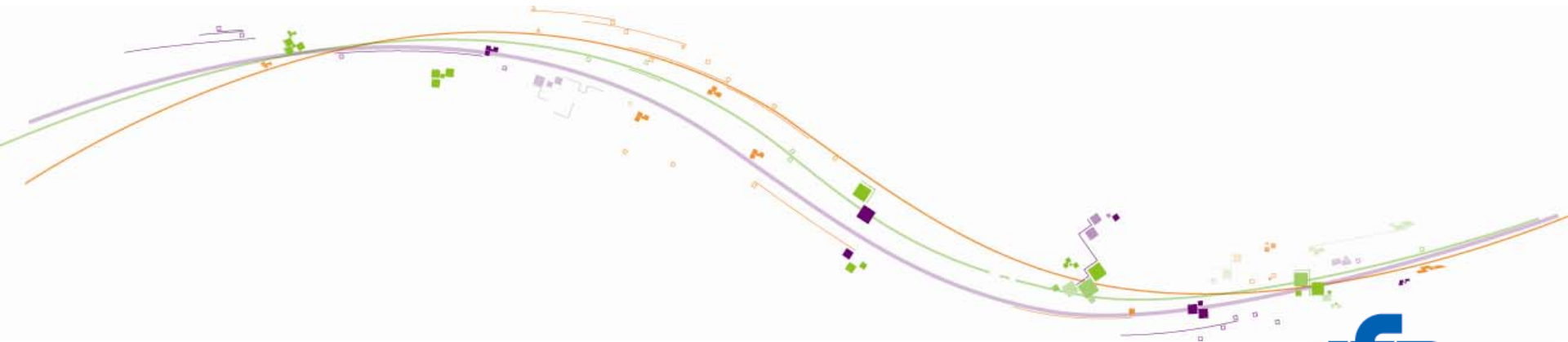


# Nicolas BOSSARD de MOLIN







# **Les ressources en combustible nucléaire et le système énergétique du futur**

**Nicolas Bossard de Molin**

Directeur adjoint de la Stratégie et des Fusions-Acquisitions

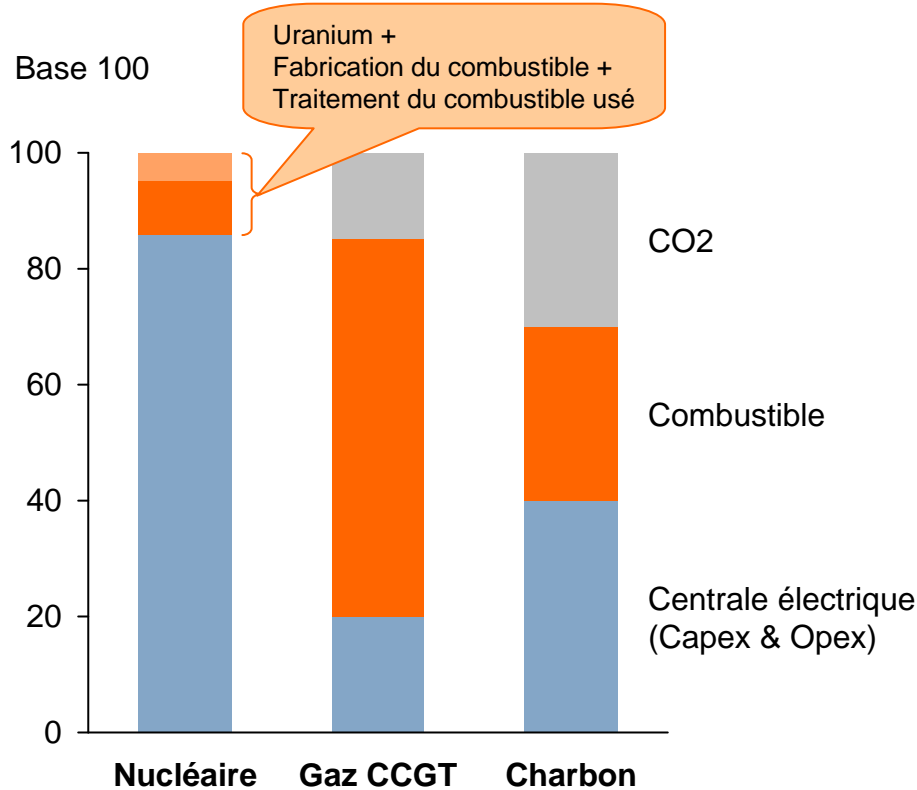
IFP Panorama 2010

28 janvier 2010

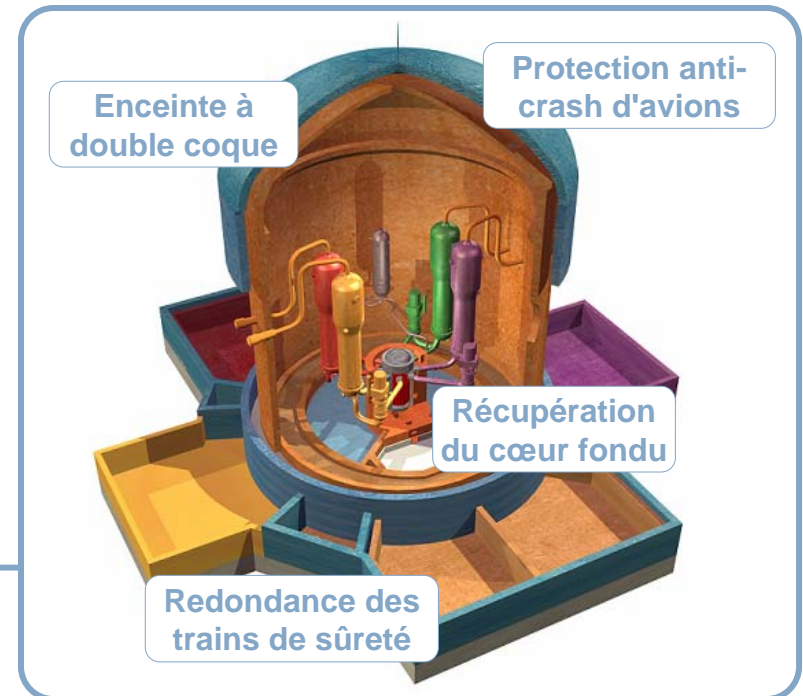


# La part du combustible dans la valeur de l'énergie finale est faible pour le nucléaire

## Structure typique du coût de production de l'électricité



## Éléments de sûreté indispensables pour un réacteur nucléaire

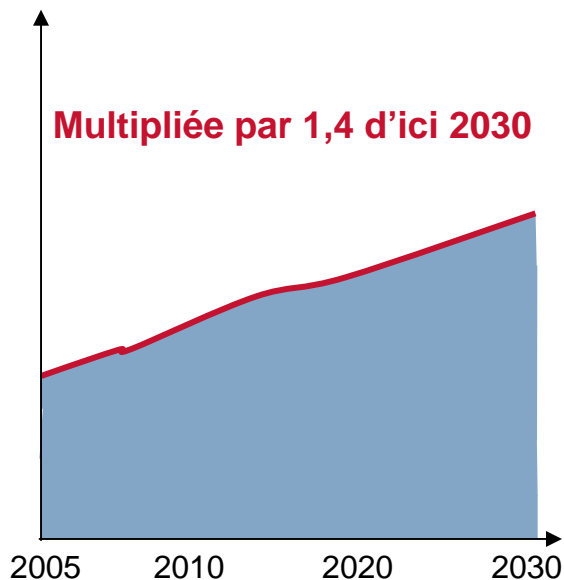


## ▶ Place du nucléaire dans le mix énergétique du futur

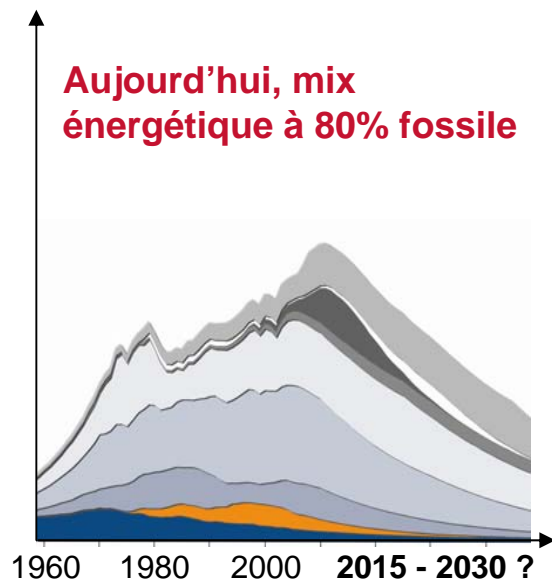
- ▶ Des ressources permettant d'accompagner le développement du nucléaire
- ▶ Les progrès technologiques permettent d'accroître le potentiel du nucléaire

# 3 grands défis pour le secteur énergétique mondial

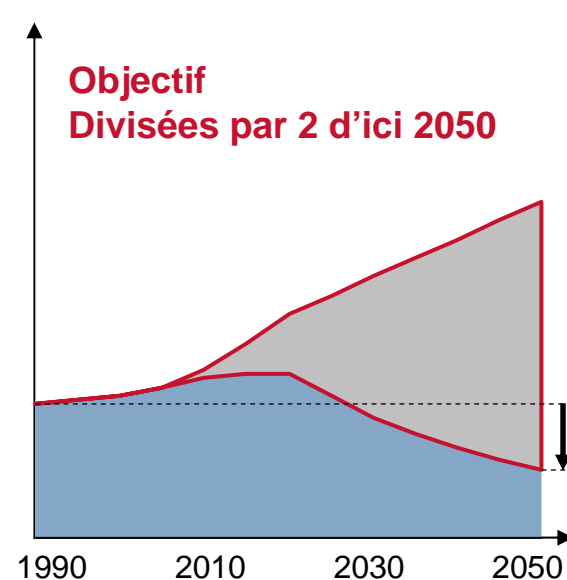
## Demande mondiale en énergie



## Plateau ou déclin des ressources fossiles



## Emissions de gaz à effet de serre

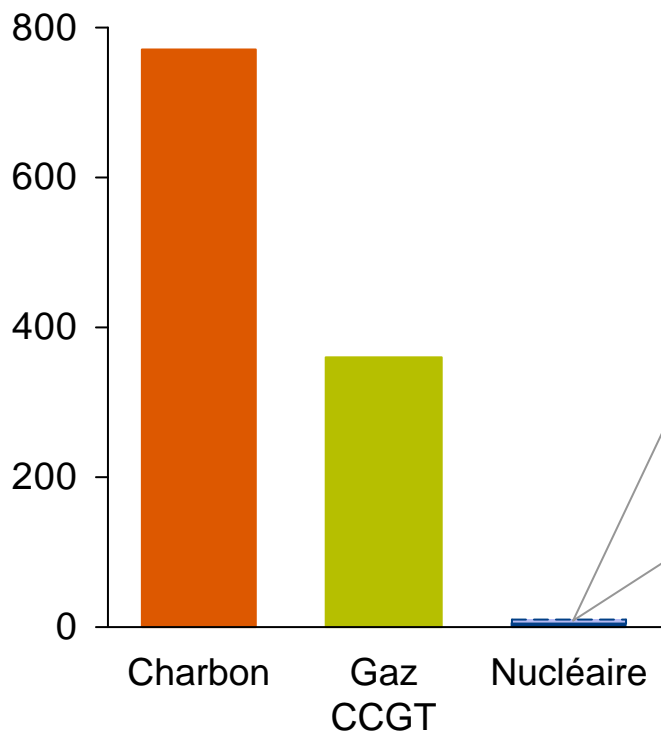


Source : AIE WEO 2009 scénario de référence, ASPO 2007, GIEC

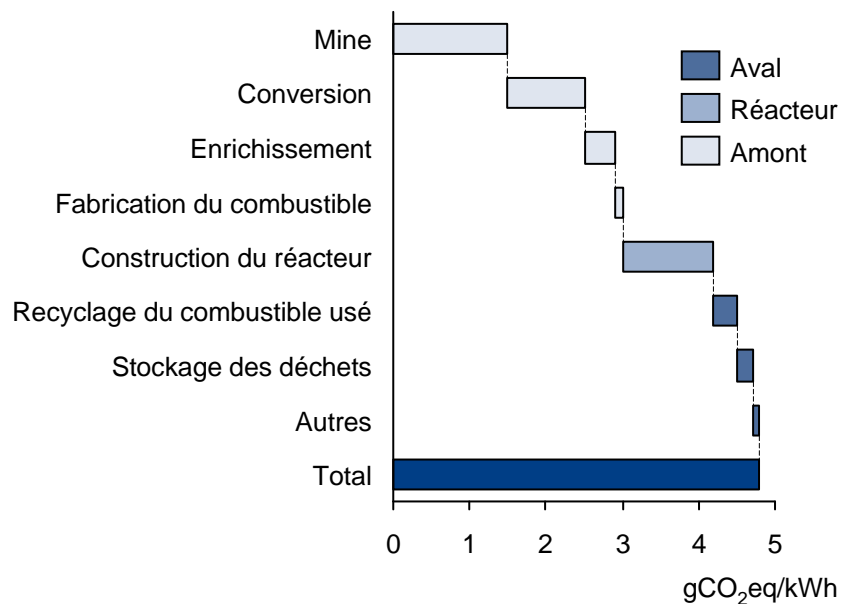
# L'empreinte carbone du nucléaire est négligeable

Comparaison des émissions de gaz à effet de serre pour les technologies de production d'électricité en base

gCO<sub>2</sub> eq / kWh



## Détail des émissions pour le nucléaire

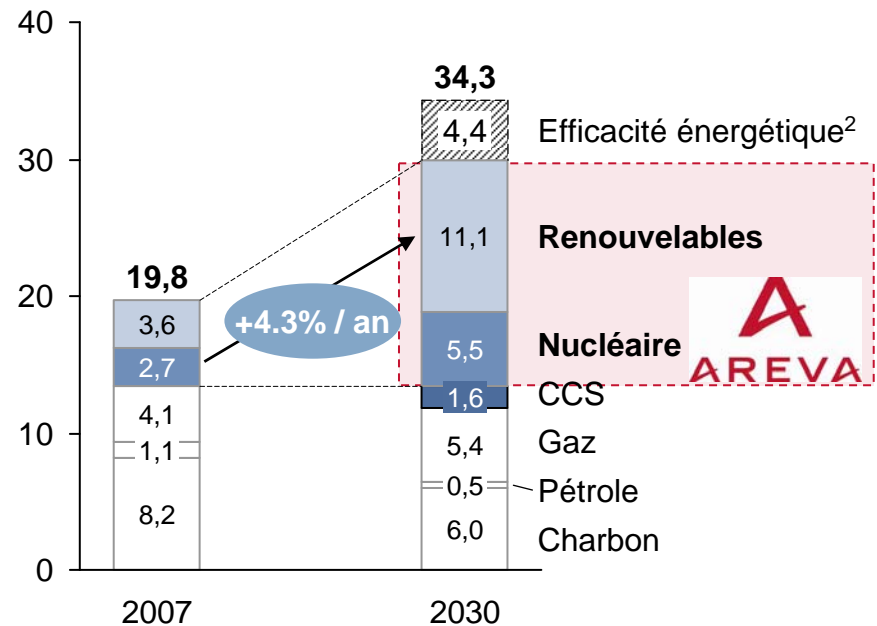


# Le nucléaire, solution incontournable pour relever les défis du secteur électrique

## Des contraintes très fortes s'appliquent au secteur électrique

- ▶ La demande électrique augmente plus vite que la demande totale en énergie
  - ◆ 2.5% de croissance annuelle contre 1.5% pour la demande totale en énergie<sup>1</sup> à l'horizon 2030
- ▶ La production électrique repose à
  - ◆ 42% sur le charbon
  - ◆ 21% sur le gaz
  - ◆ 6% sur le pétrole
- ▶ La production électrique est responsable de 41% des émissions de gaz à effet de serre du secteur énergétique

Evolution du mix électrique mondial  
Scénario 450 de l'AIE (milliers de TWh / an)



▶ Plus de 230 équivalent EPR construits



## Quelles ressources en combustible pour cette renaissance du nucléaire ?

- ▶ **Place du nucléaire dans le mix énergétique du futur**

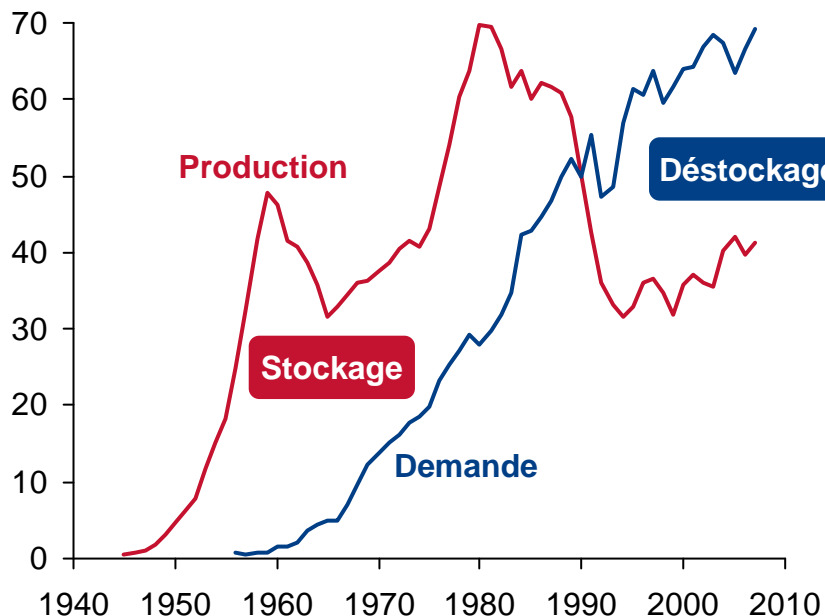
- ▶ **Des ressources permettant d'accompagner le développement du nucléaire**

- ▶ **Les progrès technologiques permettent d'accroître le potentiel du nucléaire**

# La renaissance du nucléaire appelle une relance massive de la production d'uranium

Production et demande en uranium de  
1945 et 2007

Milliers de tonnes



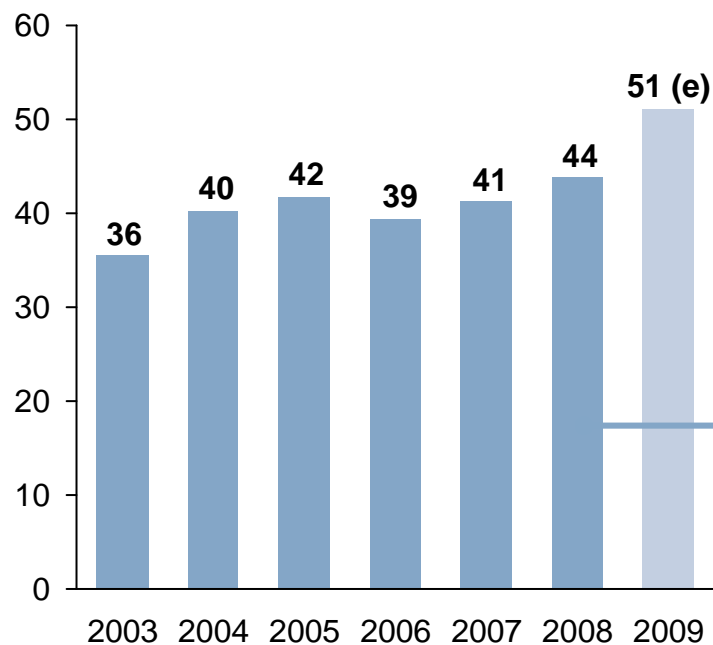
- ▶ Déstockage dans les années 80 et 90
  - ◆ En particulier le démantèlement des matières militaires (programme « Megatons to Megawatts »)
- ▶ La production minière ne représente aujourd'hui que 2/3 des besoins des réacteurs
- ▶ La demande en uranium n'a jamais cessé de croître



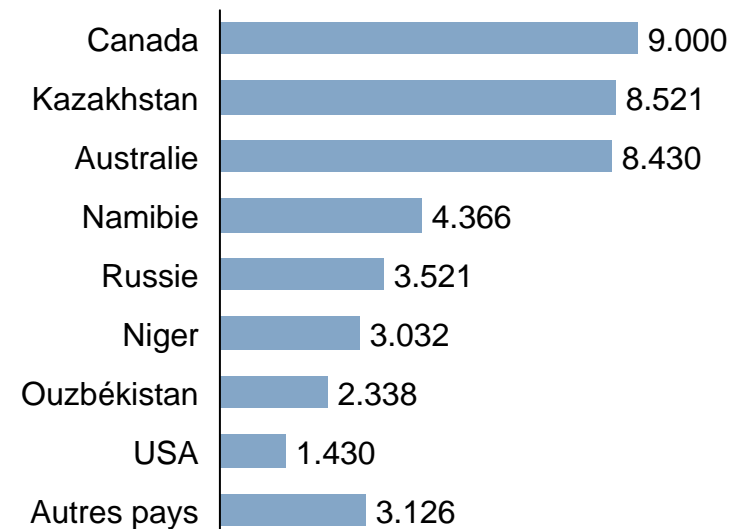
**La production des mines augmente à nouveau pour restaurer l'équilibre offre / demande**

# La production d'uranium naturel est déjà repartie à la hausse

Production mondiale d'uranium  
Milliers de tonnes



Principaux pays producteurs en 2008  
Tonnes



► Kazakhstan premier producteur mondial en 2009 avec 13 500 tonnes produites

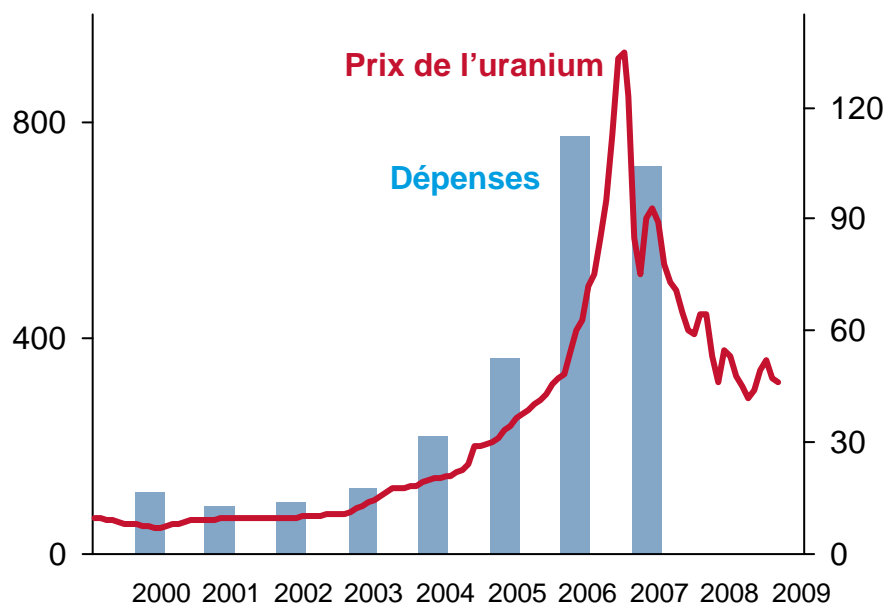


**AREVA leader mondial en 2009 avec 8600 tonnes d'uranium produites**

# L'exploration et le développement de mines a été tirée par la hausse du prix de l'uranium

Dépenses de prospection et de mise en valeur de l'uranium  
Millions de USD par an

Prix de l'uranium  
US\$/lb U<sub>3</sub>O<sub>8</sub>



► Les dépenses de prospection et de mise en valeur de l'uranium ont augmenté de 254% entre 2004 et 2006

► Projets AREVA en cours

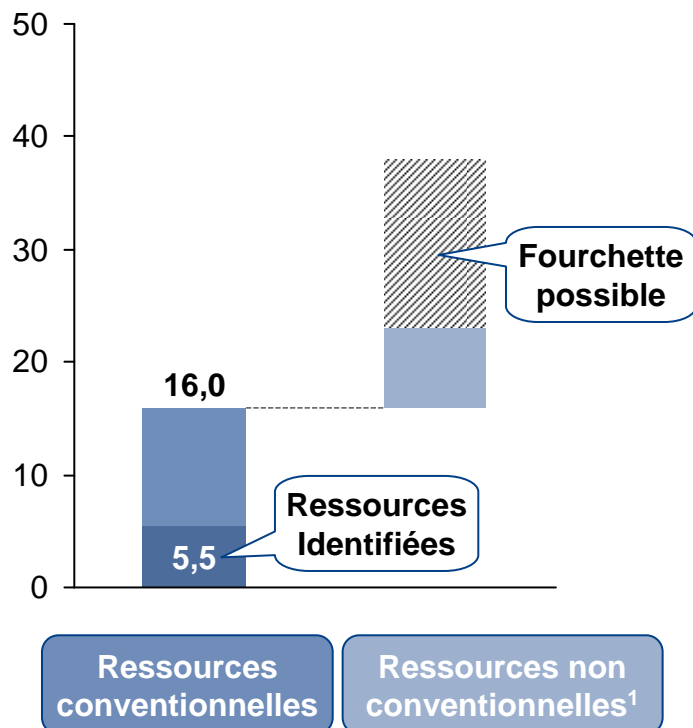
- ◆ Trekkopje (Namibie), production en 2010  
Production visée : 3,000 t<sub>U</sub> / an
- ◆ Imouraren (Niger), production en 2014  
Production visée : 5,000 t<sub>U</sub> / an
- ◆ Cigar Lake (Canada), production en 2013  
Production visée : 6,000 t<sub>U</sub> / an
- ◆ Katco (Kazakhstan)  
Passage de 2500 à 4,000 t<sub>U</sub> / an en 2012



**Le prix devra rester à un niveau suffisant pour garantir les investissements**

# Les ressources conventionnelles représentent plus de 200 fois les besoins de 2007

Ressources mondiales en uranium  
Millions de tonnes



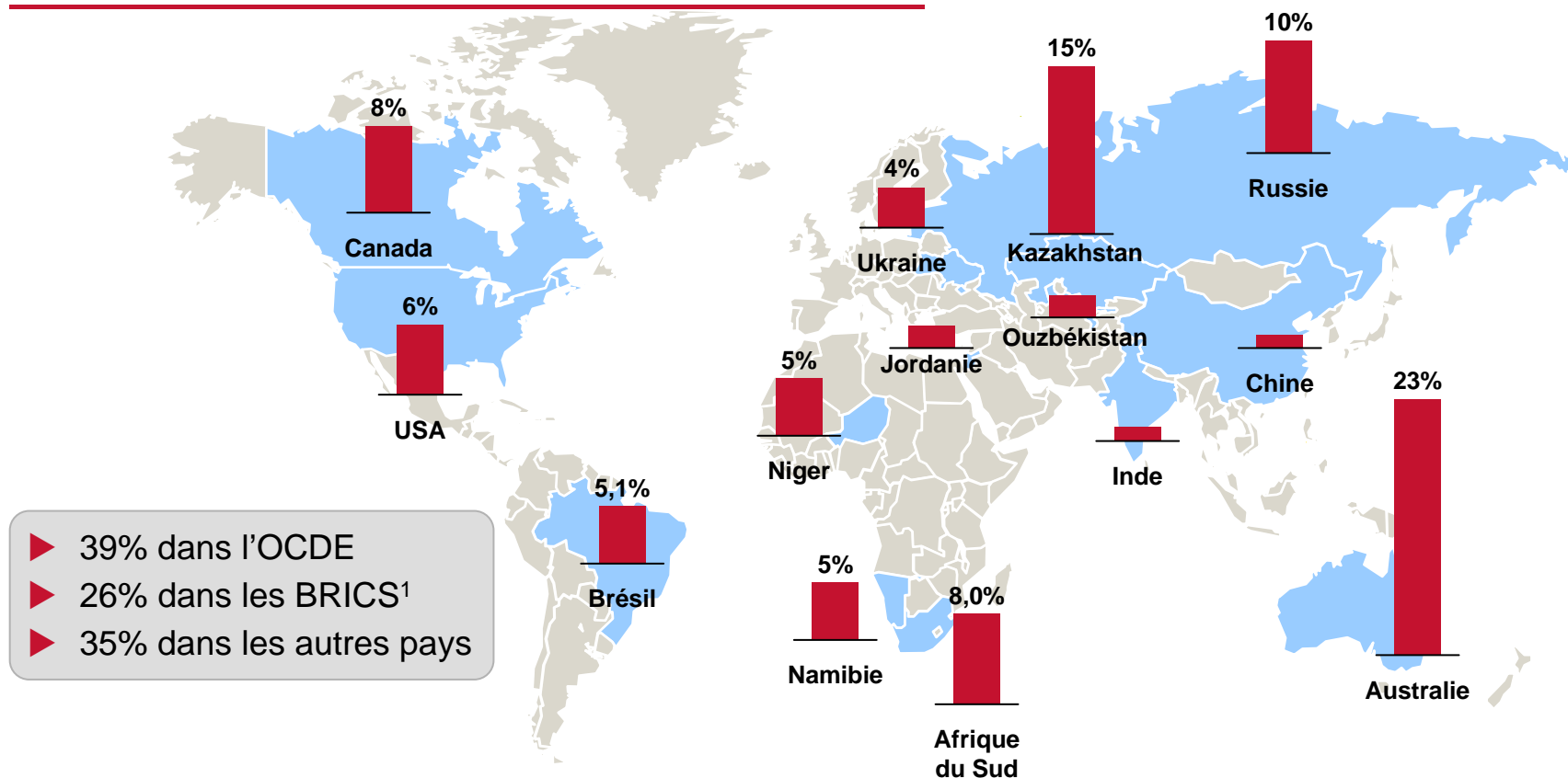
- ▶ Des ressources non conventionnelles présentes dans
  - ◆ Les phosphates, les minerais non ferreux, les schistes noirs...
- ▶ Une augmentation de 15% des ressources identifiées entre 2005 et 2007
  - ◆ Equivalent à 11 ans de consommation au rythme actuel
- ▶ Ressources identifiées = **80 ans** de consommation (rythme et technologies actuels)
- ▶ Autres ressources conventionnelles = **150 ans** de consommation (rythme et technologies actuels)

1. Hors ressources dans l'eau de mer  
Source : OCDE – AIEA – NEA "Red Book" 2007

# Les ressources en uranium sont bien réparties sur le globe

## Répartition des ressources identifiées

Principaux pays



- ▶ 39% dans l'OCDE
- ▶ 26% dans les BRICS<sup>1</sup>
- ▶ 35% dans les autres pays

1. Brésil, Russie, Inde, Chine, Afrique du Sud  
Source : OCDE – AIEA – NEA "Red Book" 2007

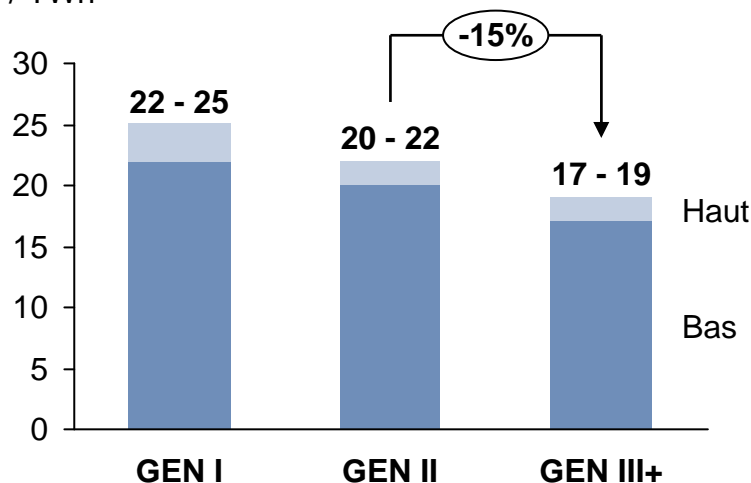
- ▶ **Place du nucléaire dans le mix énergétique du futur**
- ▶ **Des ressources permettant d'accompagner le développement du nucléaire**
- ▶ **Les progrès technologiques permettent d'accroître le potentiel du nucléaire**

# Les technologies AREVA permettent d'optimiser l'utilisation de l'uranium

## Réacteurs

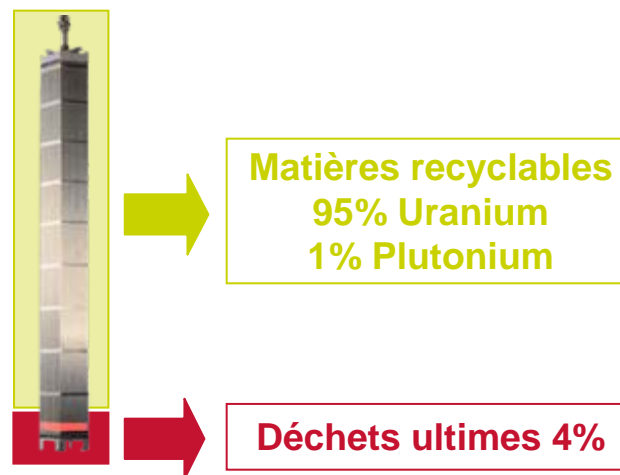
- ▶ Les réacteurs GEN III+ améliorent l'utilisation de la ressource
  - ◆ 15% d'économie d'uranium naturel avec l'EPR

Consommation d'uranium pour les générations successives de réacteurs<sup>1</sup>  
tU / TWh



## Cycle du combustible

- ▶ Les progrès de l'enrichissement réduisent les besoins en uranium (diminution des taux de rejet)
  - ◆ Remplacement de GB I par GB II
- ▶ Le recyclage du combustible utilisé permet d'économiser jusqu'à 25% des ressources en uranium
  - ◆ Usine de La Hague, usine de MOX de Marcoule



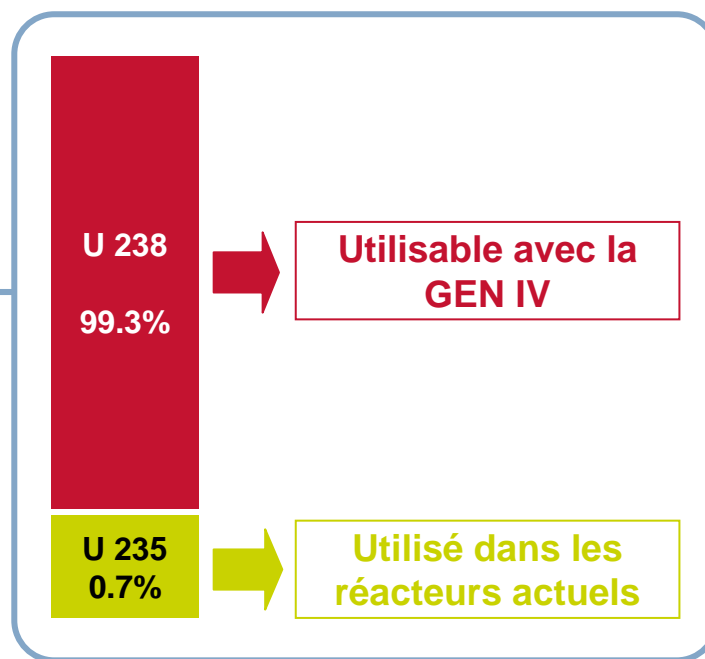
Source : AREVA

# Les technologies futures permettront de s'affranchir de la contrainte sur les ressources

## Principales améliorations à long terme

- ▶ Réacteurs à hauts facteurs de conversion
  - ◆ Multiplication par 2 de l'énergie récupérée dans l'uranium naturel
- ▶ Des réserves d'uranium pour plusieurs milliers d'années avec la GEN IV (réacteurs à neutrons rapides)
  - ◆ Multiplication par 50 à 100 de l'énergie récupérée dans l'uranium naturel
- ▶ Possibilité d'utiliser le thorium comme complément pour le combustible nucléaire
  - ◆ Ressources plus abondantes que celles d'uranium
  - ◆ Des combustibles au thorium déjà expérimentés par le passé

## Composition et utilisation de l'uranium naturel



# Conclusion

- ▶ L'activité minière va connaître une forte croissance, tirée par la renaissance du nucléaire
- ▶ Les ressources en uranium sont abondantes pour alimenter cette renaissance
- ▶ La répartition de la ressource accroît la sécurité d'approvisionnement...  
... tout comme la possibilité de stocker, sous plusieurs formes, le combustible nucléaire
- ▶ A court terme, les technologies industrialisées par AREVA (recyclage, GEN III+...) permettent d'optimiser l'utilisation de la ressource...  
... alors qu'à plus long terme, elle sera presque illimitée grâce aux progrès technologiques (réacteurs à neutrons rapides, thorium...)



**AREVA, le leader mondial dans l'amont (chimie, enrichissement, fuel) et l'aval (traitement du combustible usé, recyclage) du cycle, est devenu en 2009 le leader dans la mine**

