

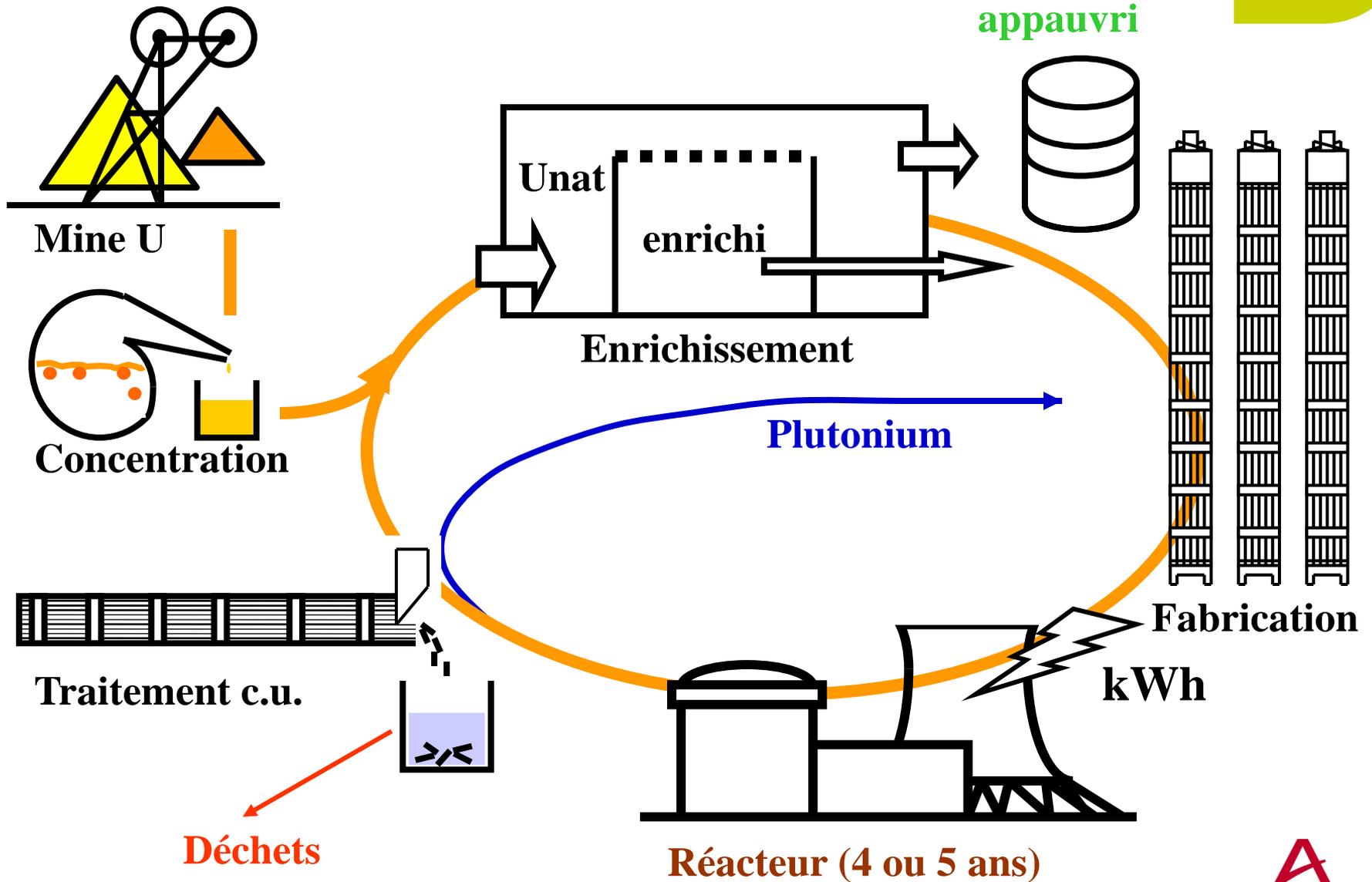
# Le Cycle du Combustible



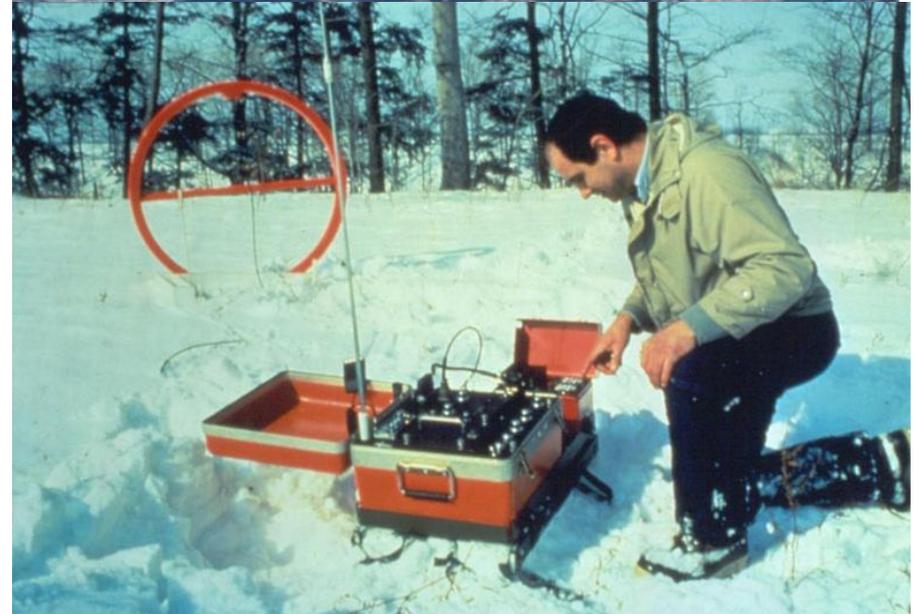
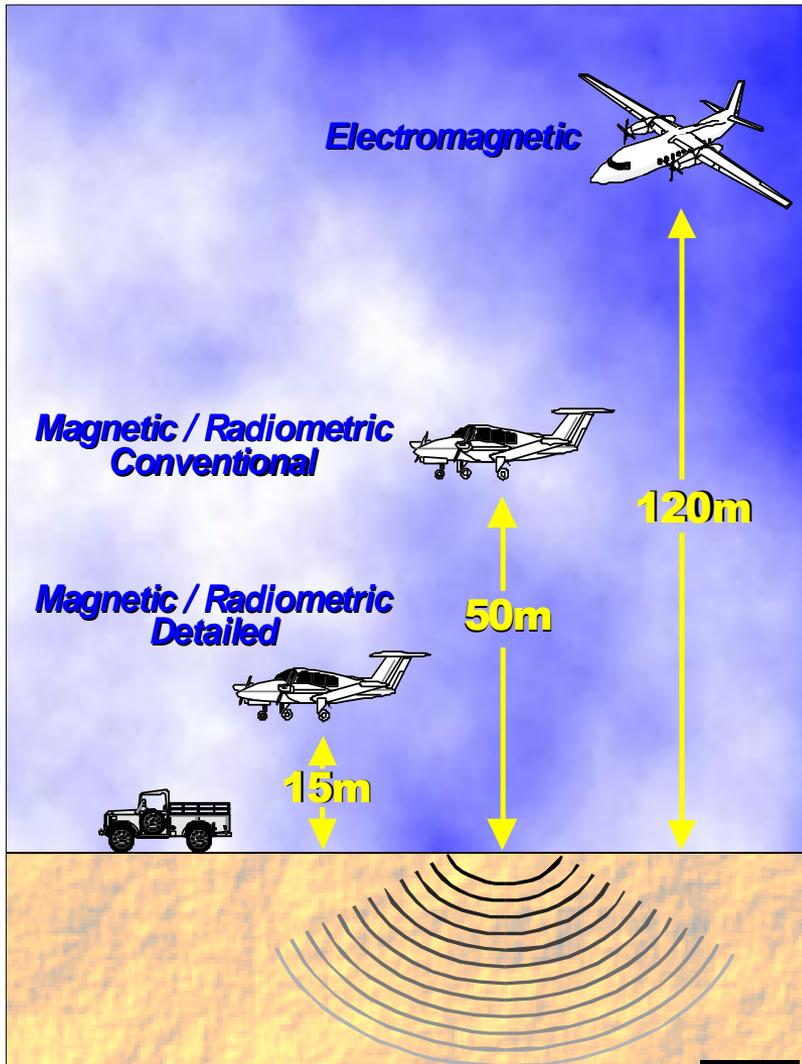
**Bertrand BARRÉ**

**Conseiller scientifique AREVA, Professeur émérite INSTN**

# Cycle du combustible (schéma)

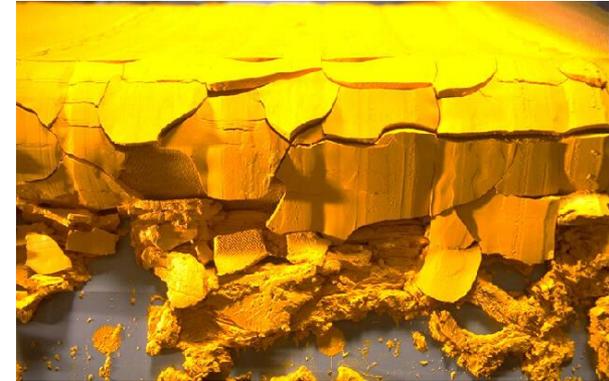


# D'abord, prospecter



# Des ressources abondantes

- ▶ Ressources Assurées (<\$130/kgU) : 5,5 Mt
- ▶ Ressources ultimes « classiques » : ~16 Mt
- ▶ Phosphates : ~22 Mt
- ▶ (Eau de mer 4 500 Mt)



**Consommation 2005**

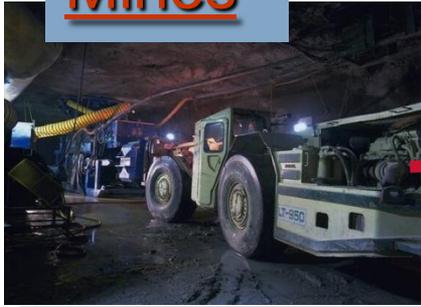
**67 000 t**

*Les ressources ultimes d'uranium "classique" couvrent plus de 200 fois la consommation mondiale 2005*

*Avec les surgénérateurs (Génération 4), les ressources deviennent pratiquement illimitées*

# Du minerai au concentré

## Mines



Mine souterraine



Mine à ciel ouvert



Lixiviation In situ



## Usine

## Concentration

minerai

Solution U

Broyage

Dissolution

Extraction

Précipitation

Concentrés 75% U

Conditionnement /  
transport

# Réhabilitation des sites miniers

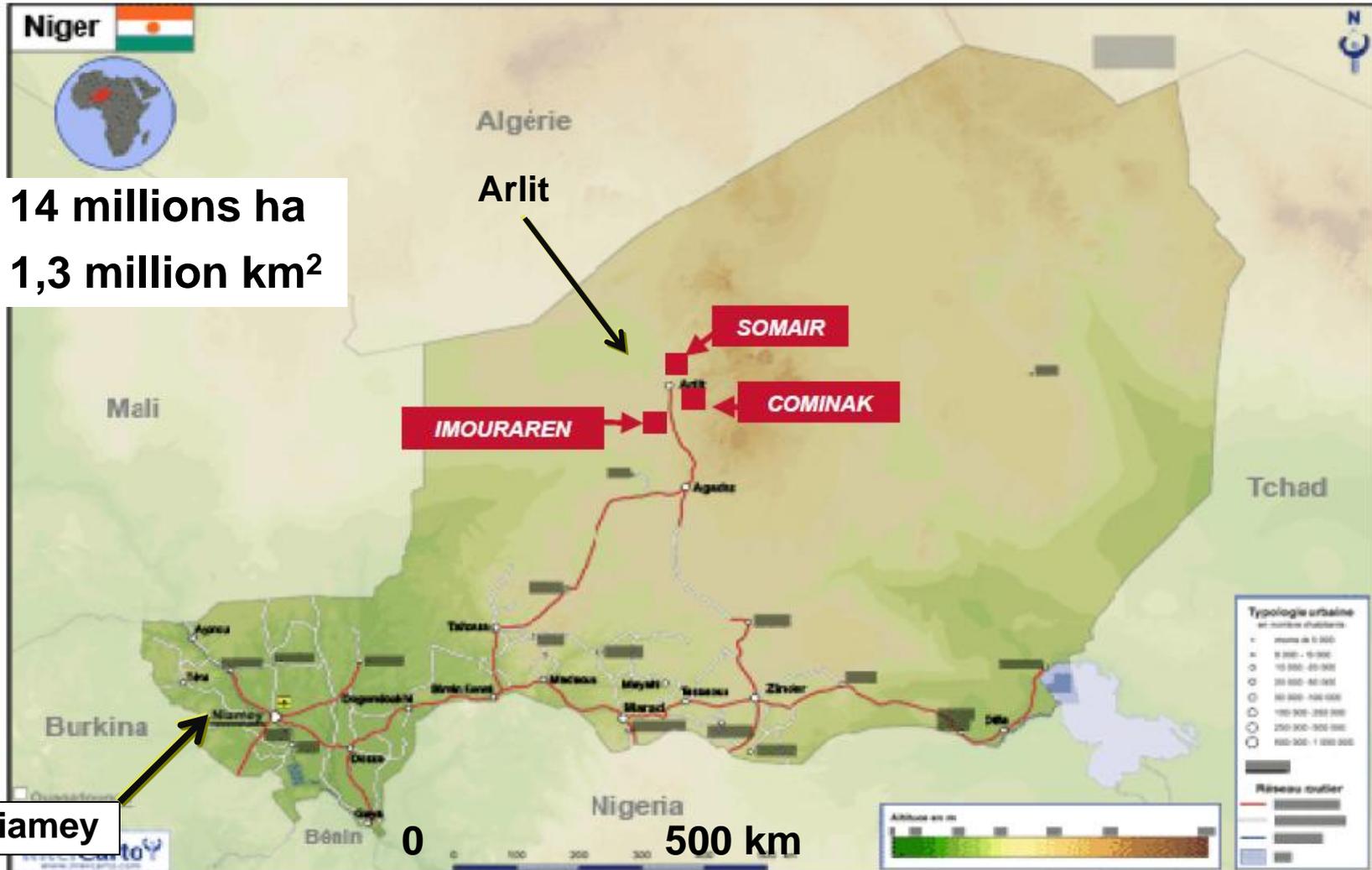


Pendant...



Après...

# Zoom sur le Niger



# L'Uranium au Niger

- ▶ Les ressources identifiées en uranium du Niger le classent #9, avec 5% du total mondial.
- ▶ L'uranium est sa principale ressource (2/3 des exportations, 7% du PIB en 2008), exploitée par 2 sociétés (de droit nigérien). Production entièrement vendue aux actionnaires AREVA, OURD, ENUSA et SOPAMIN (qui revend sa part) :

Société	% AREVA	Production 2009	Réserves	Teneur
SOMAIR 1968	63,4%	Ciel ouvert 1808 tU	23 000 tU	0,24%
COMINAK 1974	34%	Souterraine 1435 tU	24 000 tU	0,34%

## ▶ Projet IMOURAREN

- ◆ Gisement important (180 000 tU) mais profond (150 m) et à très faible teneur (< 0,1%).
- ◆ Découvert en 1966. Permis d'exploiter par une société 66,7% AREVA (dont 10% KEPCO) délivré en 2009.

# AREVA au Niger

- ▶ **Radioprotection** : Application des normes internationales (Limite travailleurs : 20 mSv/an, limite Public : 1mSv/an ajoutée en moyenne sur 5 ans, vérifiée dans Arlit et Akokan).
- ▶ 1725 salariés SOMAIR et COMINAK (98% Nigériens) et 1256 sous-traitants sous suivi régulier
- ▶ **Environnement** : SOMAIR et COMINAK certifiées ISO 14001.
  - ◆ Réseau de surveillance du site, environnement immédiat et villes voisines : suivi des différents vecteurs d'exposition (air, eau, gamma, poussières, chaîne alimentaire, sols).
  - ◆ Utilisation des eaux d'exhaure à des fins industrielles. Réseau de forages alimentant en eau potable 80 000 personnes
- ▶ **Audits externes** : IRSN, AFAQ, CNRP, etc.
- ▶ **Réaménagement futur** : Plans cadres faits (2004) et lancement des études de détail

# Activités minières d'AREVA (Uranium)

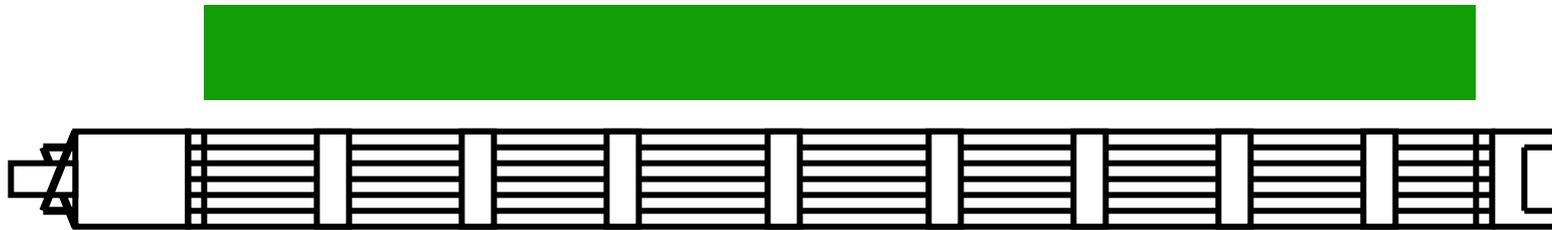


- ▶ Reclamation
- Mines in operation
- Mines under development
- Exploration
- ▶ Corporate offices and Trading

# Composition d'un combustible REP

## Combustible neuf

Uranium (4%  $^{235}\text{U}$ ) : 500 kg



Uranium (0,9%  $^{235}\text{U}$ ) : 475 kg

Pu : 5kg

PF\* : 20 kg

←————— recyclables —————→

## Combustible utilisé

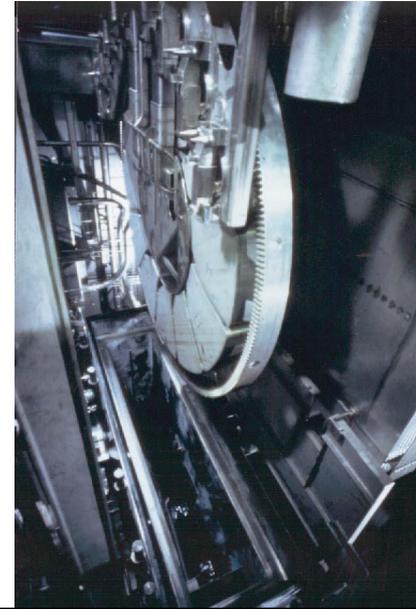
\*(dont <1 kg Actinides mineurs)

# Matières ou Déchets ?

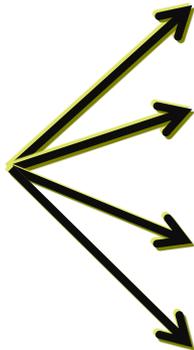
- ▶ Une **substance radioactive** est une substance qui contient des nucléides radioactifs en concentration ou en quantité telle qu'il faut prendre des mesures de protection.
- ▶ Une **matière radioactive** est une substance radioactive que l'on utilise ou que l'on prévoit d'utiliser.
- ▶ Un **déchet radioactif** est une substance radioactive sans utilisation actuelle ou prévue.

Loi du 28 Juin 2006

# Le Traitement des Combustibles REP usés



Cisailage mécanique  
Dissolution chimique  
Séparation par solvants



Uranium à ré-enrichir

Plutonium pour MOX

Déchets MA-VL compressés

Déchets HA vitrifiés

# La finalité du traitement-recyclage

- ▶ **Le traitement et le recyclage** permettent de répondre à la double exigence du développement durable :
  - ◆ La récupération et la valorisation des matières réutilisables, **uranium et plutonium**.
  - ◆ La diminution aussi bas que raisonnablement possible des nuisances **potentielles des déchets ultimes. Principe ALARA. (As Low As Reasonably Achievable)**.

# Les résidus ultimes

- ▶ **Les résidus ultimes** (HA et MA-VL\*) c'est-à-dire la part non réutilisable du combustible :
  - ◆ **Produits de fission vitrifiés**
  - ◆ **Parties métalliques, coques et embouts bétonnés ou compactés**

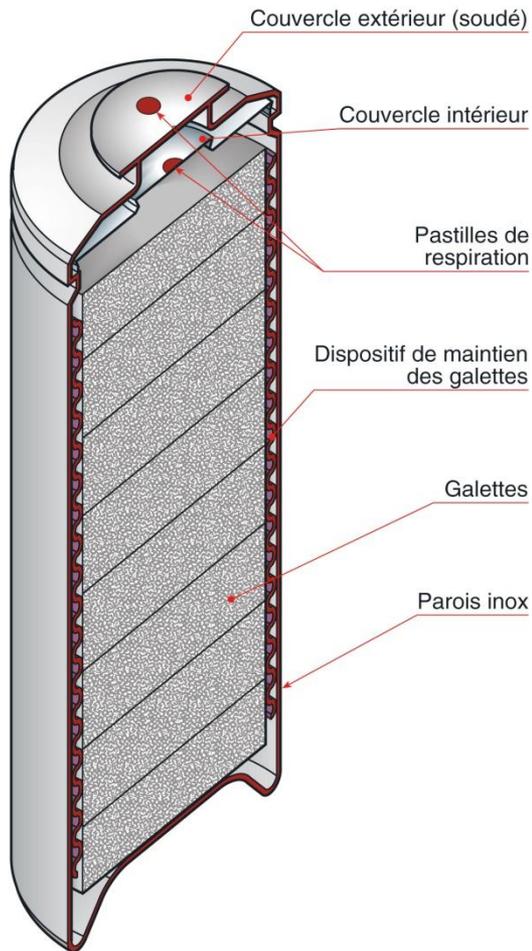
*conditionnés selon des normes agréées  
internationalement*

\* HA : déchets de haute activité

MA-VL : déchets de moyenne activité, contenant des isotopes à vie longue  
(période > 31 ans)

# Conditionner les déchets ultimes pour le très long terme

## Déchets technologiques



## Résidus vitrifiés



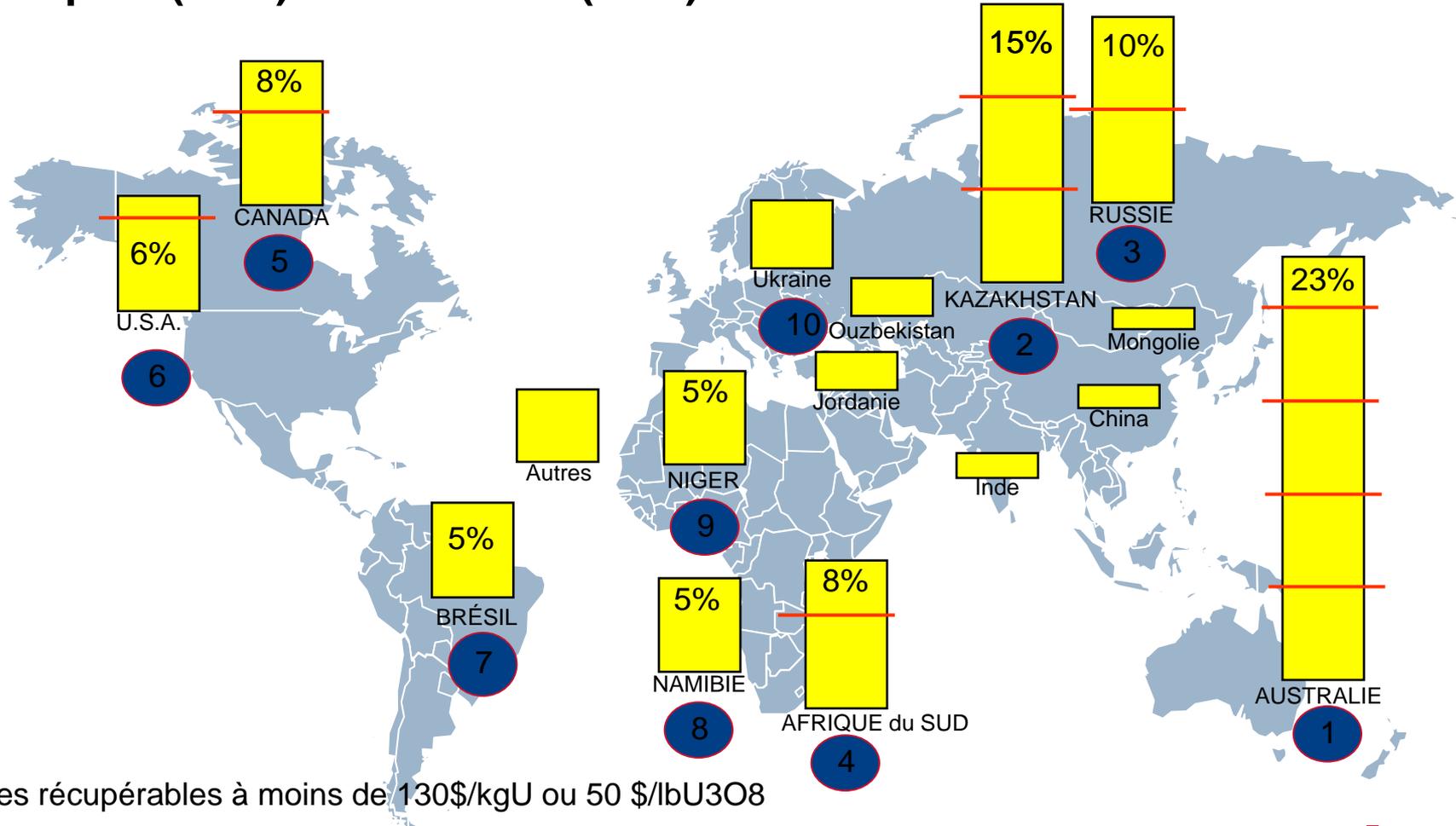
# Diapos supplémentaires



# Distribution géographique des ressources identifiées\*

Top 10 (88%) + 5 suivants (96%)

Source OECD-NEA-IAEA « Red Book »



# The Global Nuclear Fuel Market

## WNA 2007

La Russie a une vaste capacité d'enrichissement, dont une partie a été occupée depuis quelques années à ré-enrichir de l'uranium appauvri.

Selon un sous-groupe du WNA, des enrichisseurs occidentaux ont expédié des quantités significatives d'uranium appauvri en Russie ces dernières années, *et ceci prendra fin en 2010 au terme des contrats russes*. On estime que de 10 000 à 15 000 tonnes/an d'U appauvri à une teneur de 0,3 à 0,4% en U235 ont été envoyées vers les usines russes pour y être ré-appauvries jusqu'à 0,1% pour produire un équivalent Unat ou UFE de quelques milliers de tonnes U/an. Ceci a dû occuper un tiers des capacités russes d'enrichissement. On estime que la moitié environ de l'UFE est gardé par les Russes pour leurs besoins domestiques.

***WNA = World Nuclear Association***

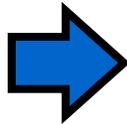
***Unat = Uranium naturel***

***UFE = Uranium faiblement enrichi***

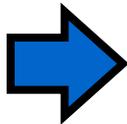
# Combustibles Usés



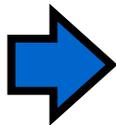
Combustible utilisé.



Stockage  
direct  
réversible



Entreposage,  
en attente de  
décision...



Traitement-  
recyclage, puis  
Stockage  
réversible des  
déchets HA



# La gestion des déchets nucléaires

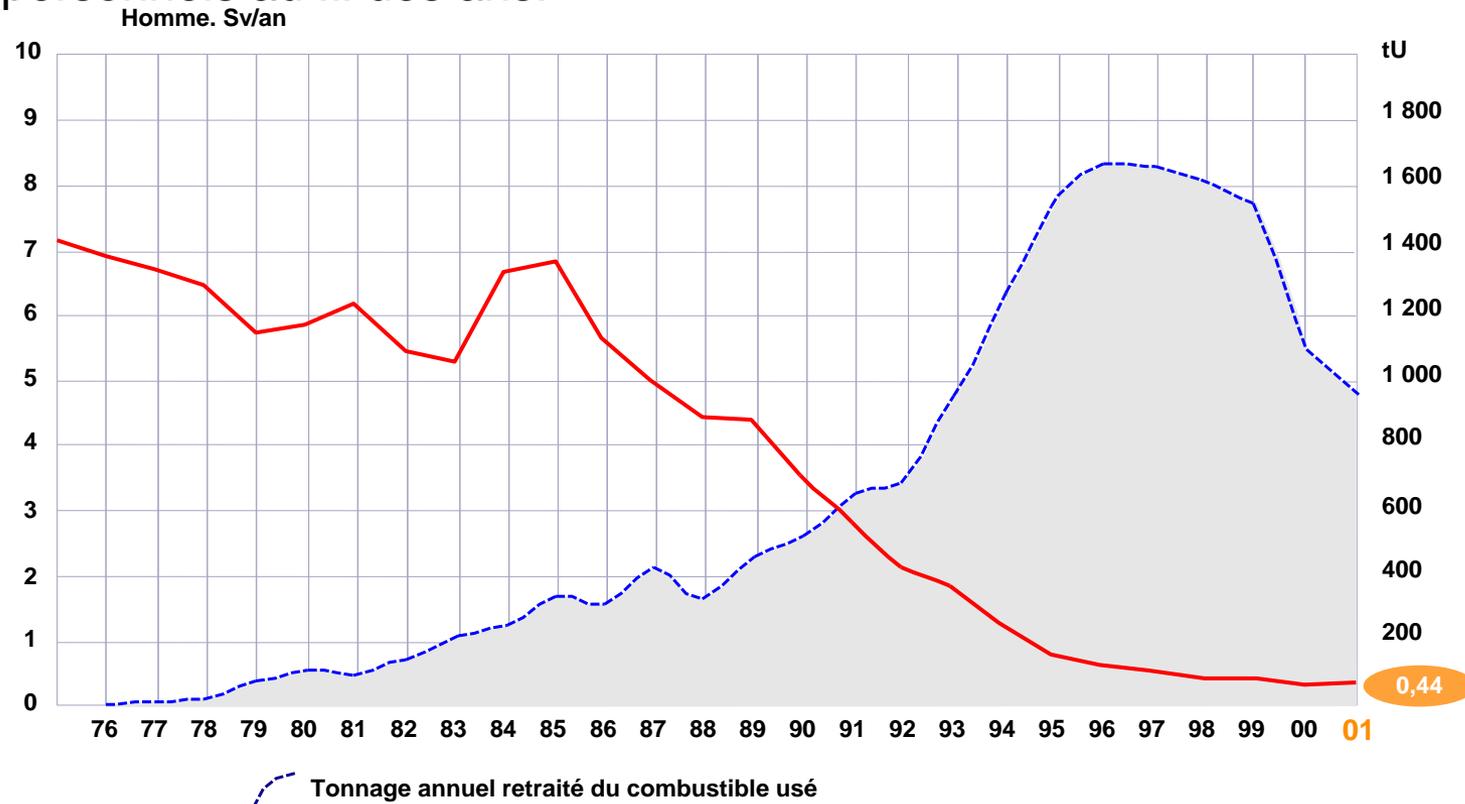
- ▶ Ils ne sont ni orphelins, ni dispersés à tous vents
- ▶ Les déchets FA sont stockés définitivement
- ▶ Les déchets MAVL & HA sont concentrés, confinés entreposés et surveillés
- ▶ Attente d'une solution définitive (Loi du 28 juin 2006)



# Bilan dosimétrique des usines UP2 et UP3

## Exploitation et maintenance

La prise en compte, dès la conception des installations, de la radioprotection a permis une baisse constante de l'exposition des personnels au fil des ans.



# Quelques questions fréquentes...

## ► *Pourquoi ré-enrichir en Russie ?*

- ◆ Parce que la technologie DG ne s'y prête pas (cascade unique). Ce sera possible à GB2.

## ► *Pourquoi l'uranium ré-appauvri reste-t-il là-bas ?*

- ◆ Ce sont les usages internationaux. Nous gardons aussi l'uranium appauvri quand nous vendons des services d'enrichissement. Pour les Russes comme pour nous, ce n'est pas un déchet (voir ci-après)

## ► *Recycle-t-on le MOX utilisé ?*

- ◆ On a démontré qu'on savait retraiter les MOX utilisés, mais un deuxième passage du plutonium en REP n'est pas très attrayant : les MOX utilisés sont entreposés, et leur plutonium constituera, avec l'uranium appauvri, le combustible de la génération 4.