaktywnych i średnioaktywnych odpadów długożyciowych: gospodarka nimi jest największym wyzwaniem



### Strategia francuska:

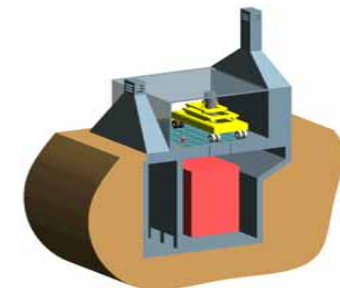
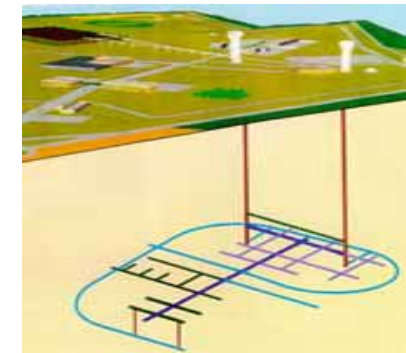
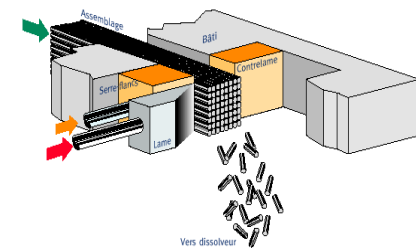
- przetwarzanie w La Hague
- **recykling plutonu** : paliwo MOX i ponownie wzbogacony uran w reaktorach EDF
- składowanie odpadów ostatecznych w strukturach geologicznych

### **Bezpośrednie składowanie geologiczne**

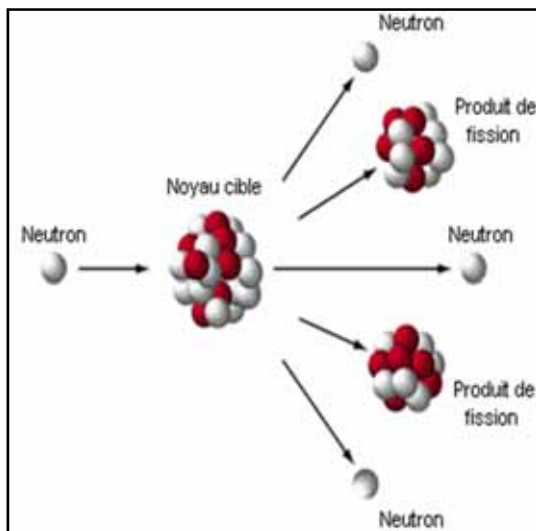
- Finlandia 2012- - -2020
- Szwecja 2015- - -2025

**Składowanie tymczasowe i przetwarzanie odroczone (USA,...)?**

### Principe du cisailage





- Recykling wypalonego paliwa umożliwia, dzięki rozszczepieniu, wytwarzanie energii
  - **Oszczędzanie zasobów**
- Recykling umożliwia, dzięki rozszczepieniu, transmutację izotopów radiokatywnych długożyciowych i uzyskanie produktów rozszczepienia, które są w większości krótkożyciowe
  - **Zmniejszenie ilości odpadów przeznaczonych do przetwarzania w długim horyzoncie czasowym**



**Rozszczepienie** prowadzi do podziału (**transmutacji**) jądra (**izotopu**) na dwa mniejsze fragmenty zwane **produktami rozszczepienia**

W obecnych reaktorach energia jest produkowana w wyniku rozszczepienia jądra uranu  $U^{235}$

-  Przetwarzanie w obecnych reaktorach
-  Przetwarzanie w reaktorach na neutrony prędkie

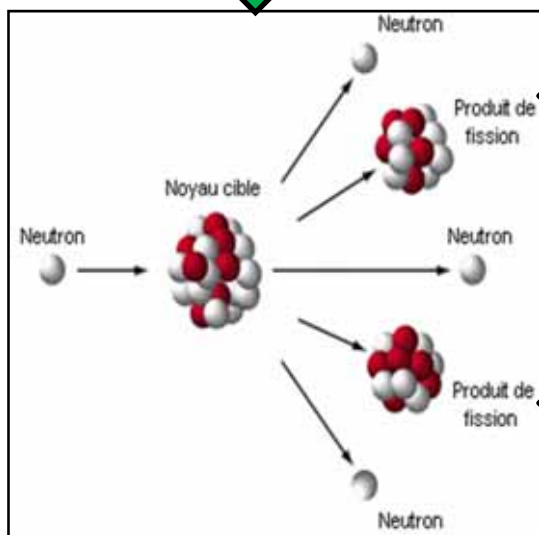
## Izotopy powstające w obecnych reaktorach

### Pluton (Pu)\*

Większość to izotopy długożyciowe

W obecnych reaktorach transmutacji ulegają niektóre izotopy (izotopy ulegające rozszczepieniu)

W reaktorach prędkich transmutacji ulegają wszystkie izotopy



### Aktynowce mniejsze (AM)\*

W większości długożyciowe

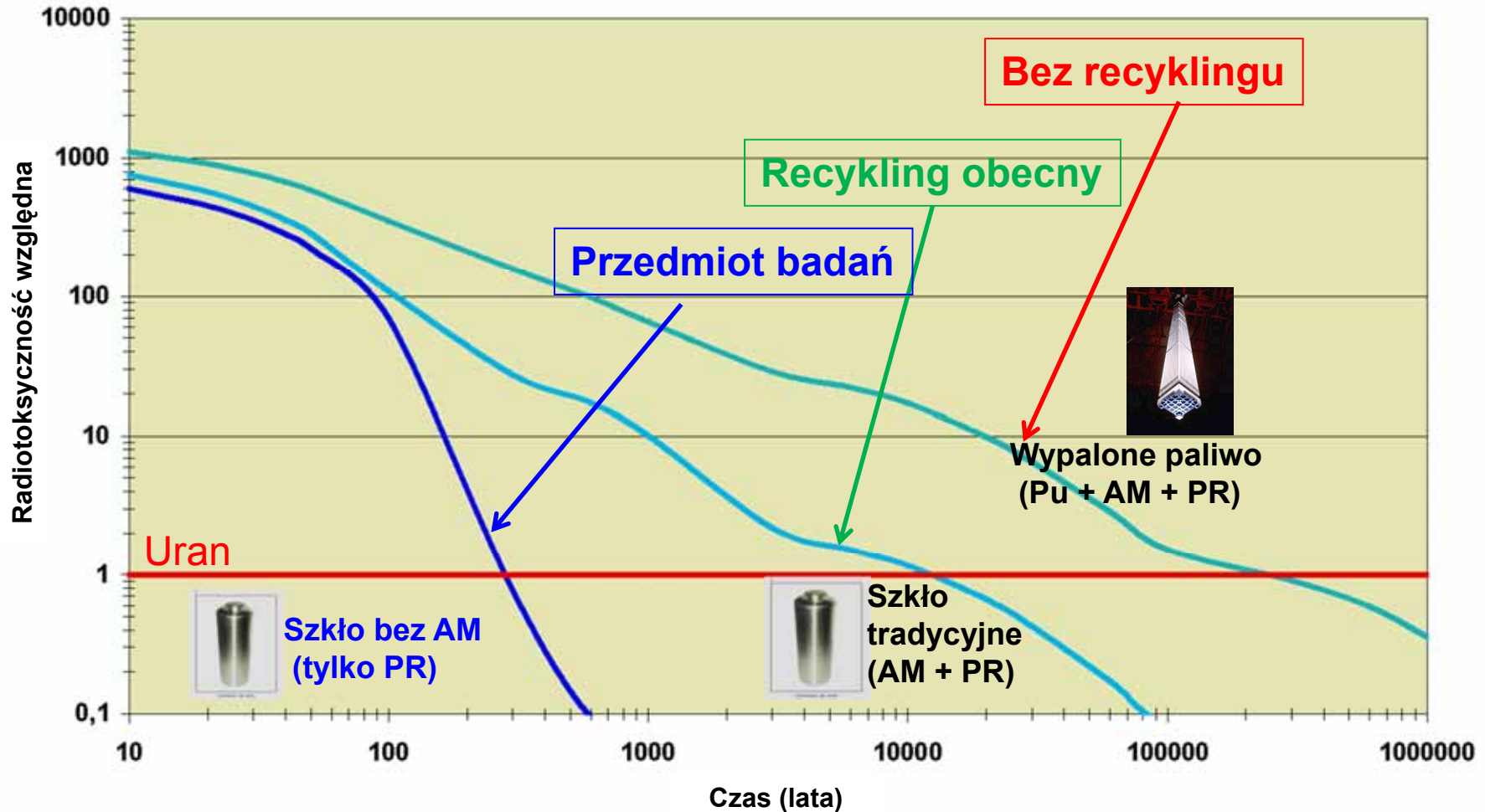
Ulegają transmutacji w reaktorach prędkich

### Produkty rozszczepienia (P.R.)

W większości krótkożyciowe

Transmutacja w reaktorze nie jest możliwa

\* Izotopy te powstają w obecnych reaktorach w wyniku reakcji innych niż rozszczepienie jądra atomu.



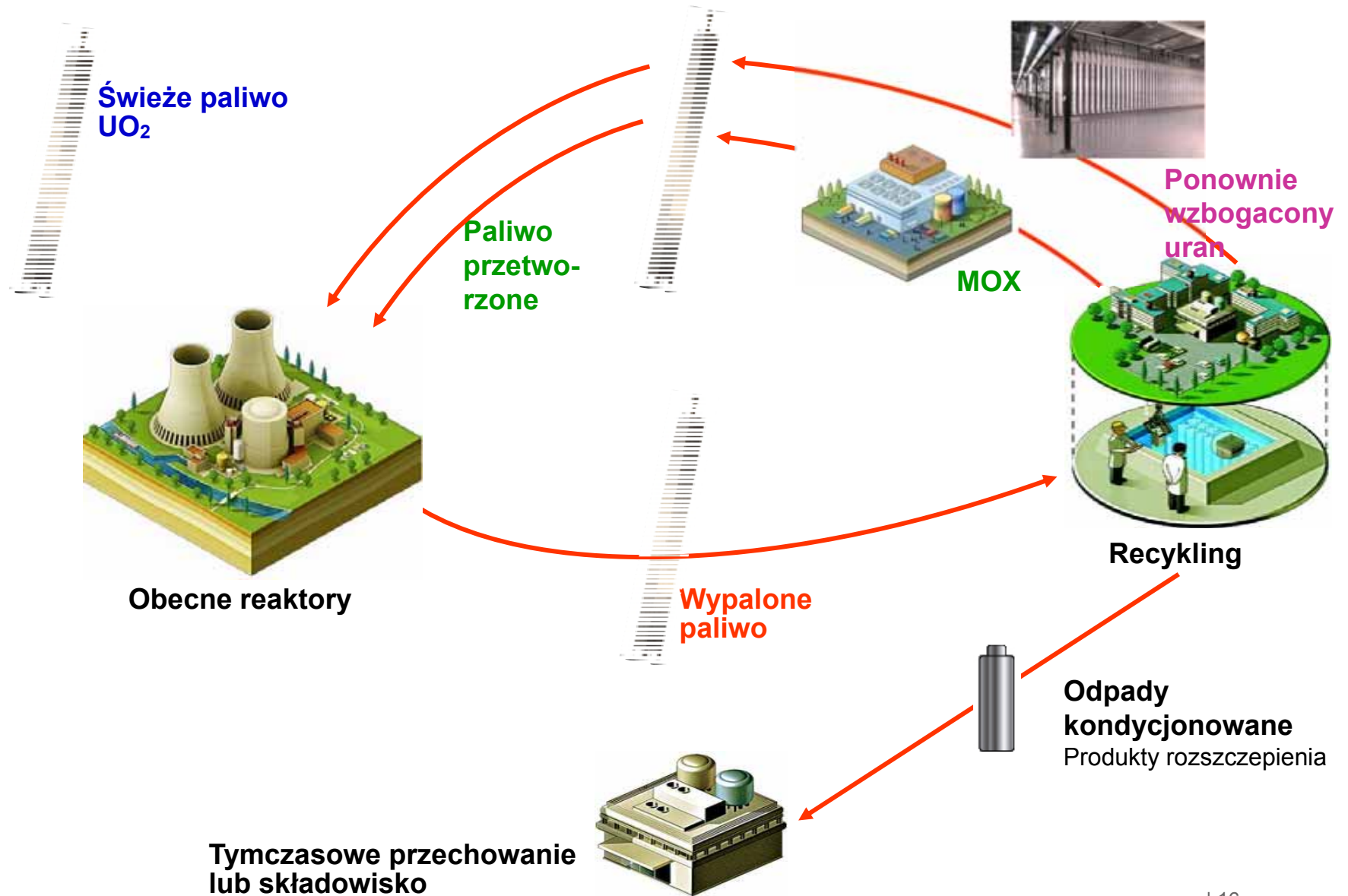
**Pu:** Pluton

**AM:** Aktynowce mniejsze

**PR:** Produkty rozszczepienia

Radiotoksyczność szkła czy wypalonego paliwa jest szacowana w stosunku do radiotoksyczności uranu, z którego ono powstało.

# Obecny cykl paliwowy ograniczający produkowane odpady





- Ustawa z 28 czerwca 2006 r. przewiduje prowadzenie badań w zakresie separacji i transmutacji cząsteczek długożyciowych. Są one prowadzone w powiązaniu z badaniami nad reaktorami jądrowymi nowej generacji.
- Francuski Komisarjat ds. Energii Atomowej (CEA) koordynuje badania na mocy dekretu z 23 kwietnia 2012 r. ustalającego zasady Krajowego Planu Gospodarki Materiałami i Odpadami Radioaktywnymi [Plan National de Gestion des Matières et Déchets Radioactifs /PNGMDR]

Program badawczy CEA obejmuje:

- Wdrażanie **innowacyjnych technologii w zakresie reaktorów na neutronach prędkich** spełniających kryteria określone dla systemów 4. generacji (*bezpieczeństwo, optymalizacja ekonomiczna, operacyjność*)
- Wdrażanie **innowacyjnych technologii na rzecz recyklingu uranu i plutonu** (przetwarzanie wypalonego paliwa i produkcja paliwa do reaktorów prędkich)
- **Badanie warunków, które doprowadzą, w następnym etapie, do recyklingu aktynowców mniejszych w reaktorach tego typu** (szczególnie ameryku).

Transmutacja jest procesem złożonym, który:

- wymaga odzyskania cennych cząsteczek  
→ **separacja aktywności,**
- umożliwia ich recykling w reaktorze.

Badania prowadzone przez CEA [Komisariat ds. Energii Atomowej] pozwoliły zatwierdzić w warunkach laboratoryjnych procesy separacji i niektóre **metody transmutacji** w reaktorze.

## Następnym etapem są reaktory prężkie ...

### Badania nad reaktorami prężnymi prowadzi się w wielu krajach:

- Rosja, Japonia, Indie, Chiny, Francja i inne

### □ Mapa drogowa (element ustawy z 2006 r.):

- **2012** : ocena przemysłowego potencjału opcji recyklingu aktywności mniejszych (prototyp **Astrid**)

### □ ASTRID jako rozwiązanie referencyjne, ALLEGRO (reaktor prężki chłodzony gazem) jako alternatywa

- Wspólne badania nad ASTRID w ramach programu ramowego UE dotyczącego bezpieczeństwa reaktora i bezpieczeństwa paliwowego, instrumentacji i badań sejsmicznych
- Rozwiązanie alternatywne – ALLEGRO – wdrażane w Europie Środkowej, wspierane przez Francję: utworzenie centrum doskonałości V4G4 z udziałem Polski (NCBJ), Węgier, Słowacji i Republiki Czeskiej

### □ Stopniowe wdrażanie :

- Paliwo zawierające najpierw Pu pochodzący z wypalonego paliwa MOX
- Intensywniejszy recykling w dłuższym horyzoncie czasowym (transmutacja aktywności)
- Zależnie od zapotrzebowania na energię możliwość przyszłego zastosowania reaktorów powielających

- W wielu krajach wykorzystanie energii jądrowej jest koniecznością
- Istnieją rozwiązania umożliwiające gospodarkę odpadami
- **Recykling U i Pu** oraz, ewentualnie, **aktynowców mniejszych** (głównie Am), **przemawia za zrównoważoną energetyką jądrową** (z punktu widzenia gospodarki i środowiska)
- **Recykling aktynowców i wielokrotny recykling Pu wymaga:**
  - **rozwoju reaktorów prędkich**
  - **pogłębiania wiedzy naukowej** w zakresie chemii aktynowców i procesów separacji
- **B&R oraz współpraca międzynarodowa** są kluczowe dla optymalnego rozwoju energii przyszłości.

# Dziękuję za uwagę

---

Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives  
Centre de Saclay | 91191 Gif-sur-Yvette Cedex  
T. +33 (0)1 64 50 23 23 | F. +33 (0)1 64 50 11 86

Etablissement public à caractère industriel et commercial | RCS Paris B 775 685 019

### Ustawa z 28 czerwca 2006 r. (Art. 3)

Separacja i transmutacja cząsteczek długożyciowych: Prace i badania prowadzone są w powiązaniu z badaniami nad nową generacją reaktorów jądrowych, o których mowa w artykule 5 programowej ustawy nr 2005-781 z 13 lipca 2005 r. wyznaczającej kierunki polityki energetycznej oraz badaniami nad reaktorami pilotowanymi przez akcelerator, przeznaczonymi do transmutacji odpadów; **mają doprowadzić w 2012 r. do oceny perspektyw przemysłowych takich działań** i oddania do eksploatacji instalacji prototypowej do 31 grudnia 2020 r.

### Dekret PNGMDR [Krajowy plan gospodarki materiałami i odpadami promieniotwórczymi] (Artykuł 11)

CEA koordynuje badania prowadzone nad separacją-transmutacją długożyciowych cząstek radioaktywnych, w powiązaniu z innymi ośrodkami badawczymi, szczególnie z CNRS. **CEA przekaze ministrom odpowiedzialnym za energetykę, naukę i środowisko, najpóźniej do 31 grudnia 2012 r., dokumentację podsumowującą prowadzone badania.**

Dokumentacja ta opisuje **postępy techniczne** oraz zawiera **wyniki scenariuszy technicznych i ekonomicznych** z uwzględnieniem możliwości optymalizacji procesów transmutacji odpadów wysokoaktywnych długożyciowych (*aktywność mniejsze*), ich przechowywania i składowania w formacjach geologicznych.

## ***Kto podejmuje decyzje?***

- parlament (ocena, debata, ustawy)
- rząd (dekrety, rozporządzenia)

## ***Kto ocenia? (nauka i technika)***

- ASN & IRSN
- CNE i ośrodki badawcze

## ***Kto informuje?***

- HCTSIN
- CNDP
- CLIS

## ***Kto prowadzi gospodarkę odpadami?***

⇒ l'ANDRA



## ***Kto finansuje?***

- EDF
- CEA
- AREVA

## ***Kto kontroluje?***

- Cour des comptes  
[Najwyższa Izba Kontroli]
- CNEF