

Futur du Nucléaire Nucléaire du Futur

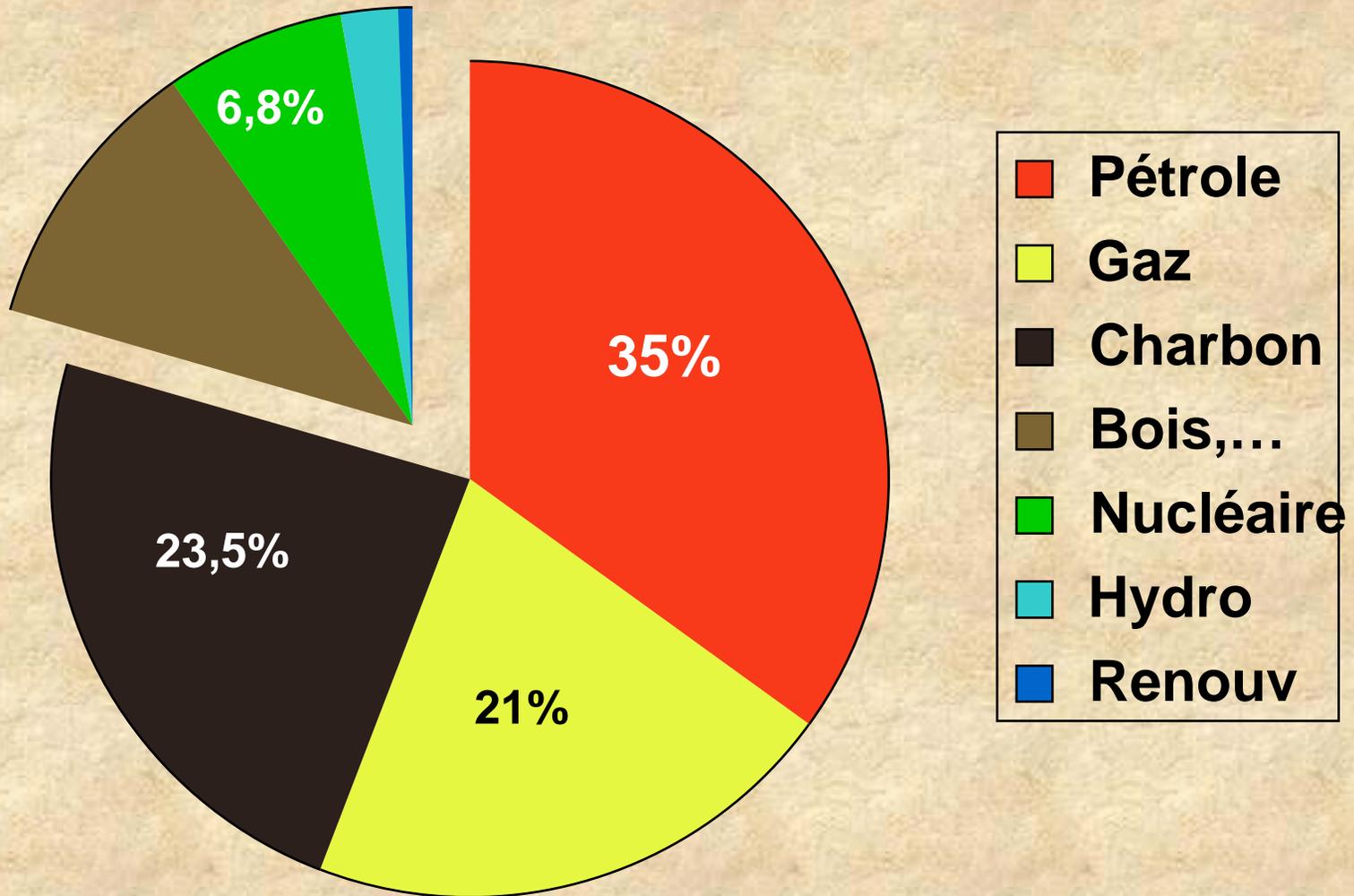


Bertrand BARRÉ
Conseiller AREVA

Past-President European Nuclear Society



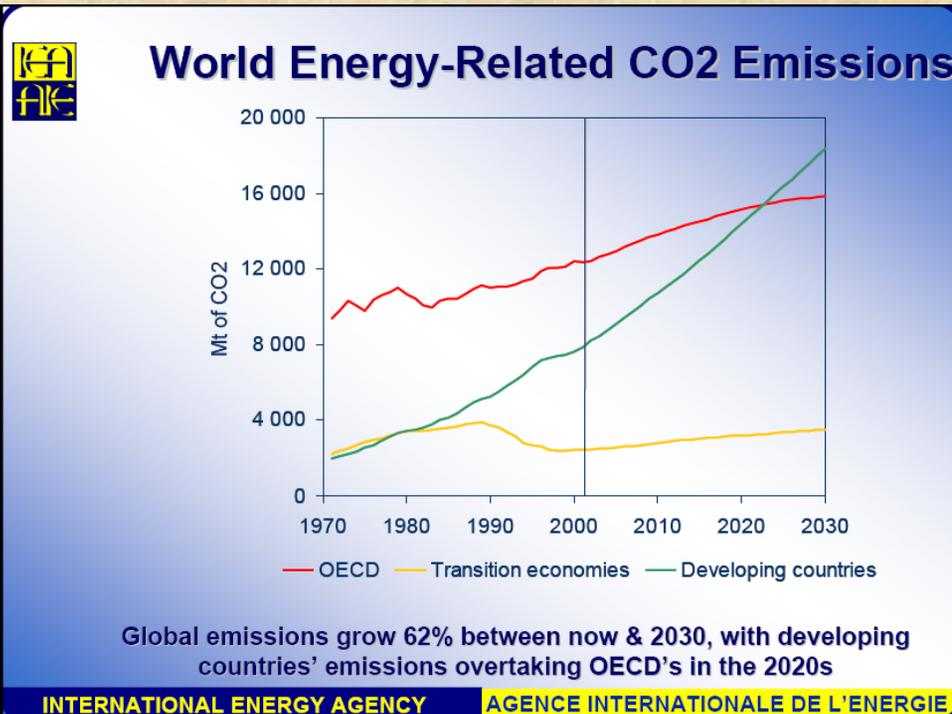
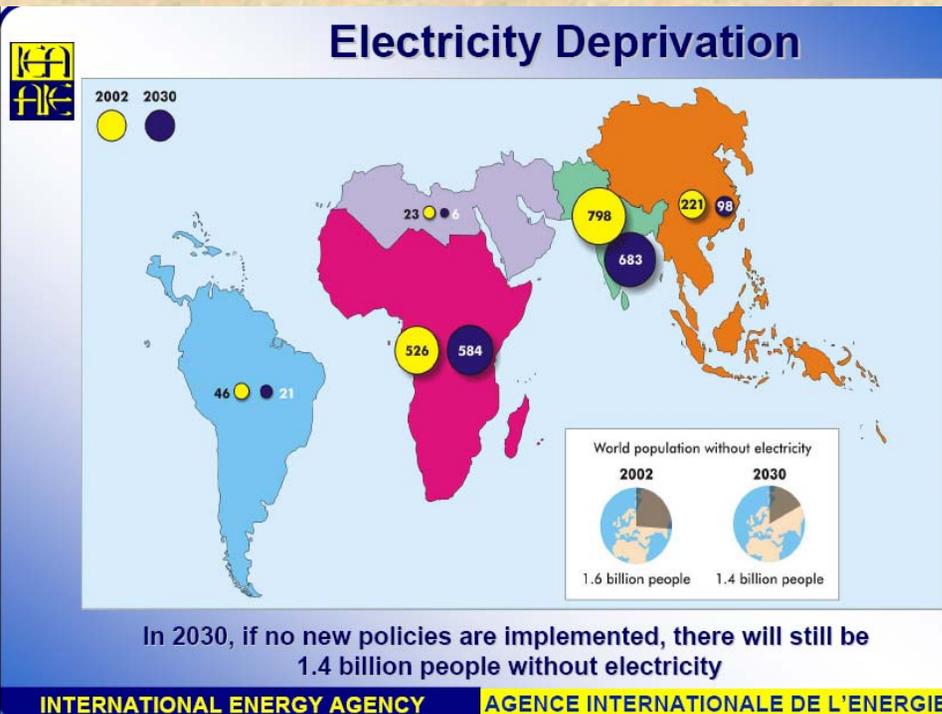
10 milliards de tonnes par an en « équivalent pétrole »



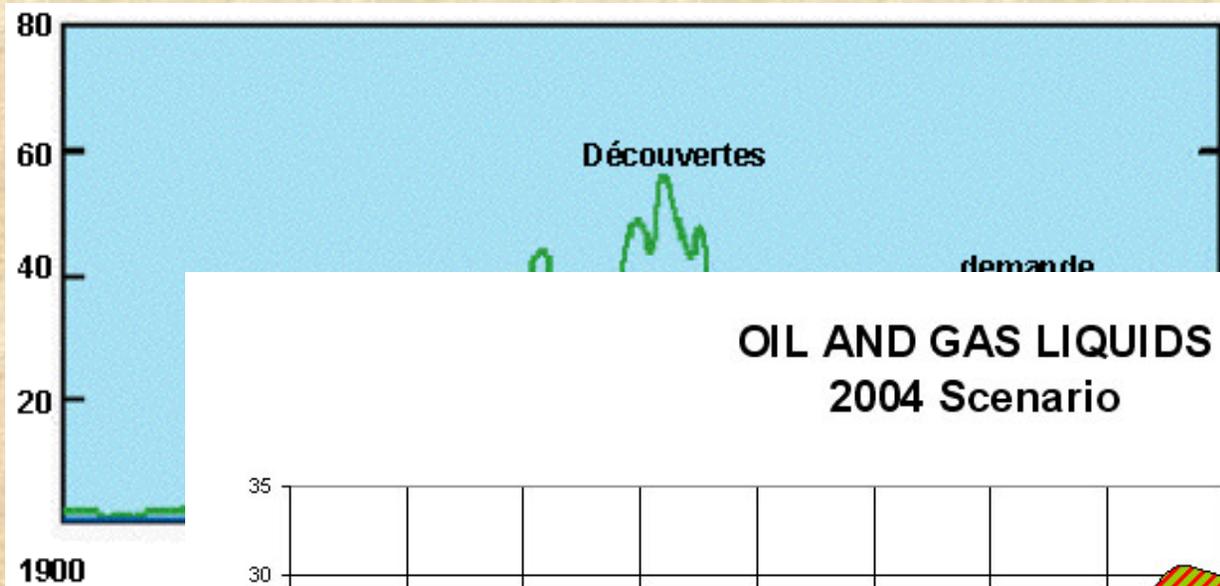
Demain ne sera pas long à devenir hier...

(la plaisante sagesse lyonnaise)

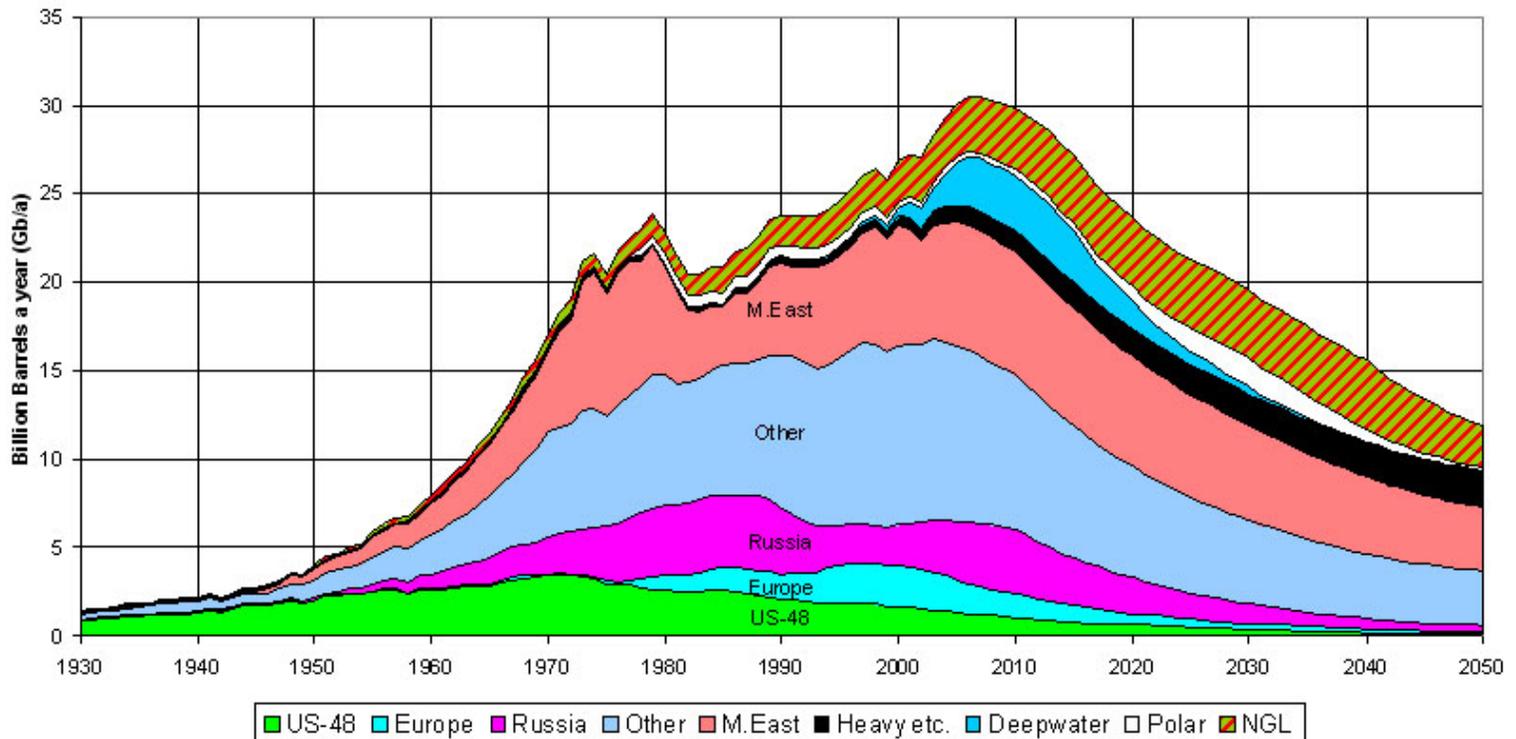
- ▶ en 2000, 6 milliards d'humains, 10 milliards de tep
- ▶ en 2006, 6,5 milliards d'humains, 12 milliards de tep
- ▶ en 2050, 8 à 9 milliards d'humains, ...



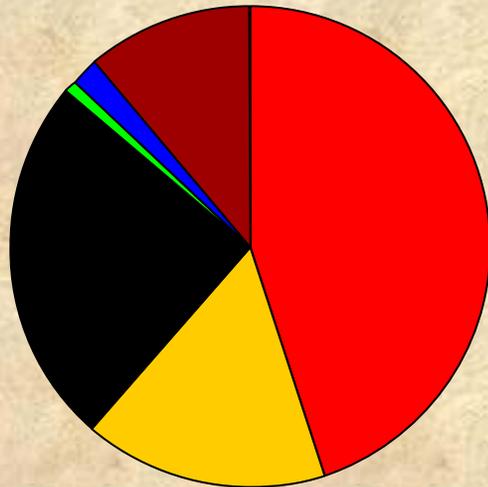
Vers le « Peak Oil » ??



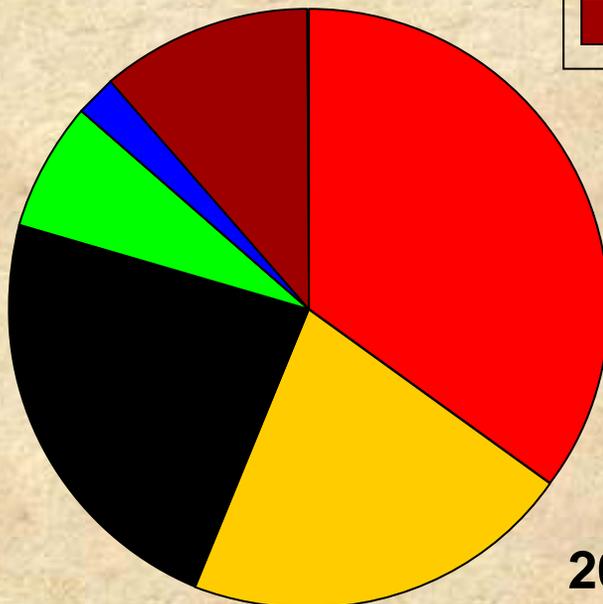
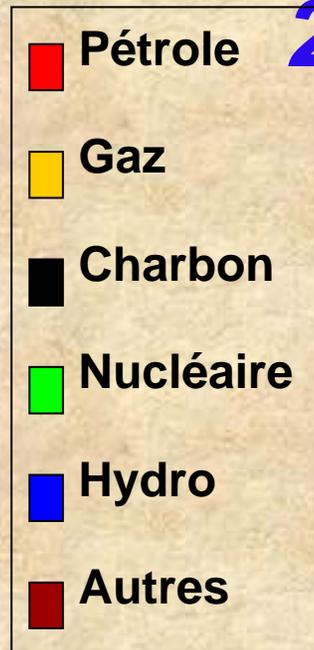
OIL AND GAS LIQUIDS 2004 Scenario



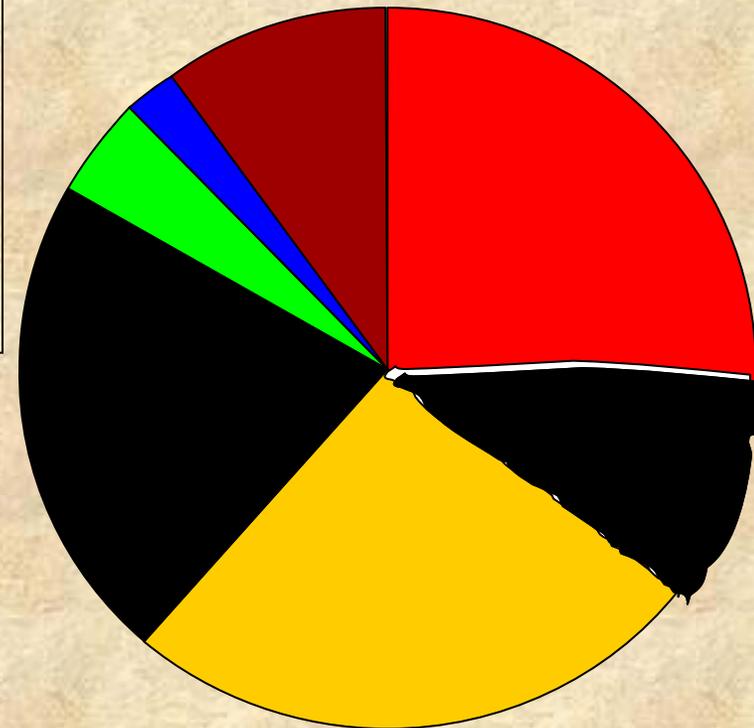
Energie Primaire 1973 – 2002 – 2030 par sources



1973 : 6 Gtep



2001 : 10 Gtep



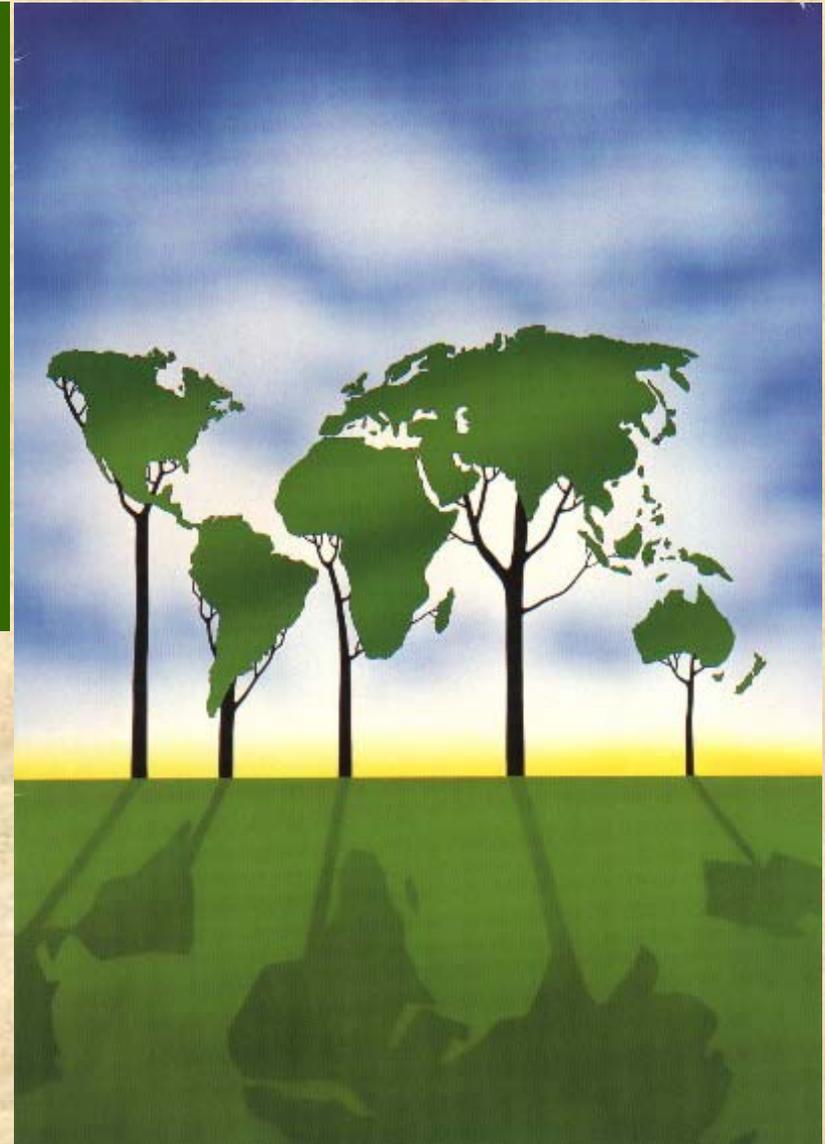
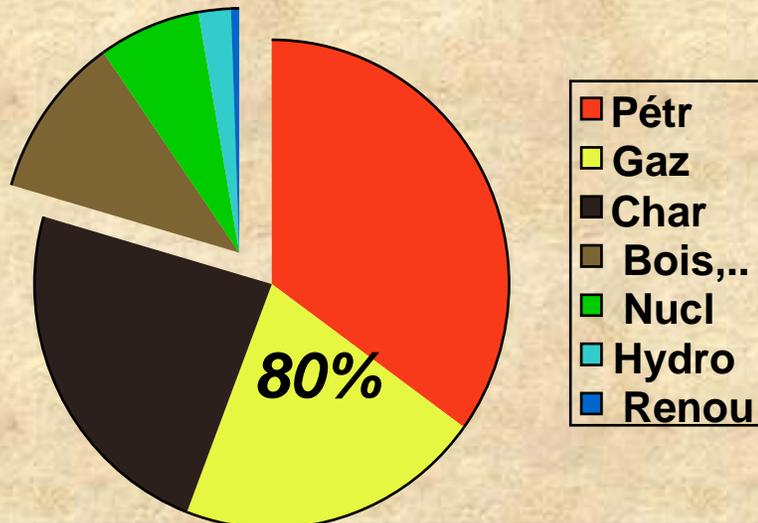
2030 : 16,3 Gtep

Key World energy Statistics IEA 2003



Le défi posé par la menace climatique

Réduire les
émissions de CO2
tout en
Produisant plus
d'énergie



Dilemme : produire plus d'énergie en réduisant les émissions de CO₂

Quelles réponses ?



Production électronucléaire 2004

Pays	GWe	TWh	Nb Réac.	%Elec
Etats-Unis	98	789	103	20
France	63	427	59	78
Japon	48	274	55	29
Allemagne	20	158	17	32
Russie	22	133	31	16
Corée Sud	17	124	20	38
Canada	12	85	17	15
Ukraine	13	81	15	51
Suède	9	75	10	52
Royaume U	12	74	23	19
MONDE	368	2 619	440	16



Site Web WNA Novembre 2005

Réacteurs en Construction, Novembre 2005

Pays	Nombre	MWe
<i>Argentine</i>	<i>1</i>	<i>692</i>
<i>Chine</i>	<i>2</i>	<i>1900</i>
<i>Finlande</i>	<i>1</i>	<i>1600</i>
<i>Inde</i>	<i>8</i>	<i>3638</i>
<i>Iran</i>	<i>1</i>	<i>950</i>
<i>Japon</i>	<i>1</i>	<i>866</i>
<i>Corée Nord</i>	<i>1</i>	<i>950</i>
<i>Roumanie</i>	<i>1</i>	<i>655</i>
<i>Russie</i>	<i>4</i>	<i>3600</i>
<i>USA</i>	<i>1</i>	<i>1065</i>
<i>Taiwan</i>	<i>2</i>	<i>2700</i>

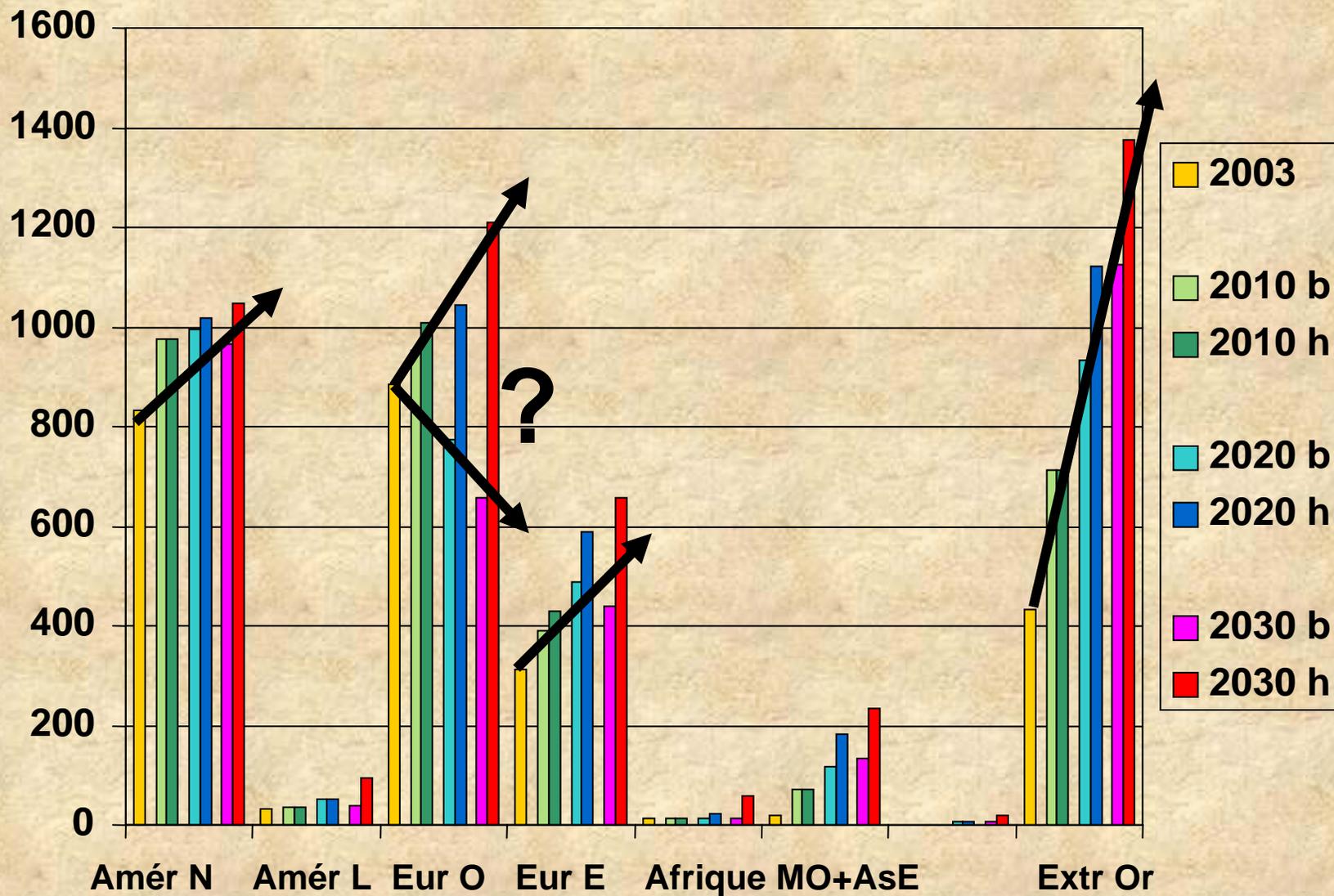
24

18518



Estimation des productions nucléaires d'ici 2030

(IAEA July 2004)



Et même en Europe, un frémissement ?

- ▶ *EPR en Finlande et en France*
- ▶ *CDU-CSU contre la sortie Allemande*
- ▶ *Après Baerseback, l'arrêt du nucléaire est remis aux calendes... suédoises*
- ▶ *Les Nouveaux Membres de l'Union sont plus positifs et vont modifier l'équilibre au PE*
- ▶ *Deux « votations » antinucléaires largement repoussées en Suisse*
- ▶ *Le « White Paper » britannique est remis en question (Tony Blair, 29/11/05)*
- ▶ *Même en Italie, seul pays au monde à avoir arrêté son programme, on peut (discrètement) murmurer le mot « nucléaire »*



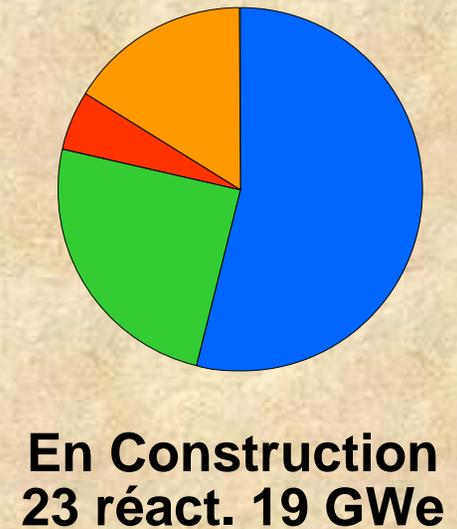
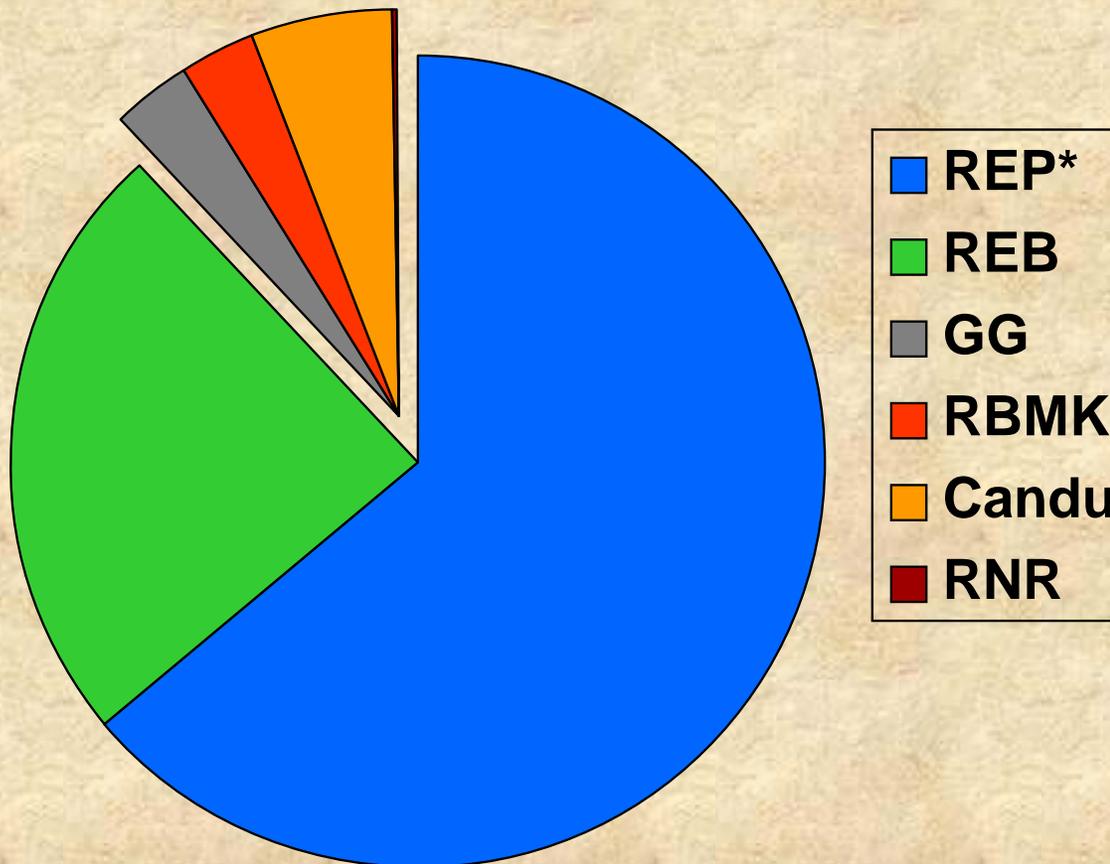
Actualité nucléaire en France Automne-Hiver 2005

- ▶ ***Choix de Cadarache pour ITER***
- ▶ ***12 septembre « première pierre » Olkiluoto 3***
- ▶ ***3 débats publics en cours, sous l'égide de la CNDP :***
 - ◆ ***EPR à Flammanville***
 - ◆ ***Ligne HT correspondante***
 - ◆ ***Gestion ultime des déchets radioactifs HA & MA-LV***
- ▶ ***Vœux J. Chirac à la presse 6/01/06 : EPR, Démo Gen IV, Loi 2006, ASN***



Le résultat de 50 ans de sélection « naturelle » : Les filières nucléaires, 2005

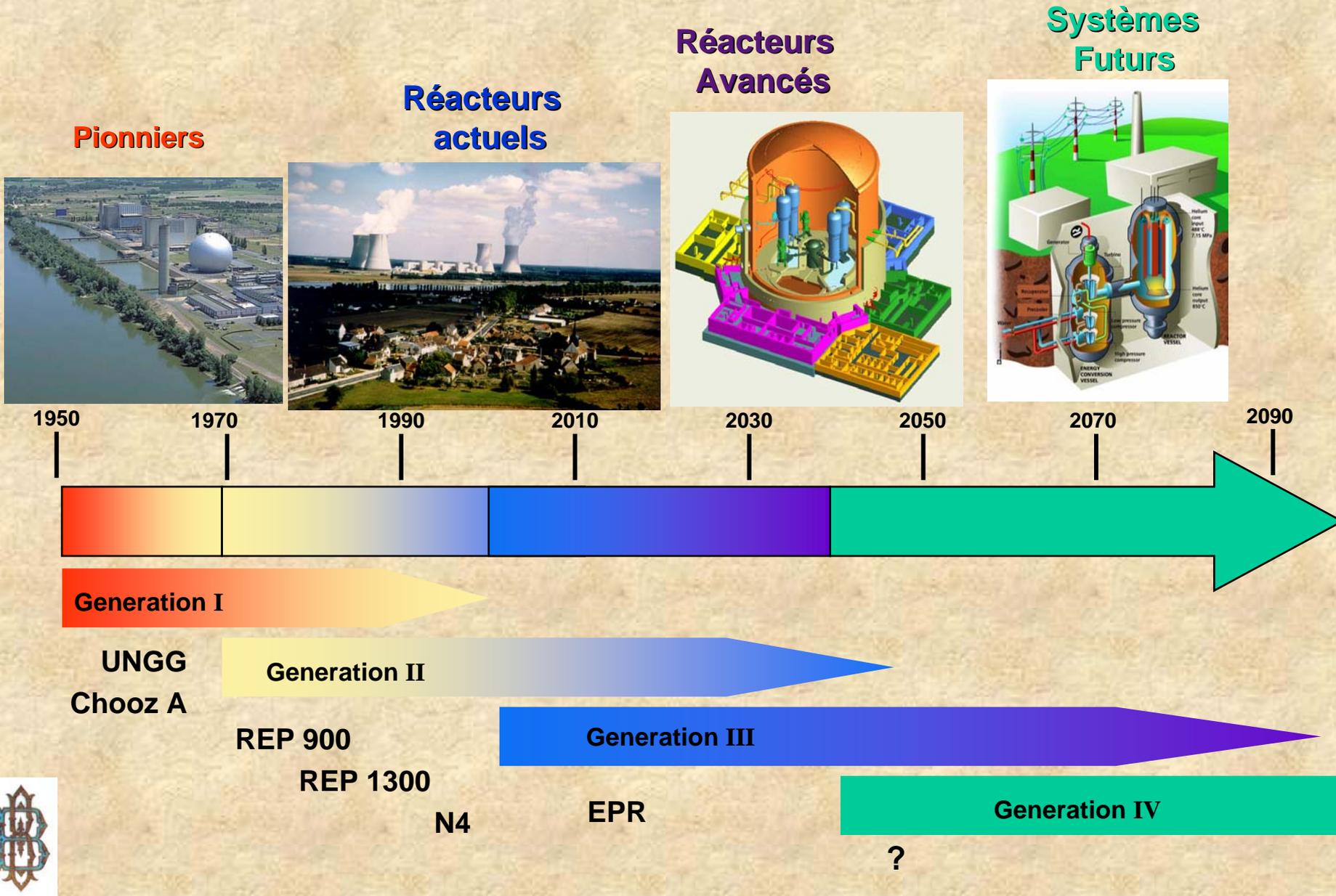
En Marche : 441 tranches 381 GWe



* VVR inclus



La Succession des Générations



Réacteurs en Construction ou en Projet

▶ GENERATION 2

- ◆ APWR (Mitsubishi)
- ◆ ABWR (GE-H-T)
- ◆ AP1400 (Korea)
- ◆ VVERs
- ◆ Candu 9

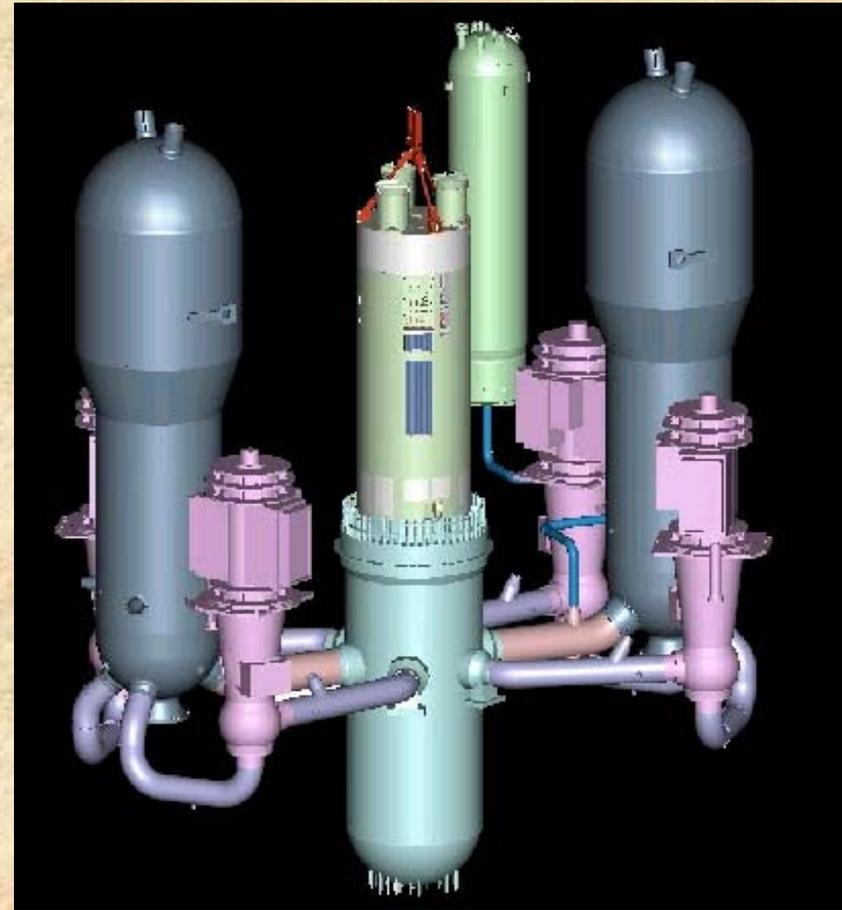
▶ GENERATION 3 :

- ◆ ABWR (GE)
- ◆ EPR
- ◆ AP 1000
- ◆ ESBWR
- ◆ SWR 1000
- ◆ ACR 1000



Primary Circuit AP 1400 (S. Korea)

- Extension of the KSNP
- Changes in component size, design parameters to increase heat transfer
- New features for SI, OPP, severe accident mitigation, RV head area simplification



Les grands traits de la Génération 3

- **Sûreté accrue** (*prévention & mitigation*)
- **Simplification**
- **Fiabilité & Souplesse**
- **Économie**



ABWR Nuclear Plant

Plant output, Mwe

1350 nominal

1400 cold sea-water site

can be uprated to 1500

Single, stand-alone unit

Licensed in three countries

Safety a decade improved

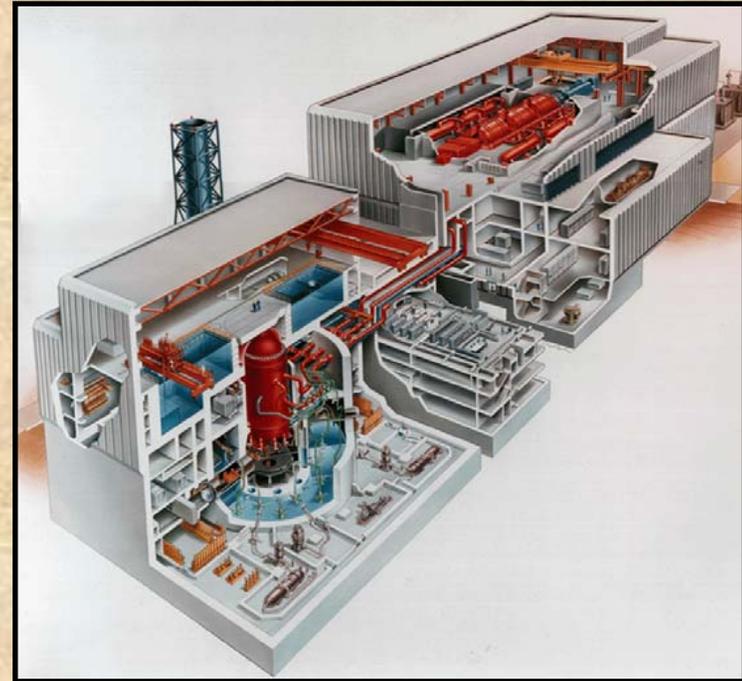
Meets EPRI URD

Being reviewed against EUR

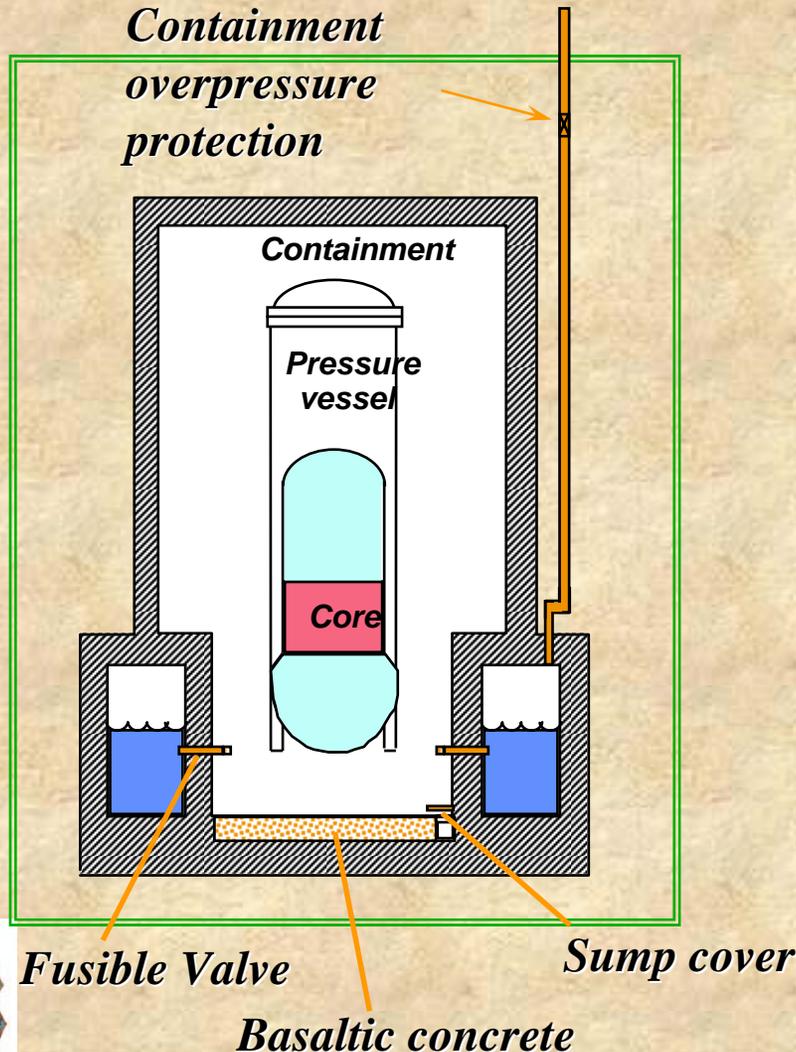
Fully engineered, except for site engineering

Has been constructed in 48 months

Next ABWR unit will be the fifth (5th) in the series



ABWR Passive Severe Accident Mitigation Features



ABWR passive features which mitigate severe accidents

- Inerted containment
- Lower drywell flood capability
- Lower drywell special concrete and sump protection
- Suppression pool - fission products scrubbing and retention
- Containment overpressure protection

High degree of public protection



L' ABWR « Gen 3 » de Lungmen en construction

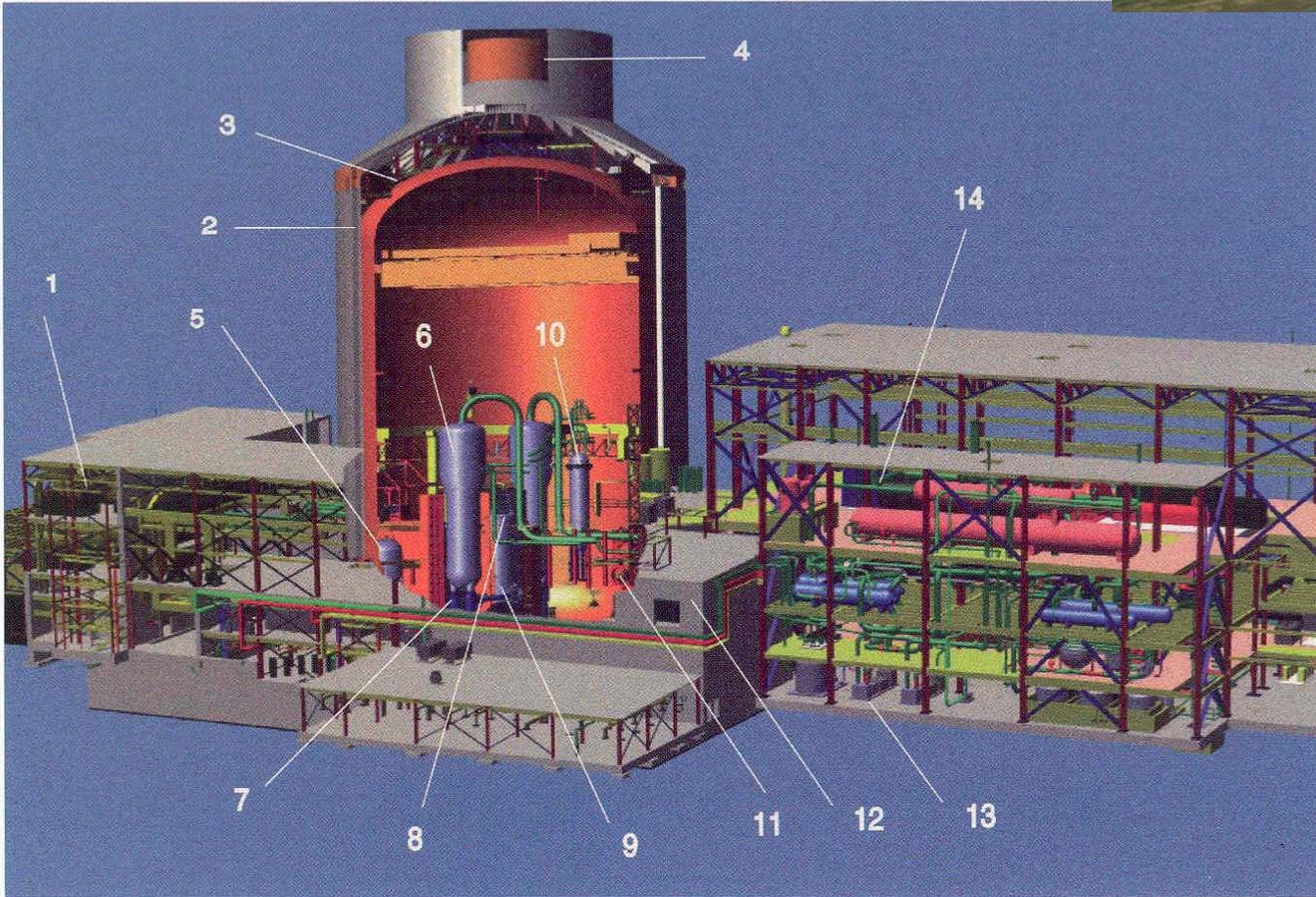
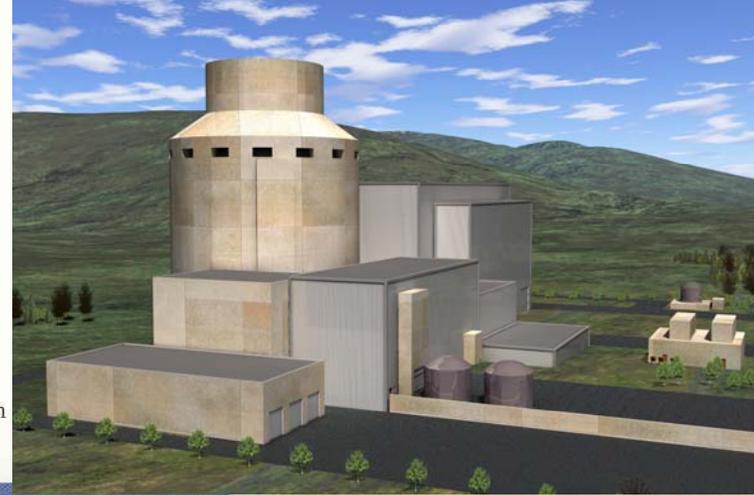


Westinghouse

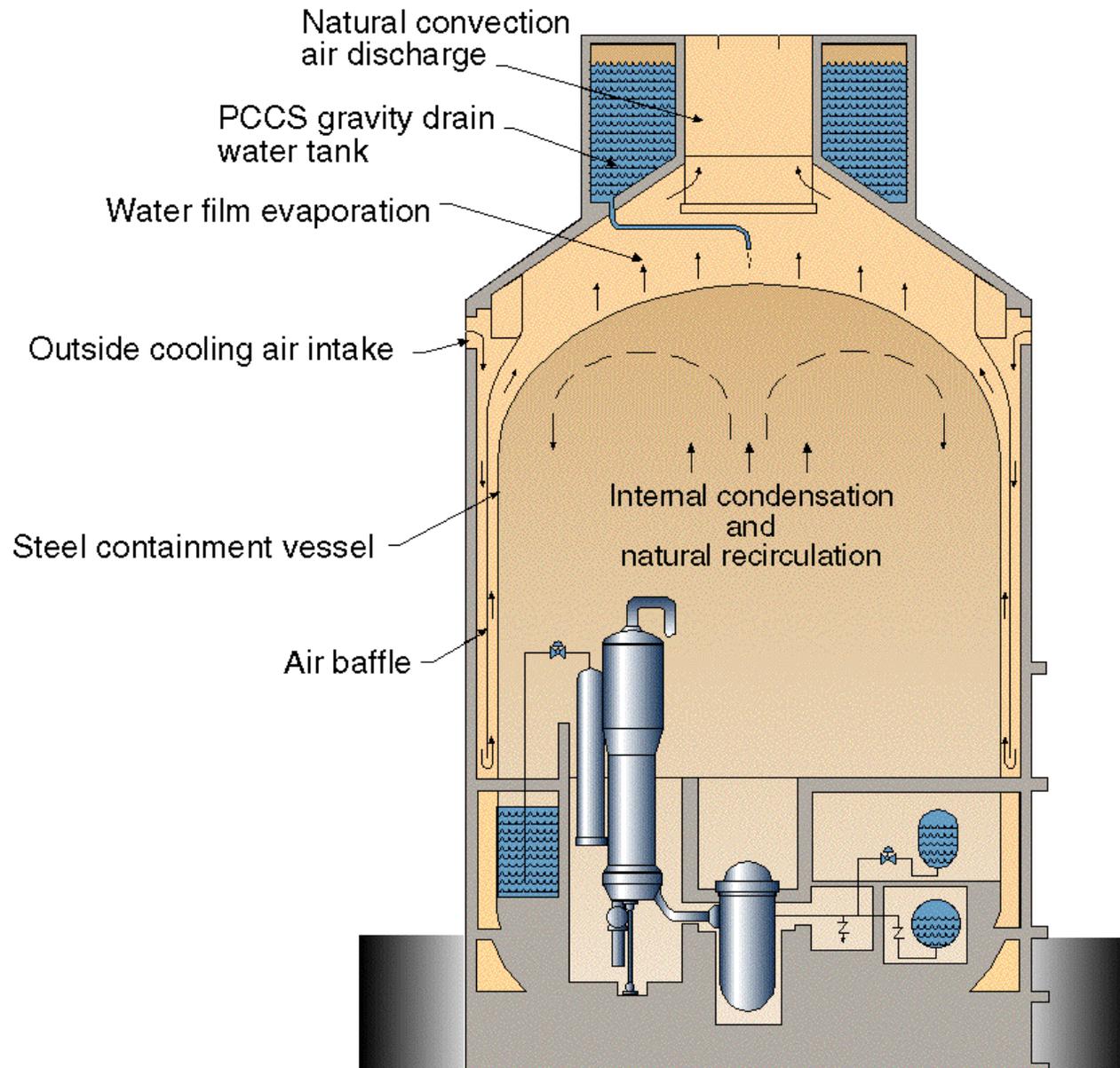
AP1000

Design Features:

- 1000 MWe per Unit
- 90%+ Plant Availability
- 60 Year Operating Lifetime
- No Greenhouse Gas Emissions
- 18 to 24 Month Fuel Cycles
- 36 Month Construction Schedule from Concrete to Fuel Load

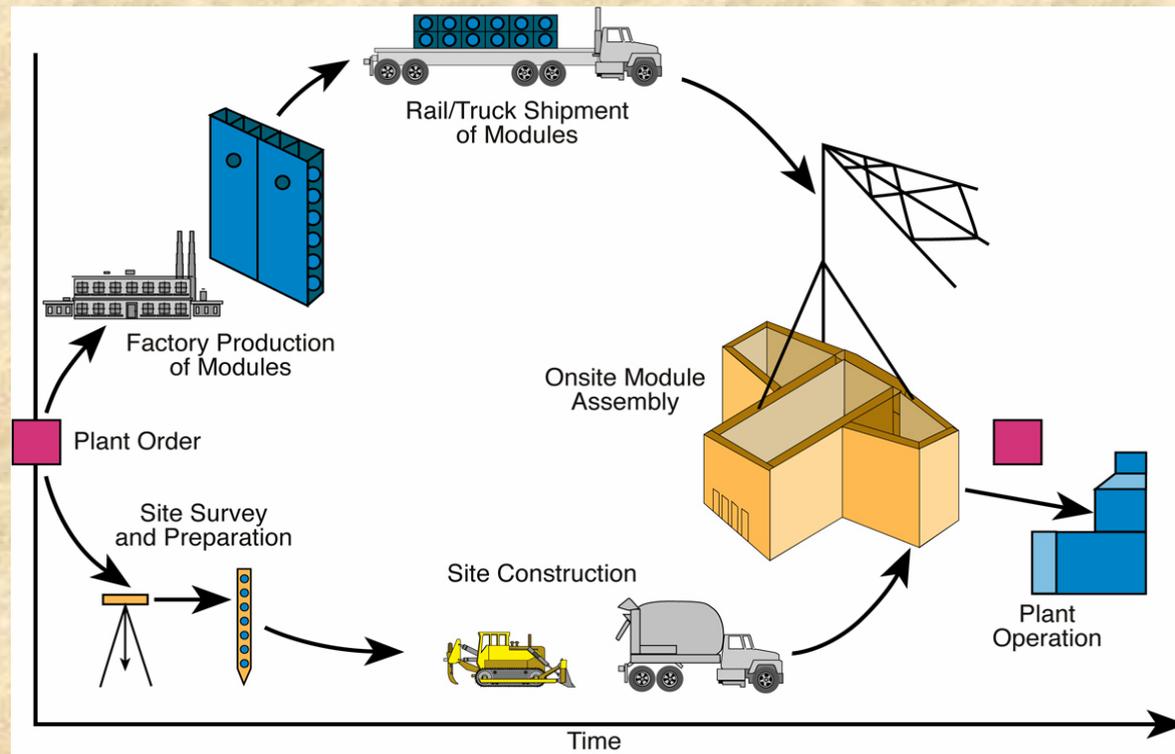


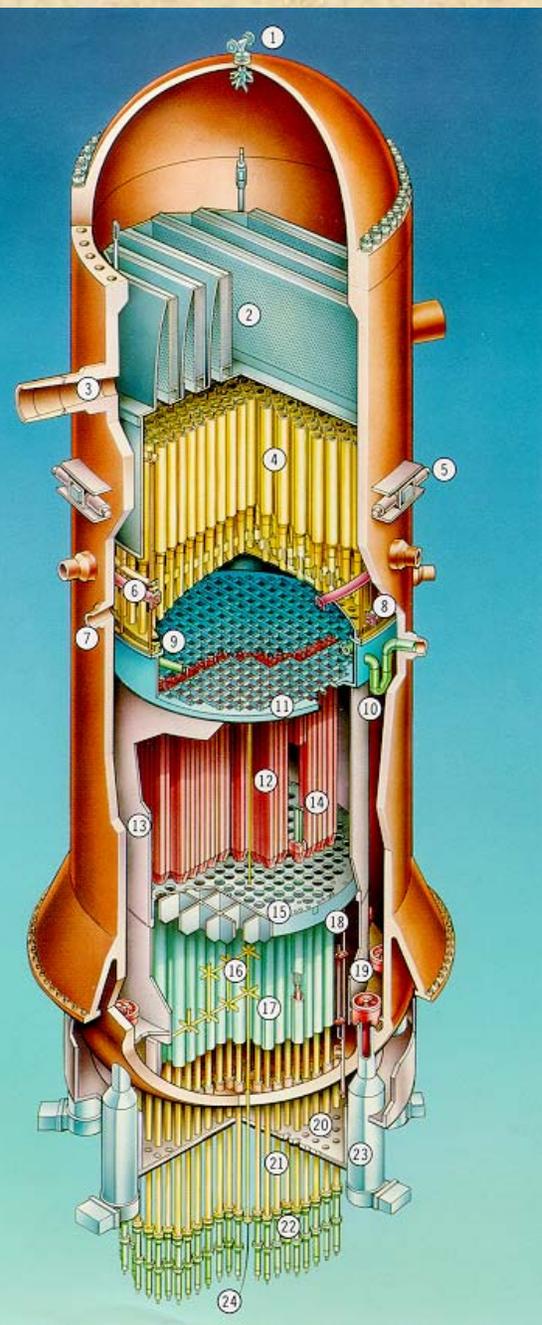
Containment Cooling



Modular design for simplified construction

- ▶ **Constructed with 300 large modules**
- ▶ **Factory manufacture and assembly of modules**
- ▶ **Pre-testing and inspection prior to shipment**
- ▶ **36 month construction schedule independently supported**



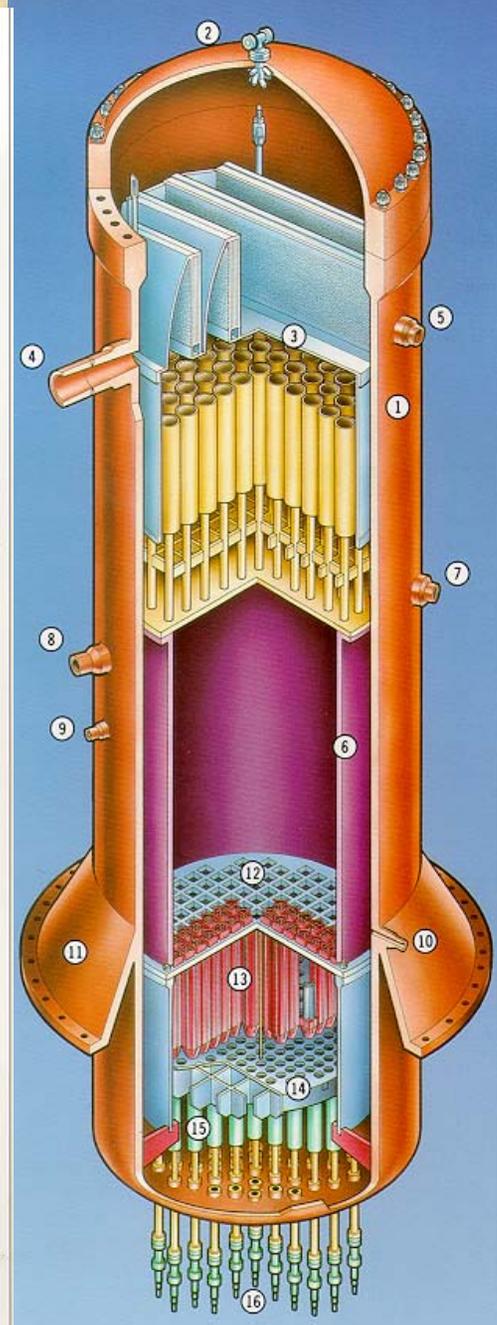


Advanced Boiling Water Reactor Assembly

- 1 Vent and Head Spray
- 2 Steam Dryer
- 3 Steam Outlet Flow Restrictor
- 4 Steam Separators
- 5 RPV Stabilizer
- 6 Feedwater Sparger
- 7 Shutdown Cooling Outlet
- 8 Low Pressure Flooder (LPFL) and Shutdown Cooling Sparger
- 9 High Pressure Core Flooder (HPCF) Sparger
- 10 HPCF Coupling
- 11 Top Guide
- 12 Fuel Assemblies
- 13 Core Shroud
- 14 Control Rod
- 15 Core Plate
- 16 In-Core Instrument Guide Tubes
- 17 Control Rod Guide Tubes
- 18 Core Differential Pressure Line
- 19 Reactor Internal Pumps (RIP)
- 20 Thermal Insulation
- 21 Control Rod Drive Housings
- 22 Fine Motion Control Rod Drives
- 23 RIP Motor Casing
- 24 Local Power Range Monitor



GE Nuclear Energy



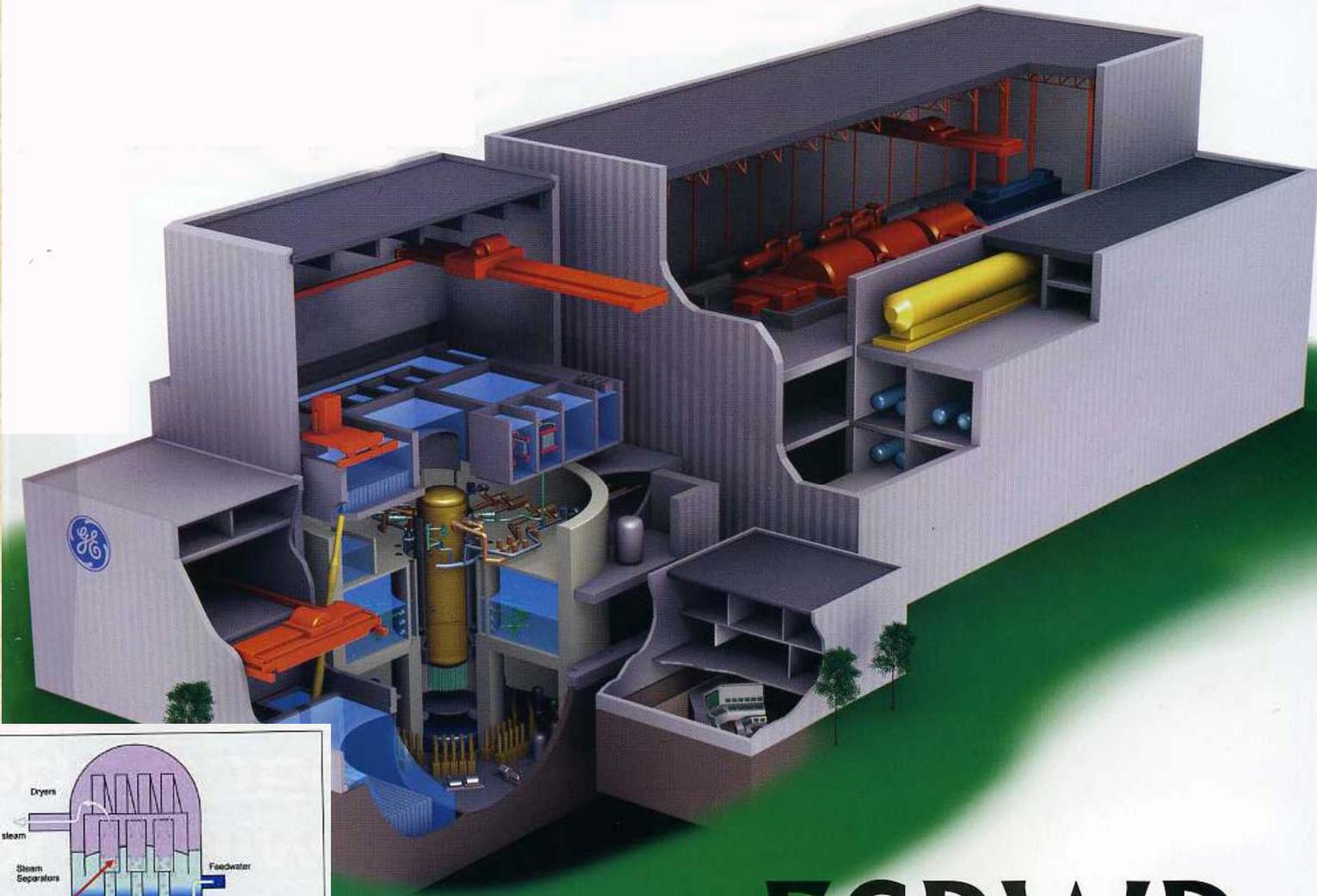
Simplified Boiling Water Reactor Assembly

- 1 Reactor Pressure Vessel
- 2 RPV Top Head
- 3 Integral Dryer-Separator Assembly
- 4 Main Steam Line Nozzle
- 5 Depressurization Valve Nozzle
- 6 Chimney
- 7 Feedwater Inlet Nozzle
- 8 Reactor Water Cleanup/Shutdown Cooling Suction Nozzle
- 9 Isolation Condenser Return Nozzle
- 10 Gravity-Driven Cooling System Inlet Nozzle
- 11 RPV Support Skirt
- 12 Core Top Guide Plate
- 13 Fuel Assemblies
- 14 Core Plate
- 15 Control Rod Guide Tubes
- 16 Fine Motion Control Rod Drives



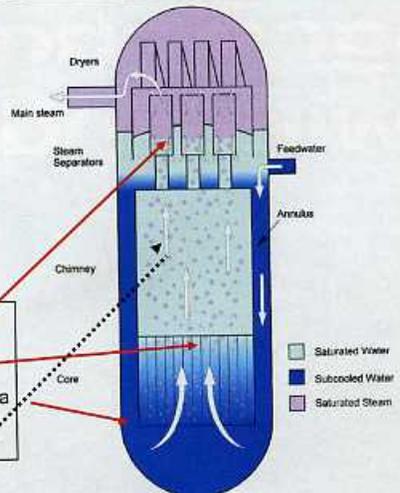
GE Nuclear Energy





THE ESBWR

Natural circulation achieves simplification without performance loss

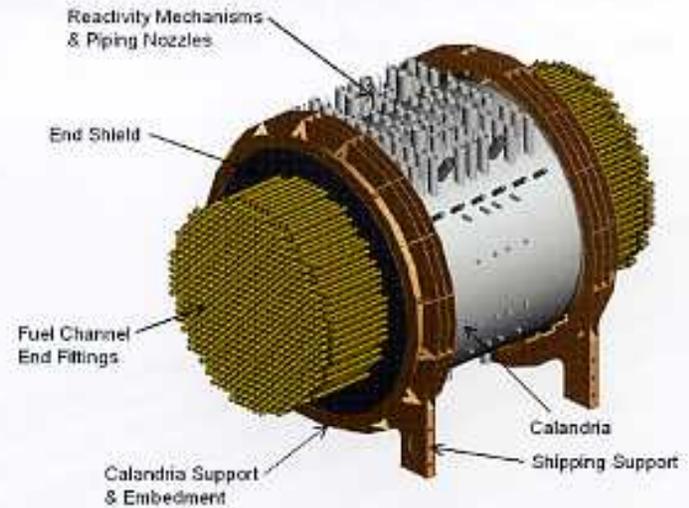


- Reduced flow restrictions
- Improved separators
- Shorter core
- Increase downcomer area
- Higher driving head
- Chimney/taller vessel

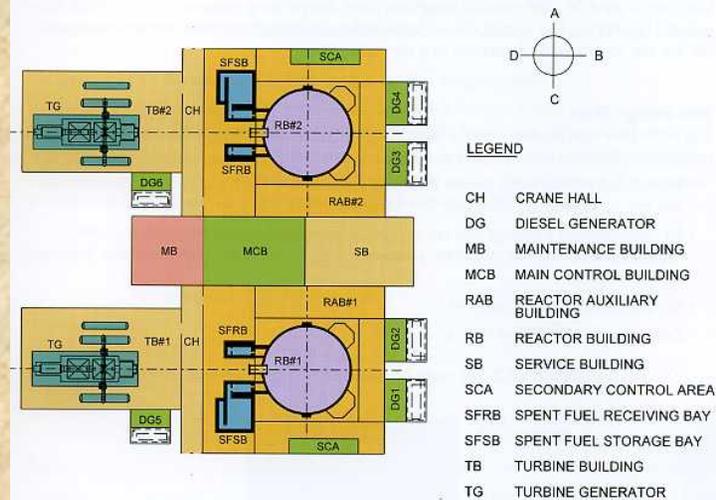
ACR 1000



Reactor Building Cutaway



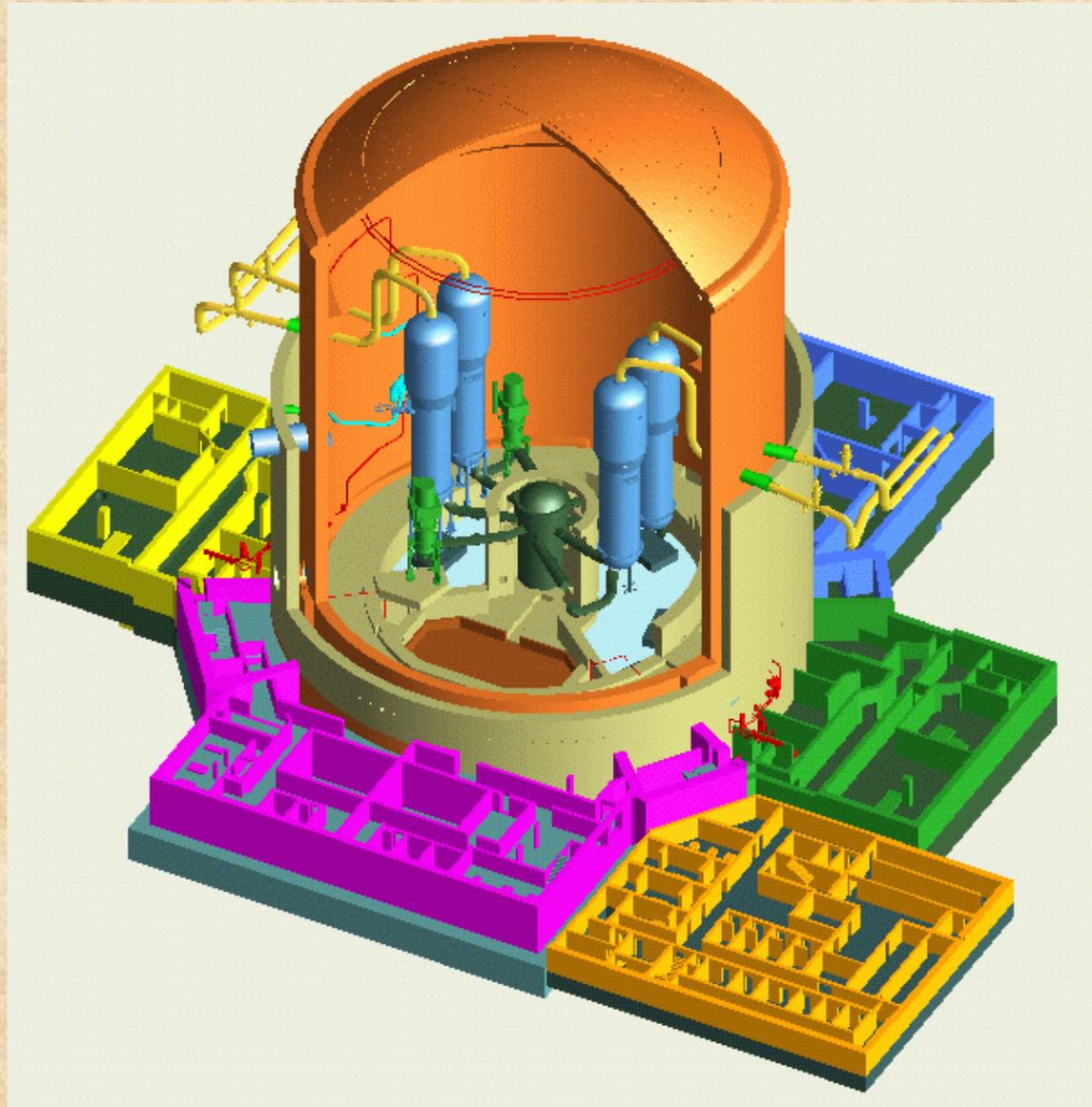
ACR-1000 Reactor Assembly

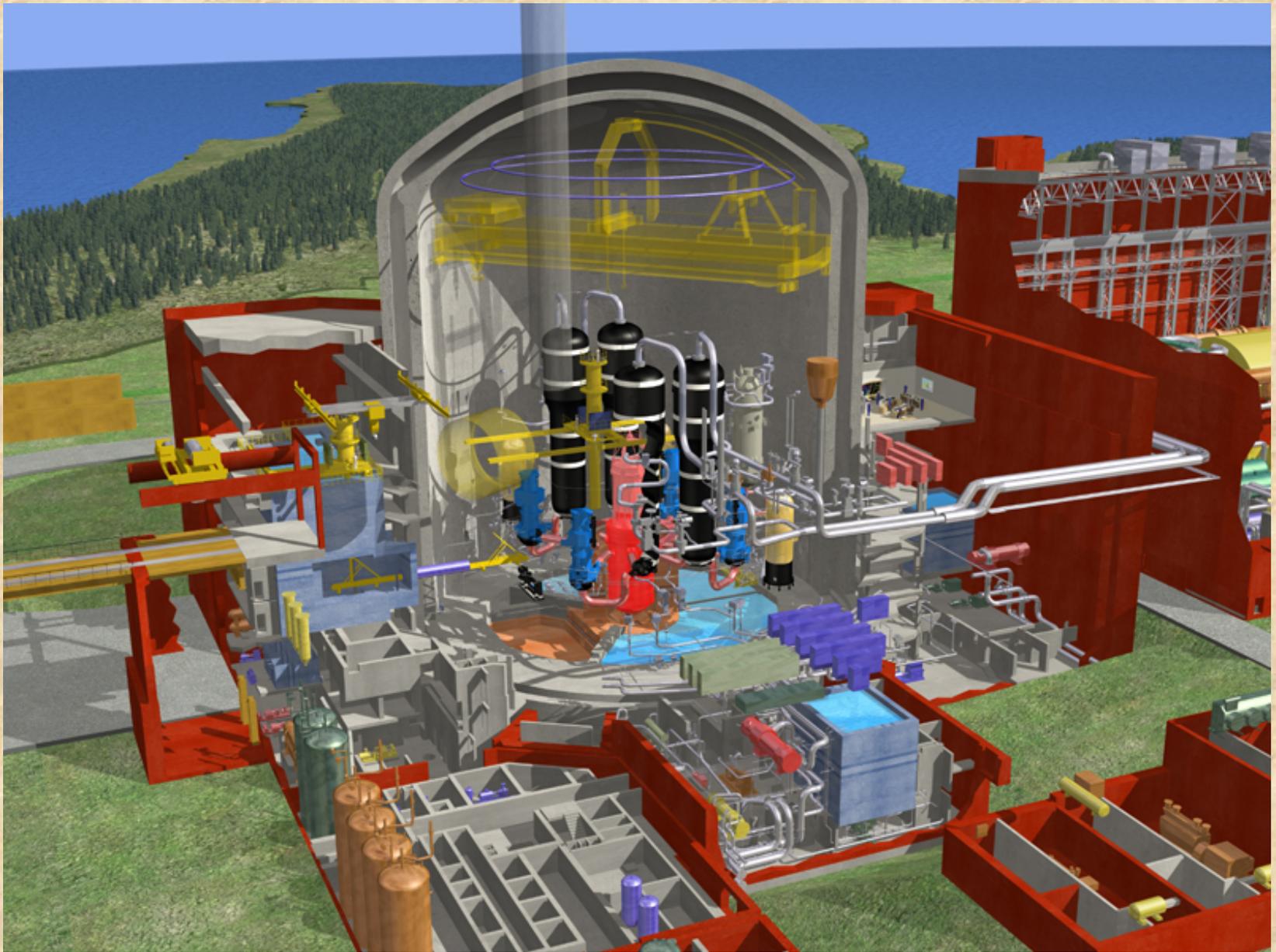


ACR-1000 Two-Unit Plant Layout of Major Structures



The Evolutionary Power Reactor





Les projets EPR en cours...

On construit



On lance



On offre



On prépare

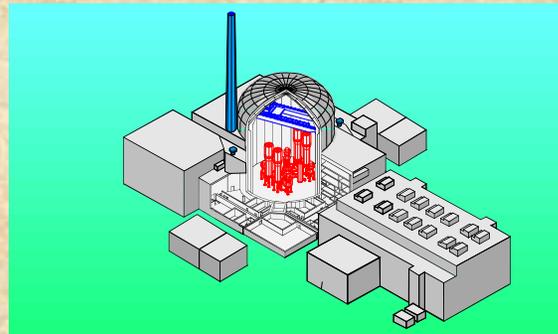
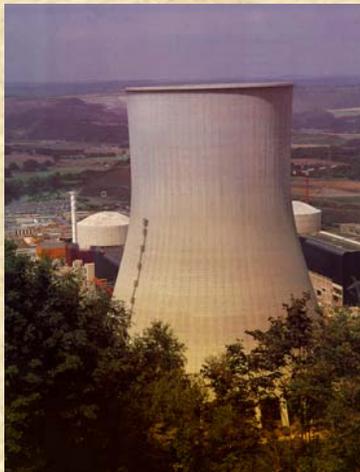


EPR

Evolutionary Design built on Experience from the Most Recent Reactors

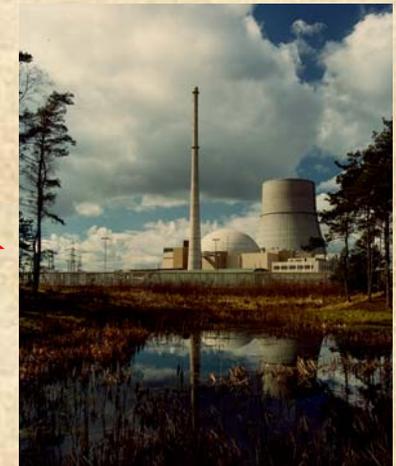
**Enhanced Safety
Level**

N4



**Competitive with
alternative power
sources**

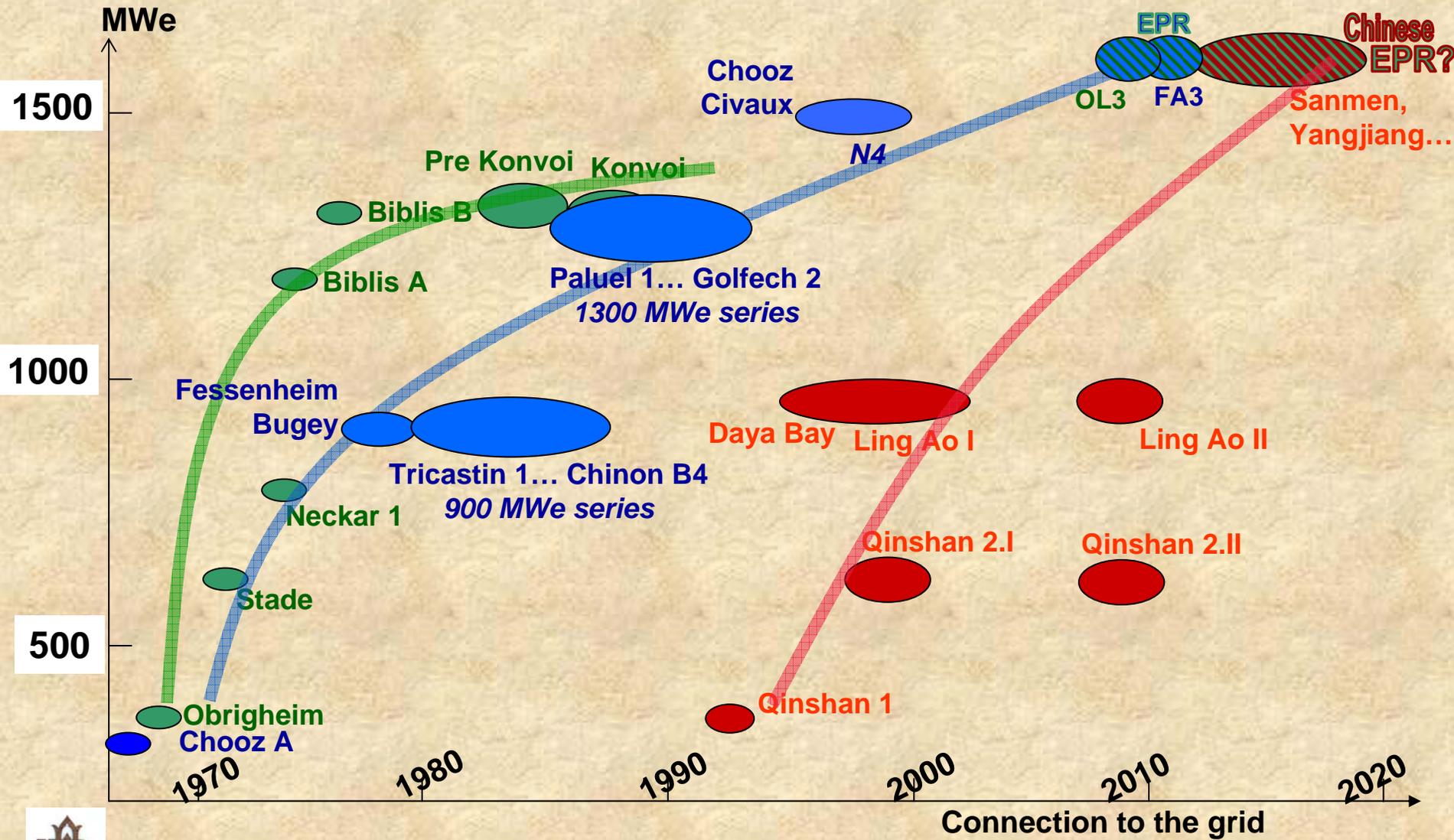
KONVOI



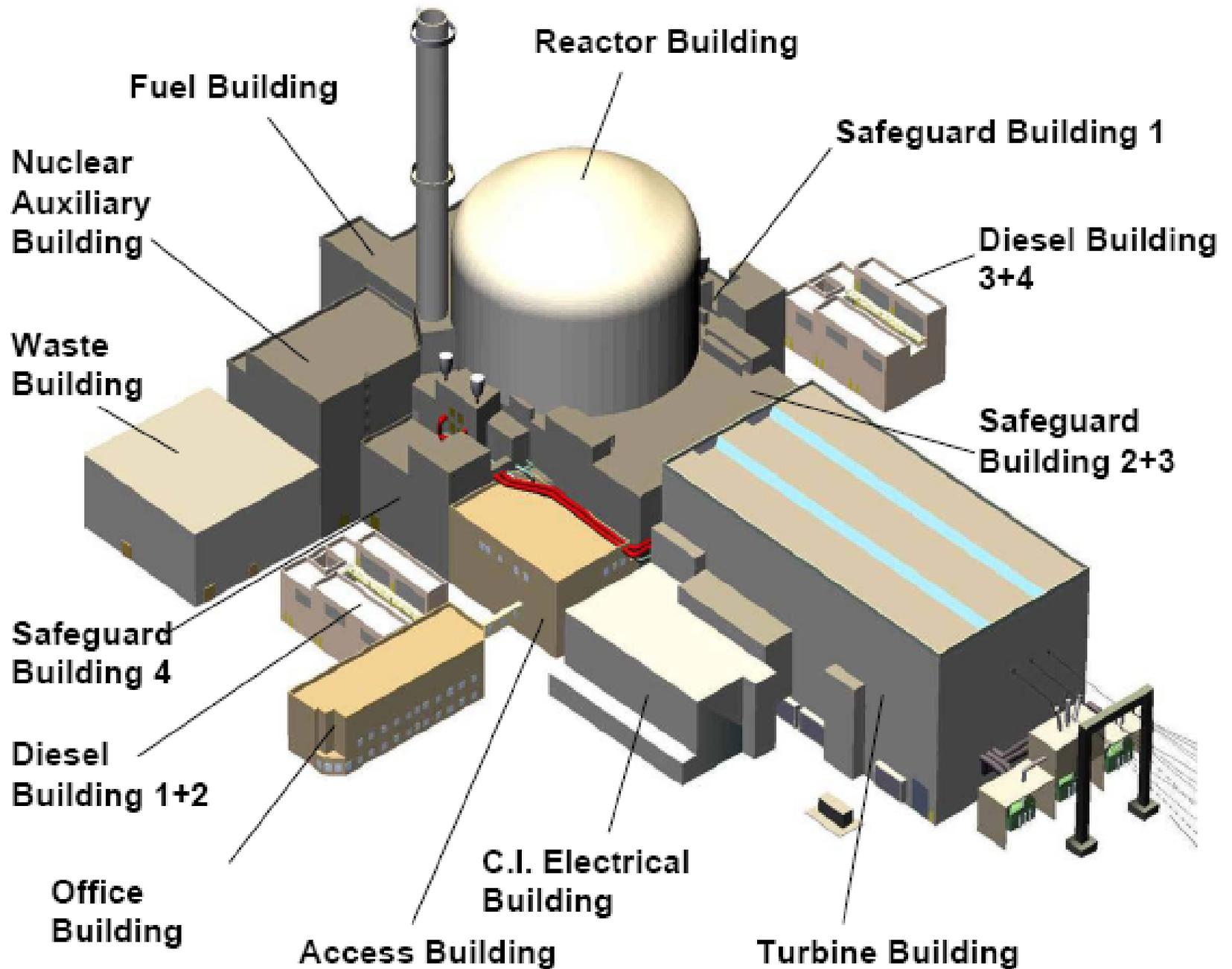
**Evolutionary
development
keeps references**

**Solid Basis of Experience
with Outstanding Performance**





► **Un retour d'expérience considérable**



1 : réduire la probabilité d'occurrence d'un accident grave

- Amélioration de la prévention afin de réduire la probabilité d'occurrence des accidents

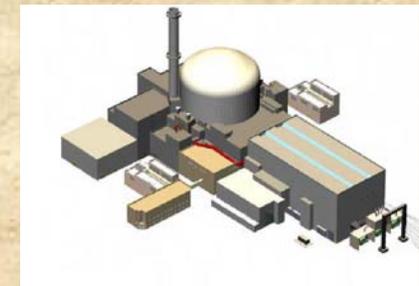
Systemes de sauvegarde conçus avec une redondance d'ordre 4 (4 trains)



REGLE EPR :

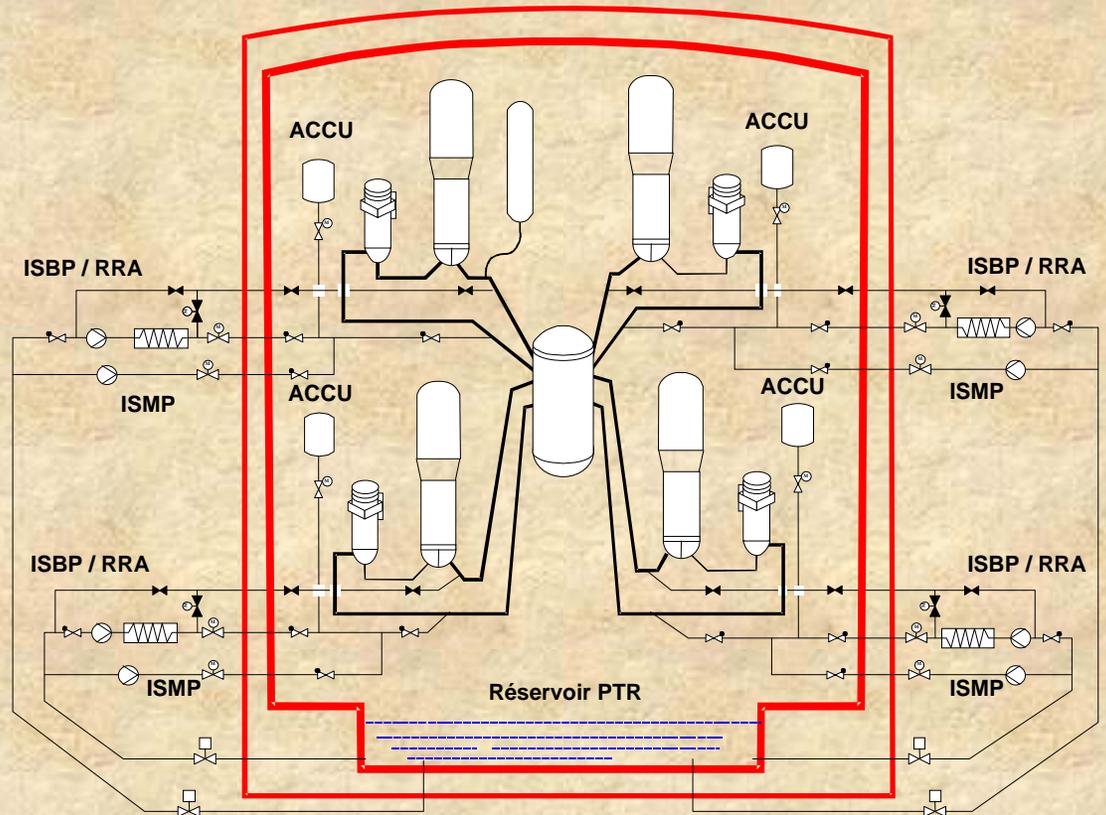
1 train perdu – accident
1 train perdu par convention
1 train non disponible car en maintenance

1 seul train disponible requis pour la gestion de l'accident

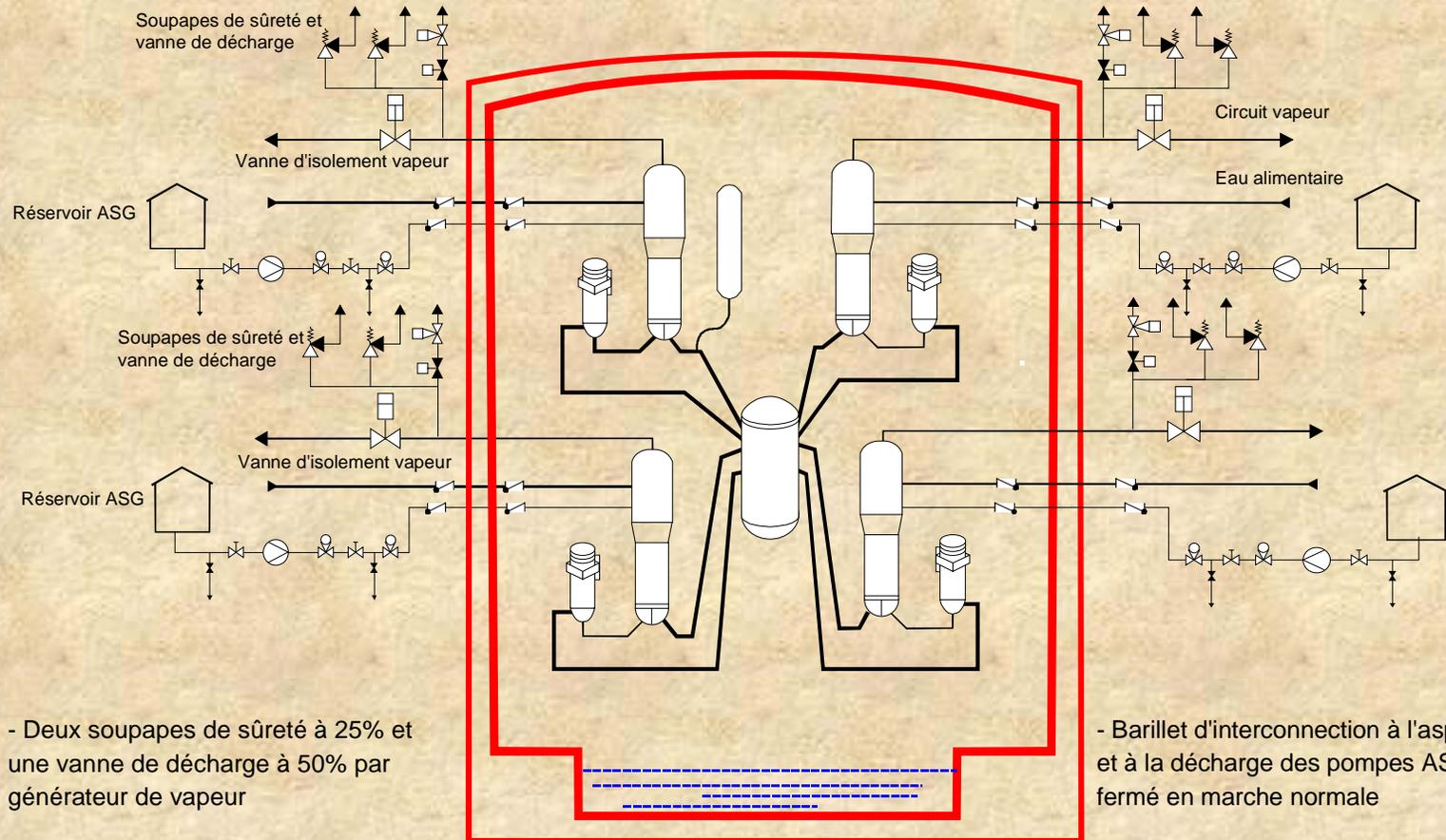


Systemes de sécurité (primaire)

- Injection de sûreté à quatre trains
- Réservoir d'eau borée à l'intérieur de l'enceinte
- Pas de nécessité d'une aspersion d'enceinte pour les accidents sans fusion du coeur
- Refroidissement à l'arrêt assuré par le système d'injection de sécurité basse pression
- Système de borication d'urgence à deux trains (non représenté sur cette figure)



Systemes de sécurité (2ndaire)



- Deux soupapes de sûreté à 25% et une vanne de décharge à 50% par générateur de vapeur

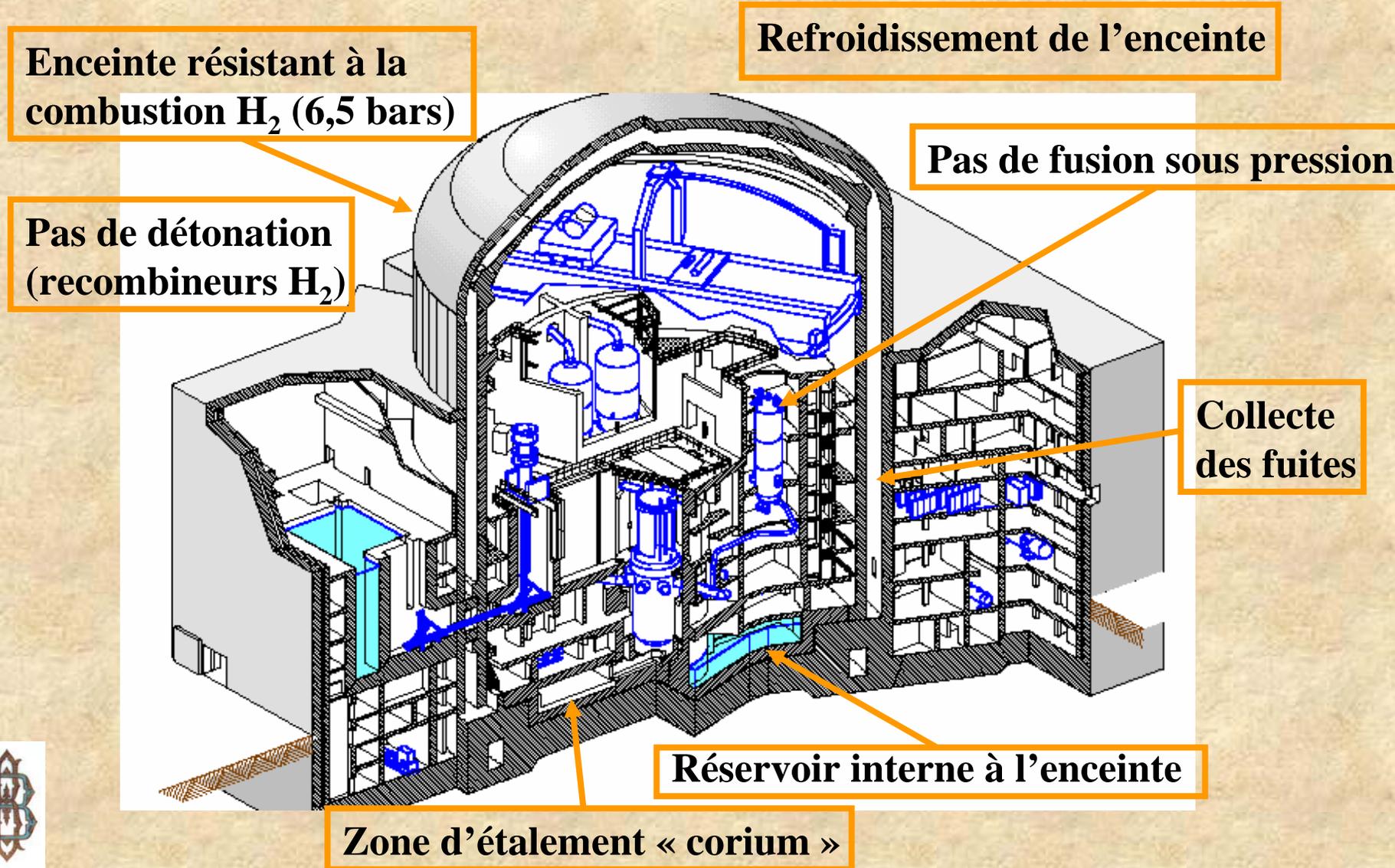
- Système d'eau alimentaire de secours à quatre trains

- Barillet d'interconnection à l'aspiration et à la décharge des pompes ASG fermé en marche normale

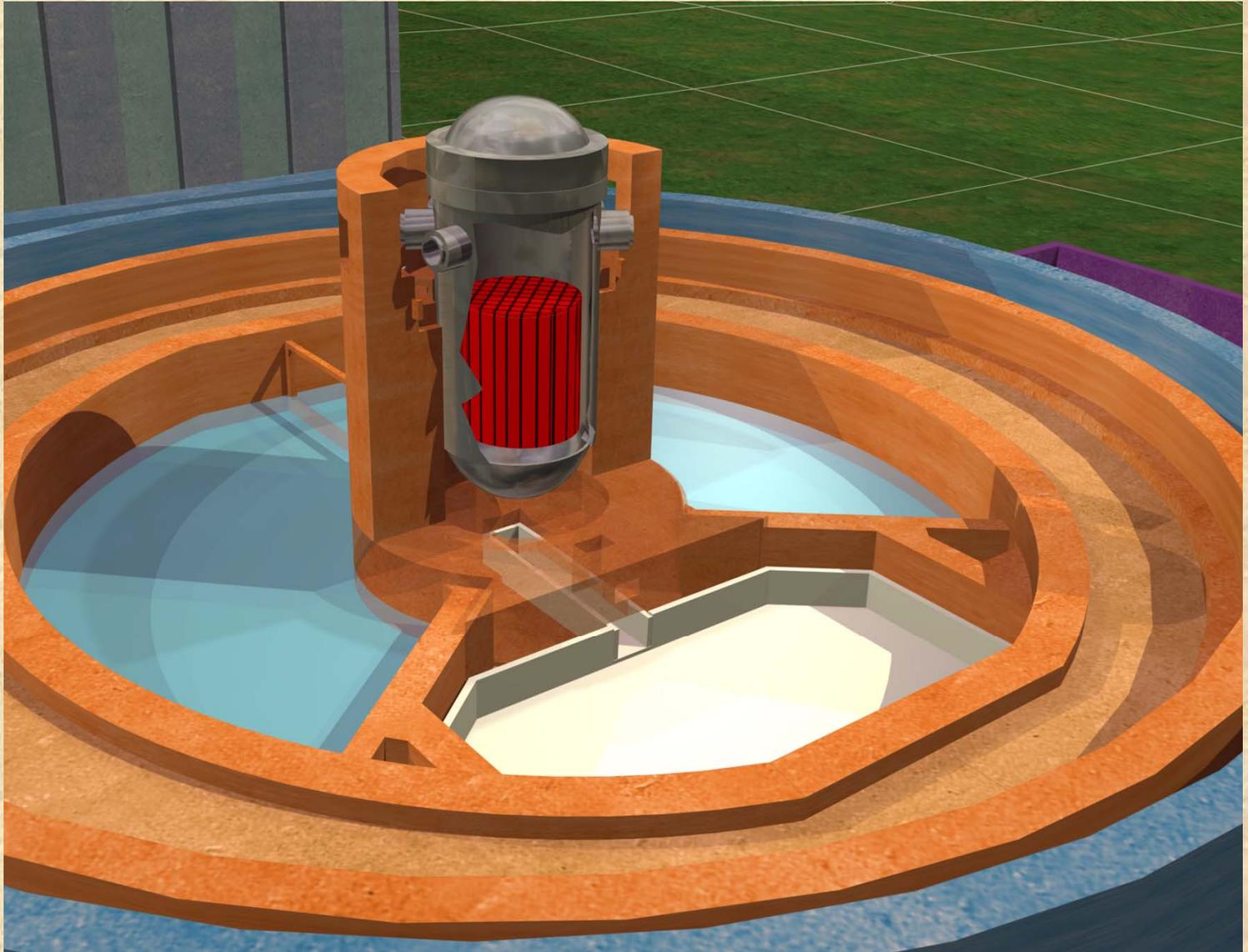
- Source électrique diversifiée complémentaire pour deux des quatre trains (deux petits diesels)



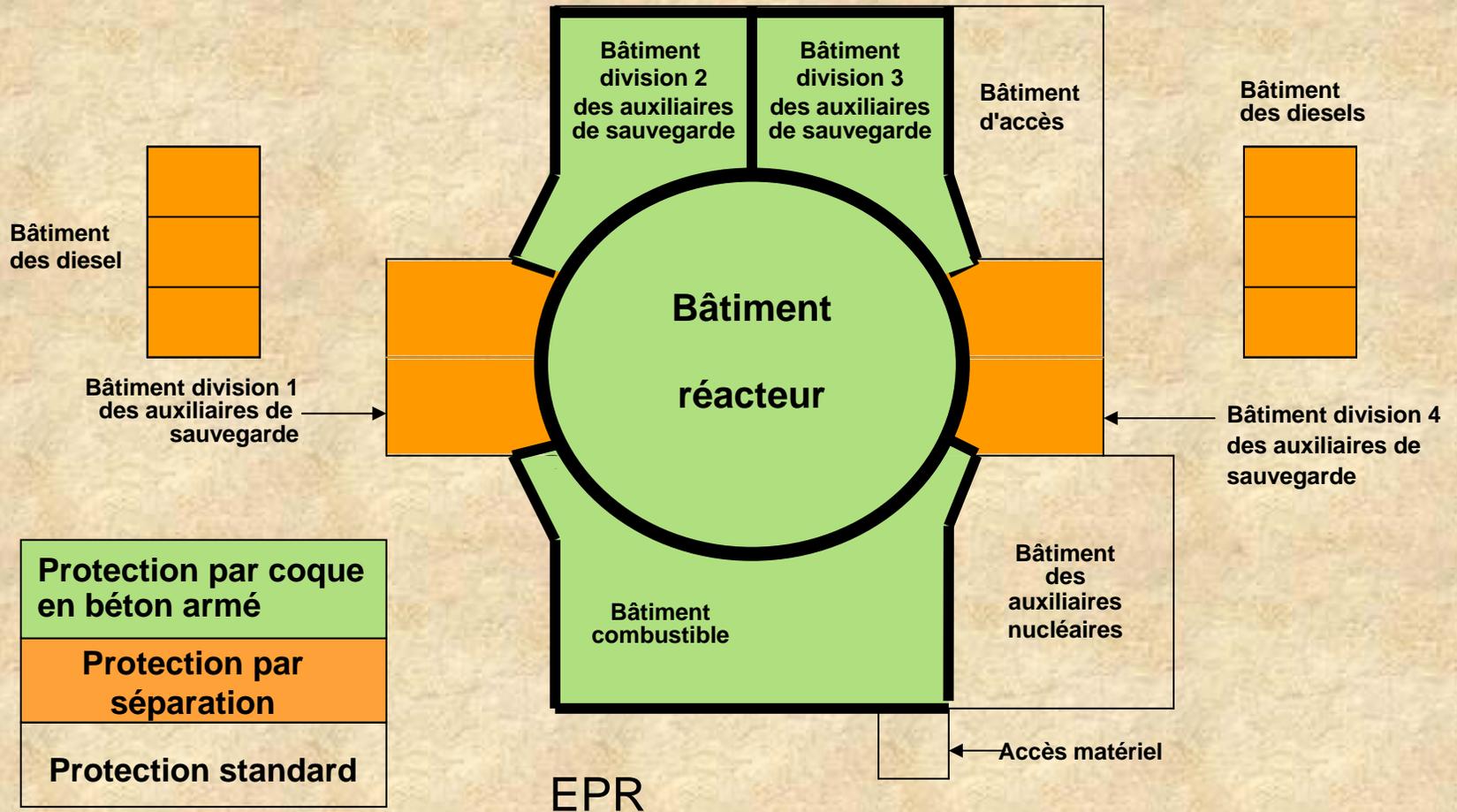
La « mitigation » dans EPR



Le récupérateur de corium

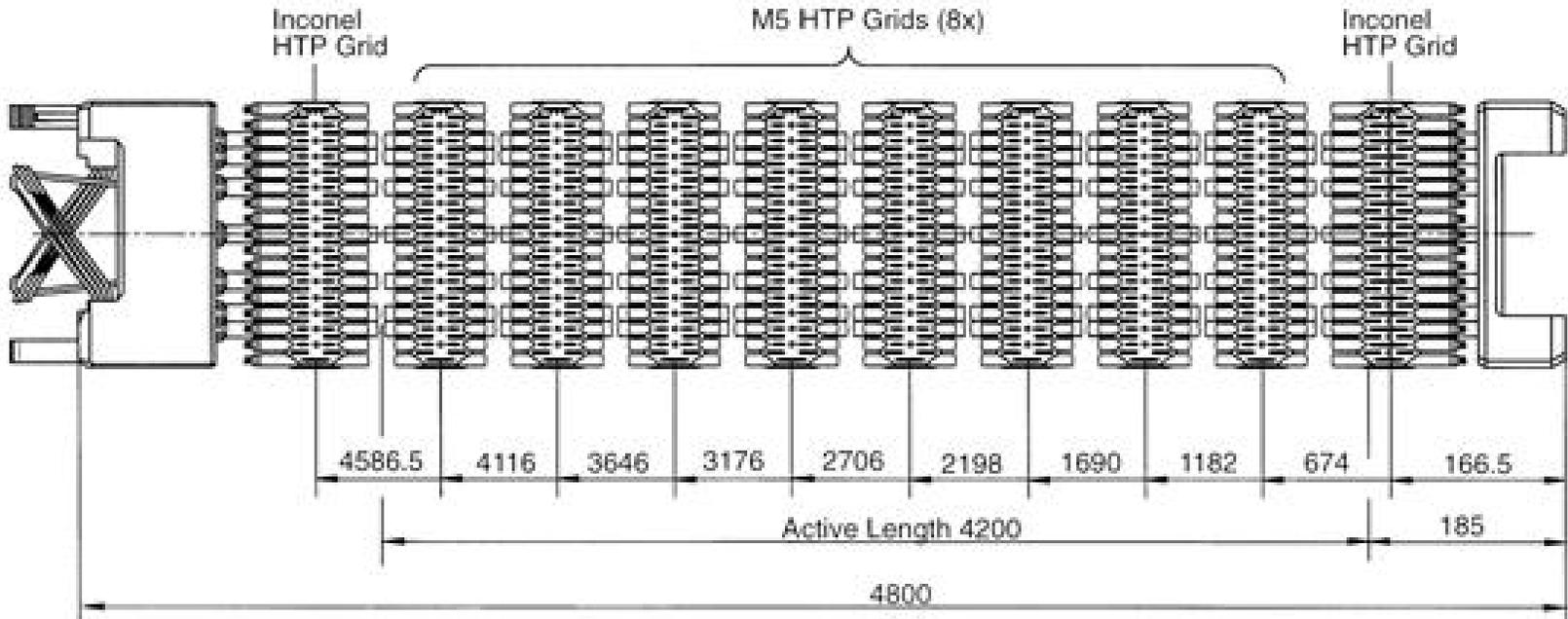


EPR est très protégé contre les agressions

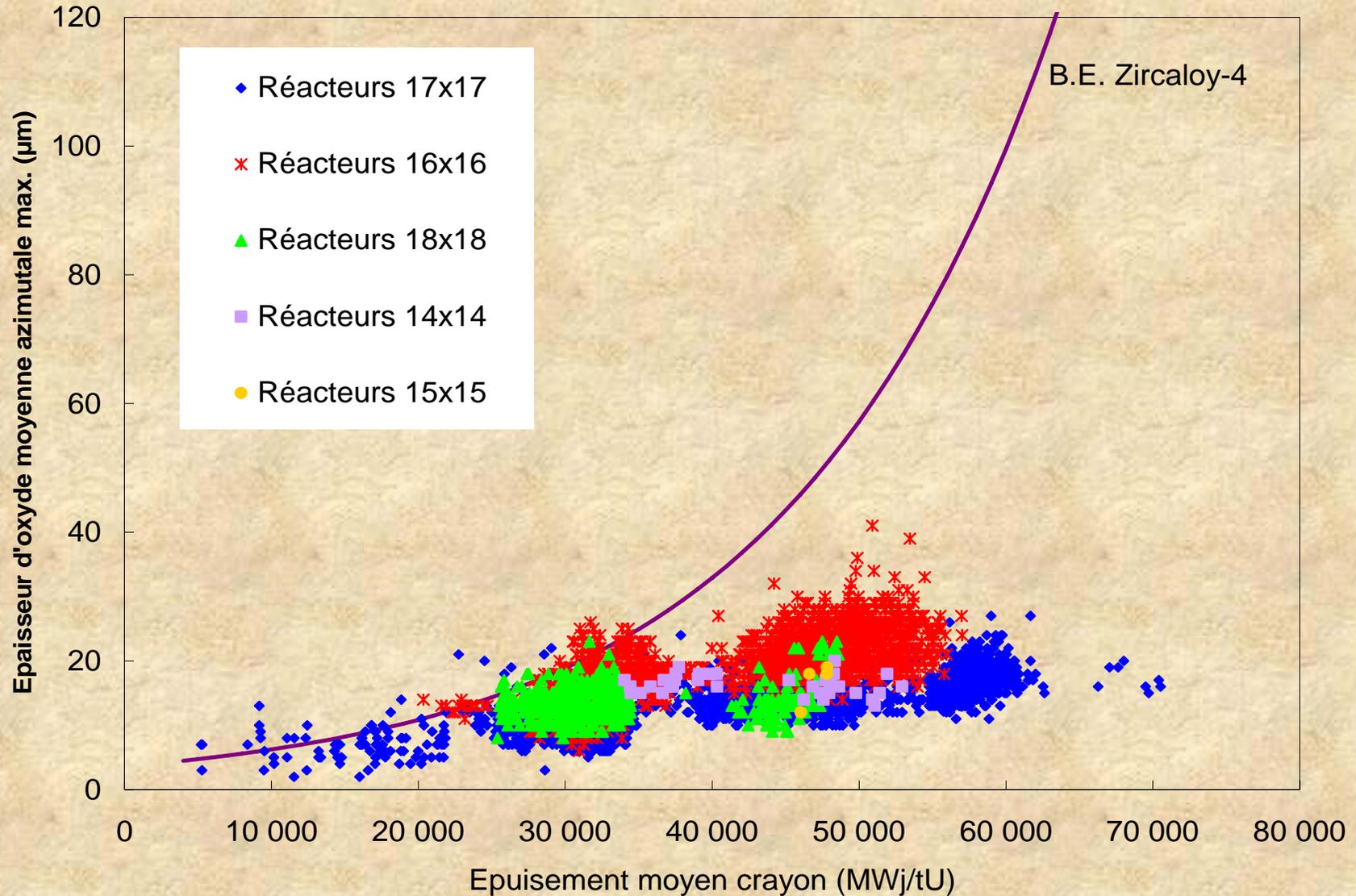


Le combustible d'EPR

- ▶ **HTP LX : Conçu pour des burnup de 70 GWj/t**
 - ◆ Structure et gainage M5
 - ◆ Grilles HTP
 - ◆ Tube guide Monobloc



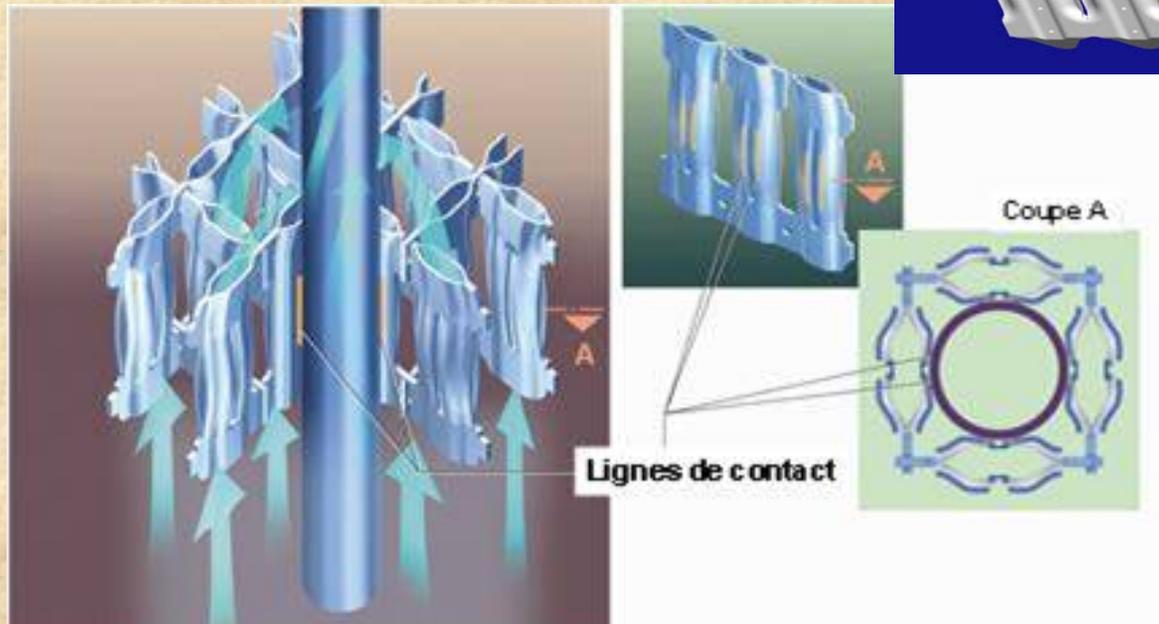
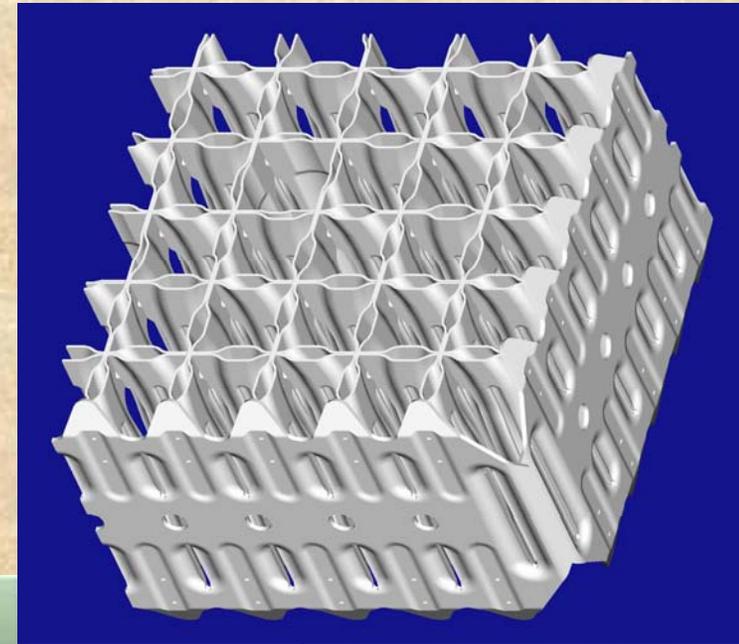
Performances : Résistance à la corrosion



Fonction mélange assurée par des tuyères (et non des ailettes)

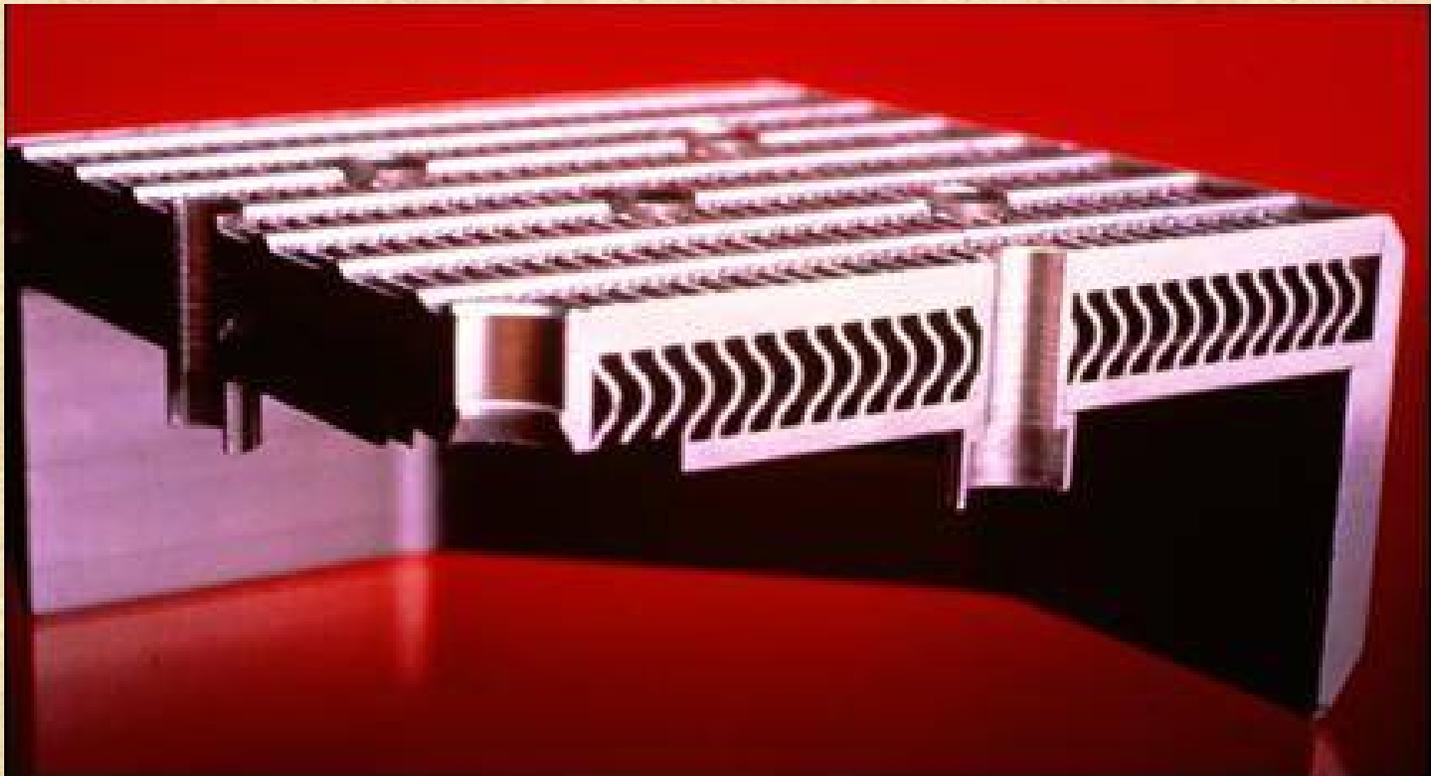
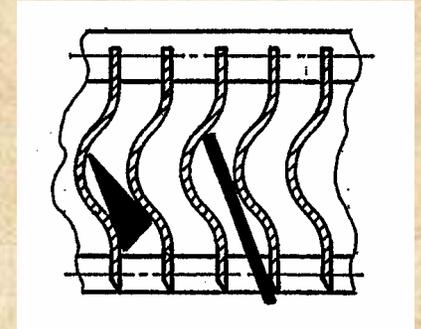
Maintien du crayon par des contacts linéaires avec la grille

- ◆ **Résistance au fretting**
- ◆ **Résistance aux sollicitations concourant aux déformations d'assemblages**
- ◆ **Résistance au flambage**



L'embout Robust Fuelguard™

- ◆ Grande protection de l'assemblage / corps migrants
- ◆ Embout EPR moins haut que celui des 14 ft actuels permet de disposer d'un plenum plus important pour le crayon combustible => potentiel de burnup plus élevé



Salle de contrôle « operator-friendly » I&C entièrement digitalisés

**L'EPR profite de l'excellent
Retour d'expérience du N4**



N4 Control Room



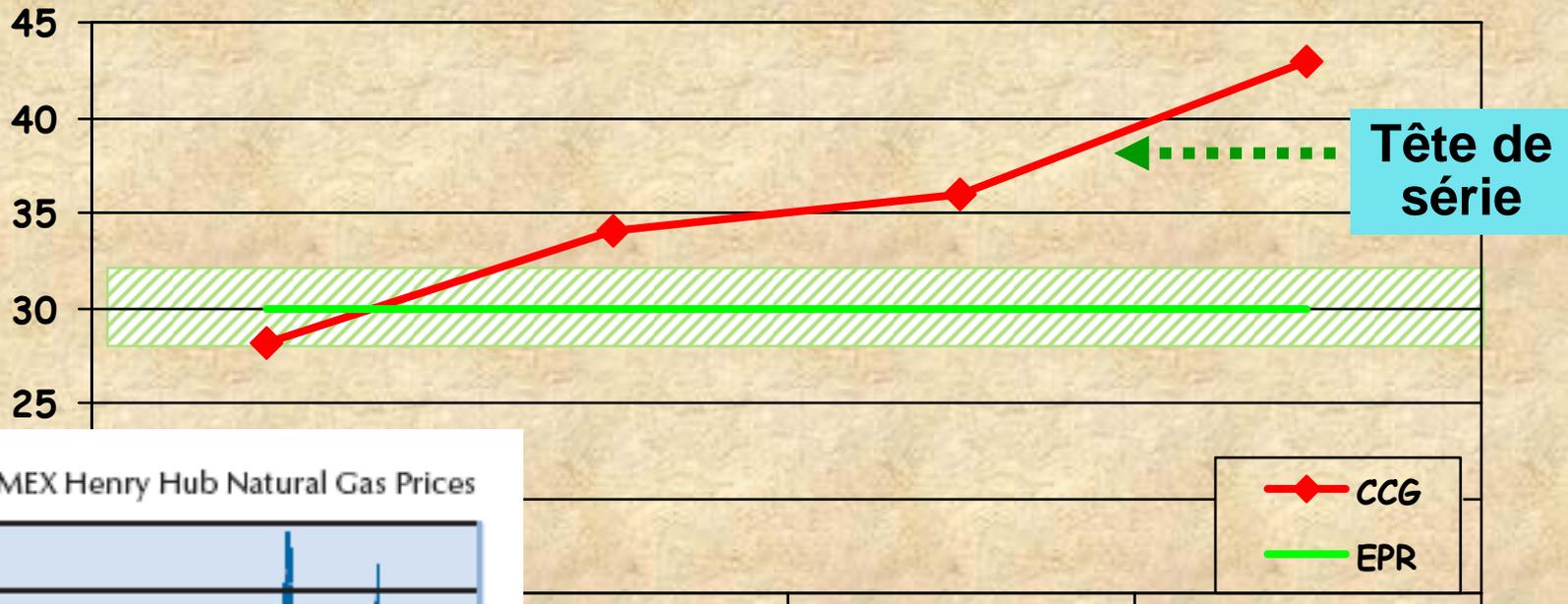
EPR Control Room



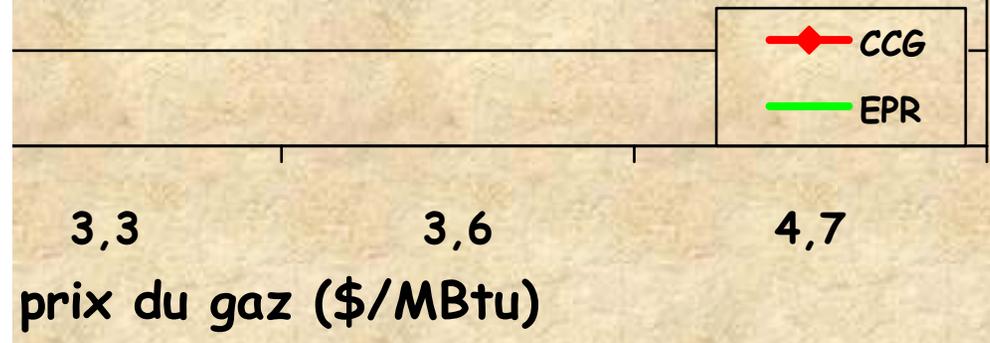
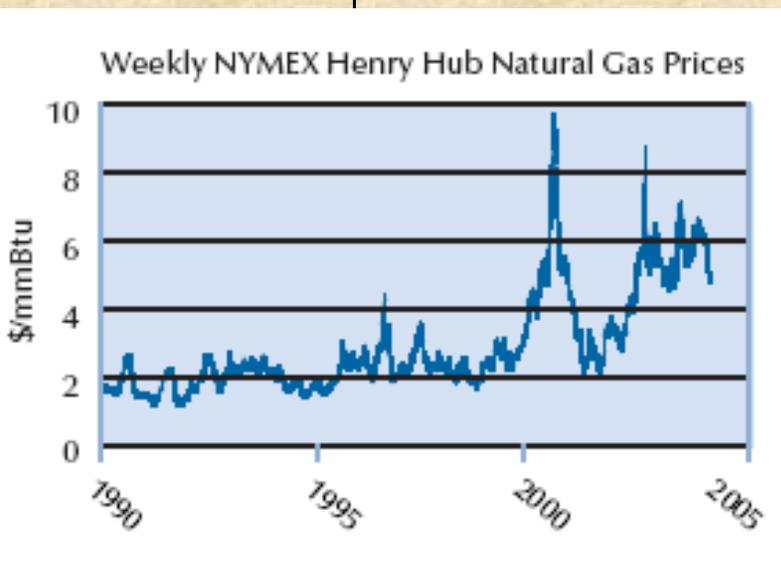
Coût de production Cycle Combiné Gaz et EPR

€/MWh

Cout de production



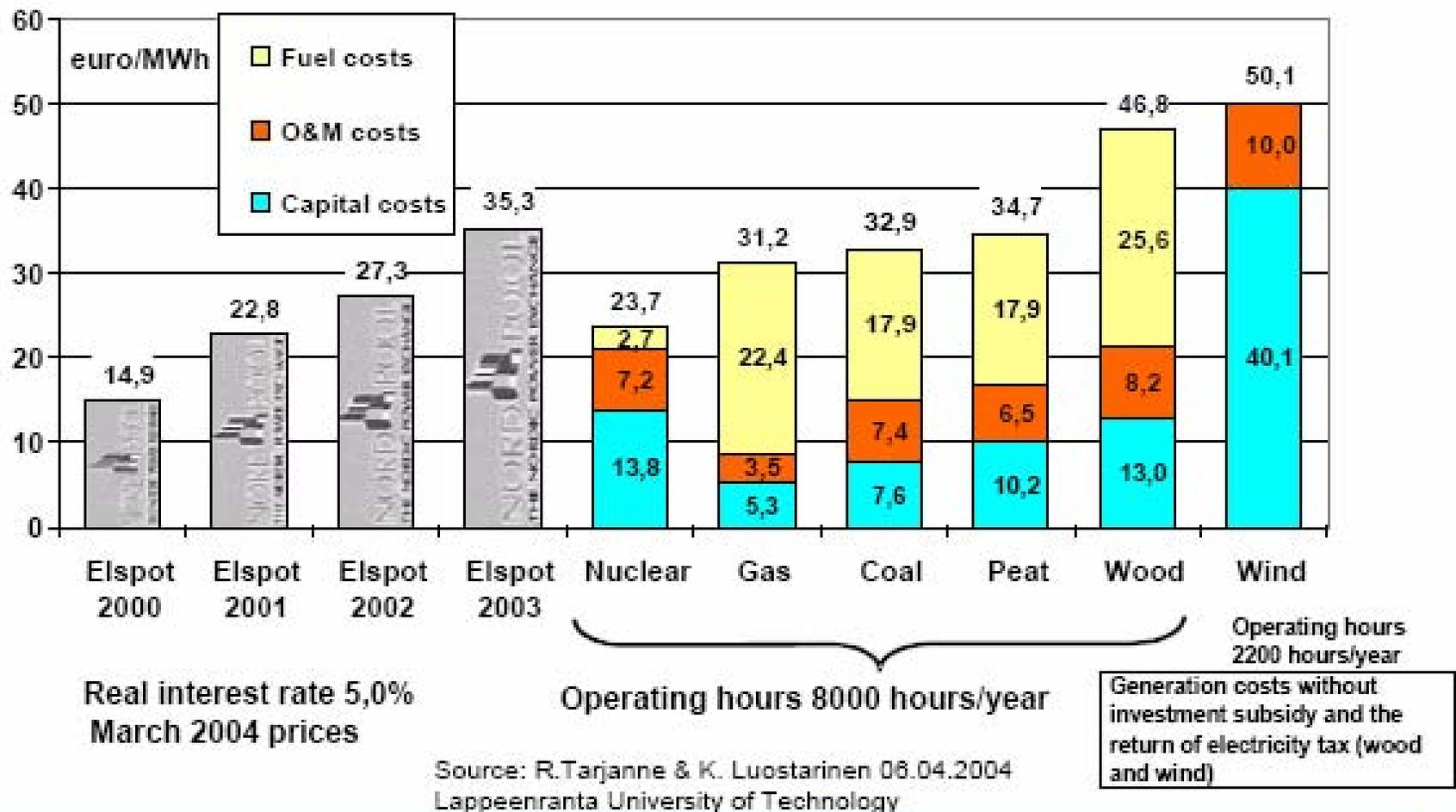
Tête de série



Sans pénalité CO₂ !

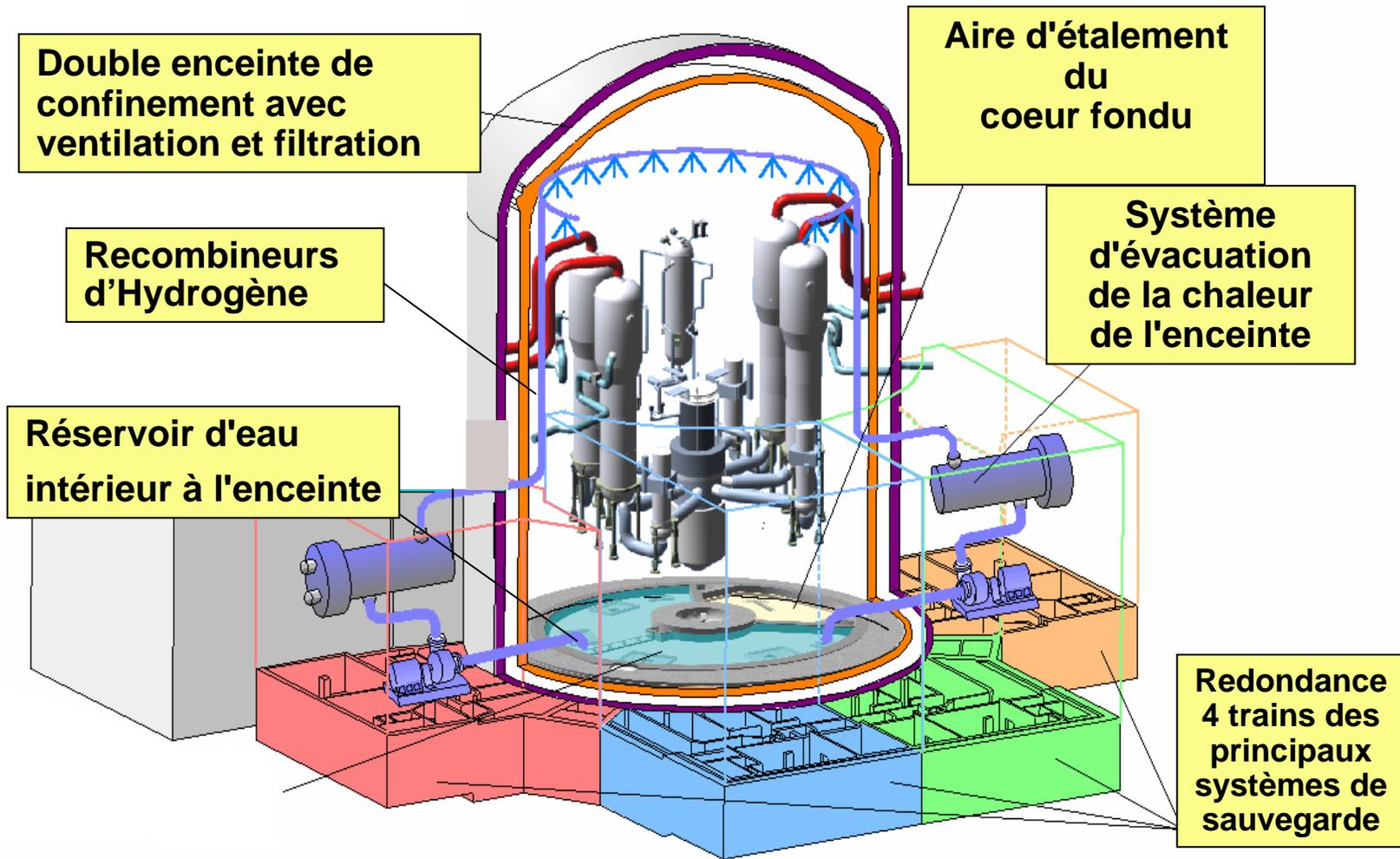


ELECTRICITY GENERATION COSTS, WITHOUT EMISSION TRADING

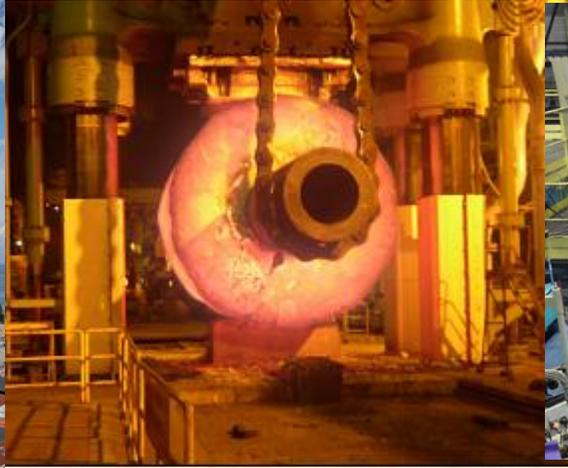


Les avancées en matière de sûreté

Les principaux systèmes de sauvegarde de l'EPR



Olkiluoto 3 EPR en construction en Finlande



Qui va gagner en Chine ???

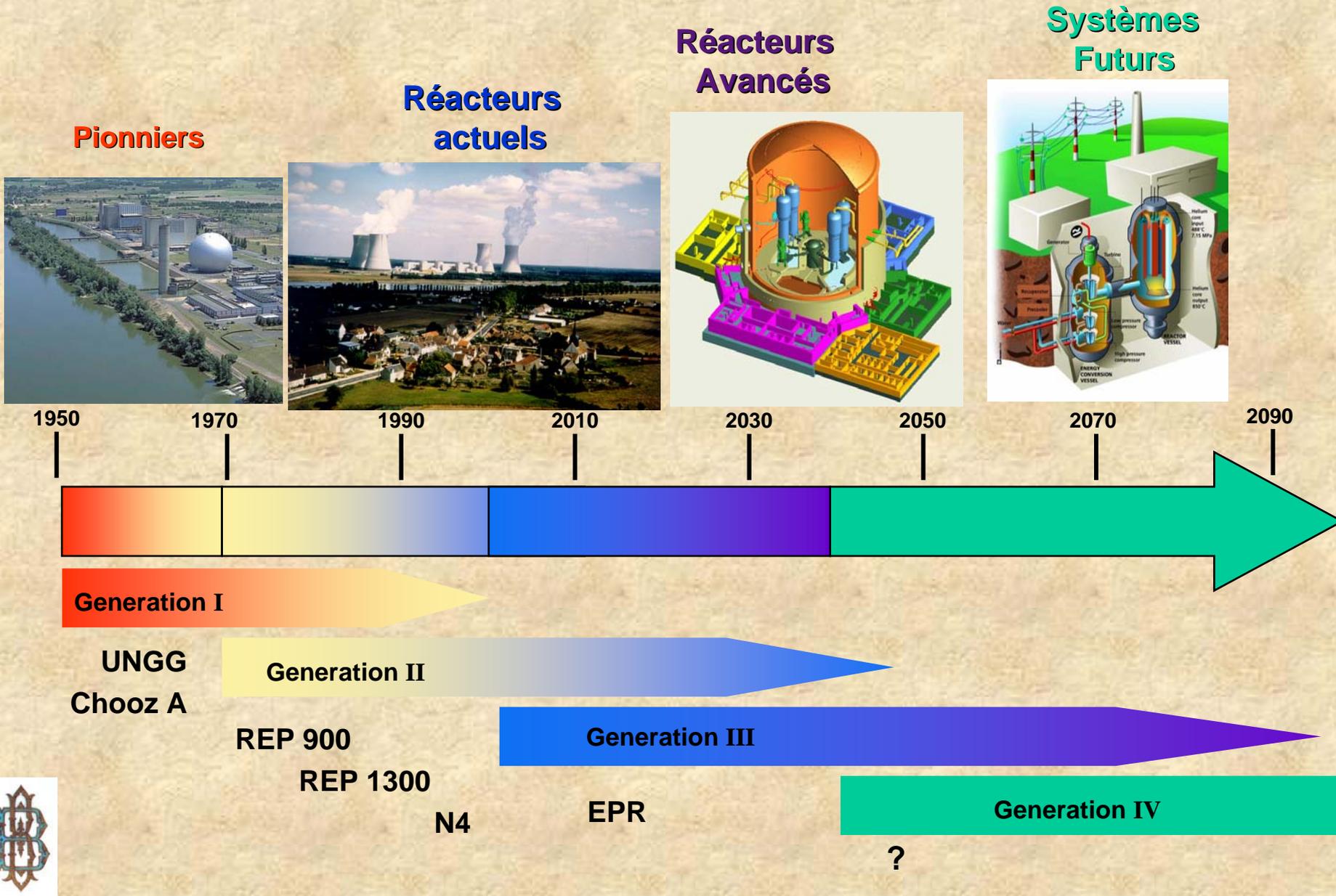


▶ Pékin, 28 février 2005

...à suivre



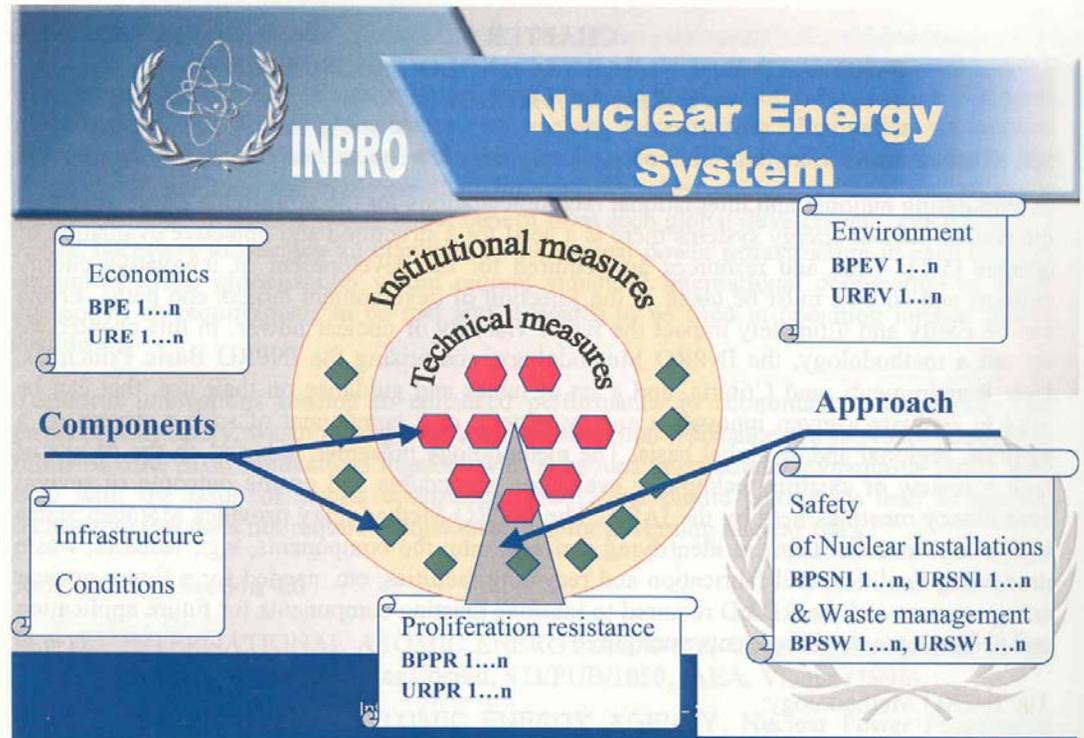
La Succession des Générations



Guidance for the evaluation of innovative nuclear reactors and fuel cycles

Report of Phase 1A of the International Project on Innovative Nuclear Reactors and Fuel Cycles (INPRO)

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AG



Objectifs du Forum Génération IV

Des systèmes nucléaires pour un développement énergétique durable

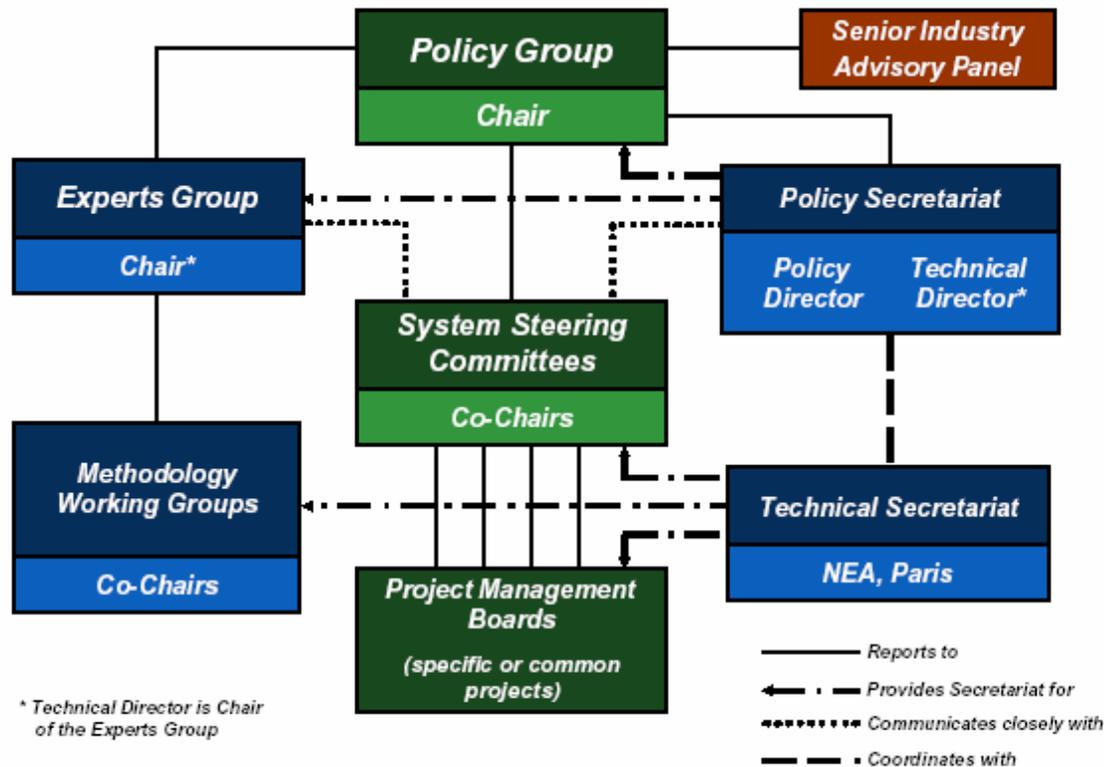
- Une maturité technique vers 2040
- Des progrès en continuité
 - Compétitivité économique
 - Sûreté et fiabilité
- Des avancées significatives:
 - Minimisation des déchets
 - Economie des ressources
 - Sécurité : non prolifération, protection physique
- Une ouverture à d'autres applications :
 - Chaleur à haute température pour l'industrie
 - Vecteur hydrogène, eau potable



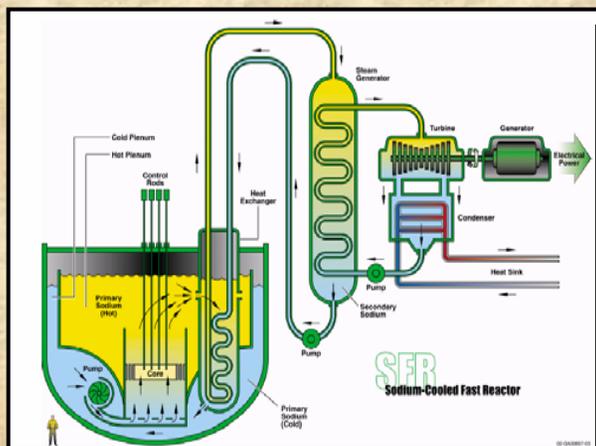
La mise en place de la R&D dans le cadre du GIF

Signature de l'Accord cadre pour la phase de coopération
Génération IV le 28 février 2005 à Washington DC

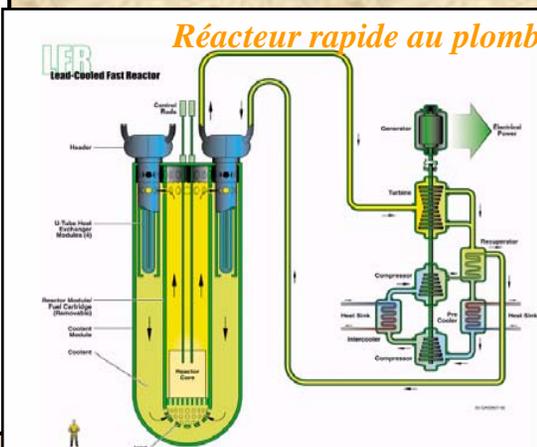
GIF Governance Structure



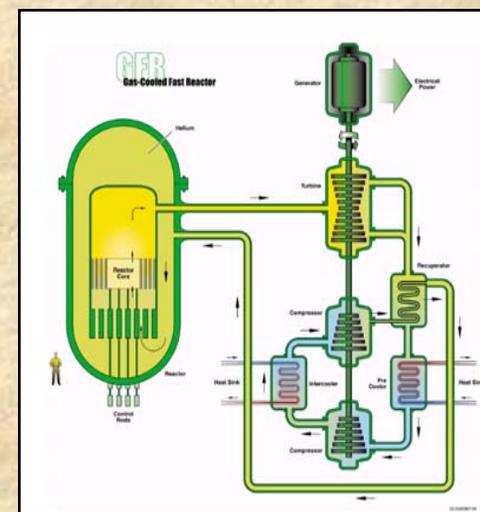
Génération IV : six concepts innovants à l'étude



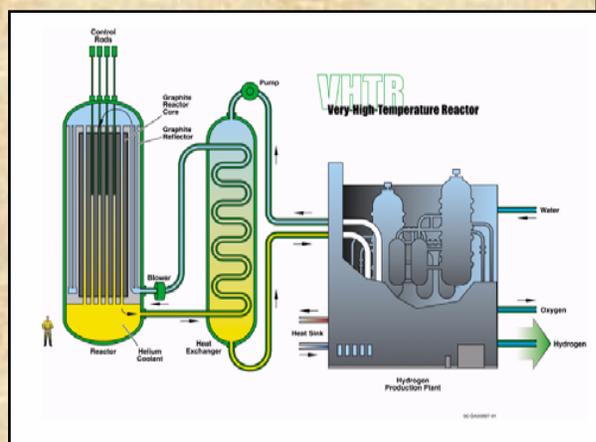
Réacteur rapide Sodium



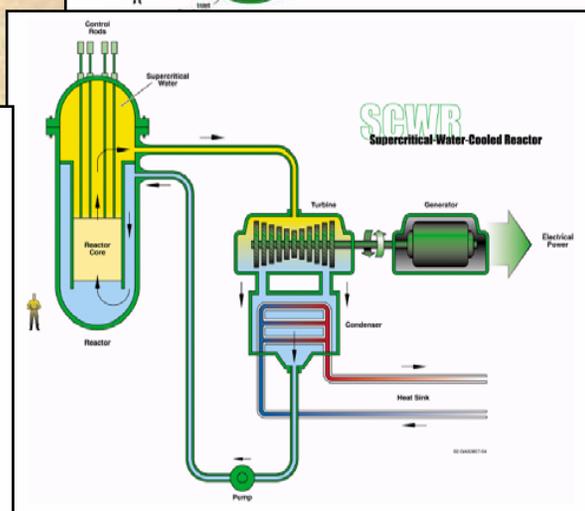
Réacteur rapide au plomb



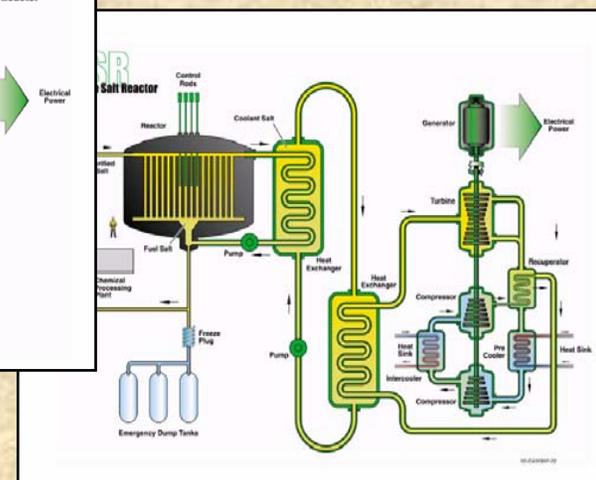
Réacteur rapide à gaz



Réacteur à gaz, Très Haute Température

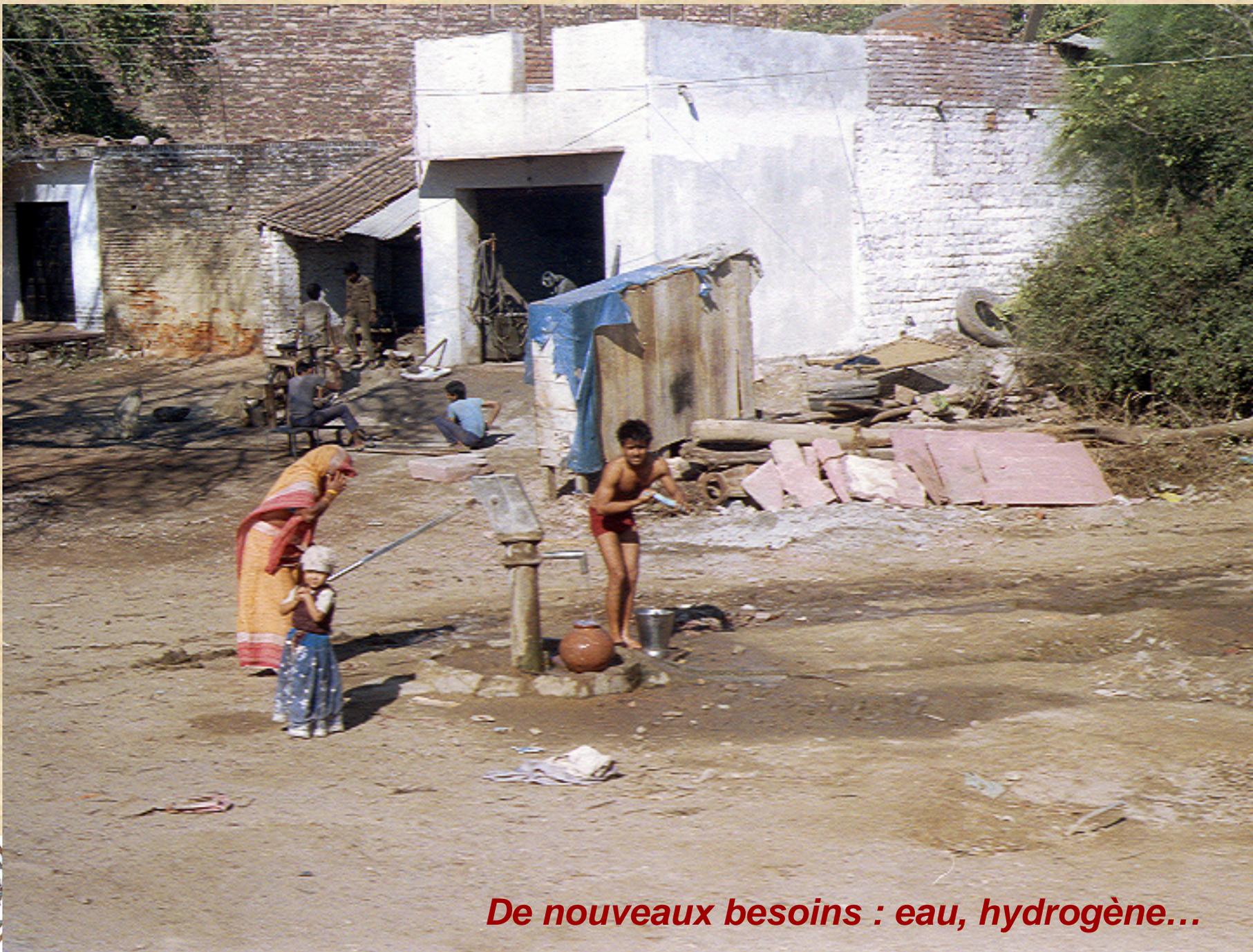


Réacteur à eau supercritique



Réacteur à sels fondus

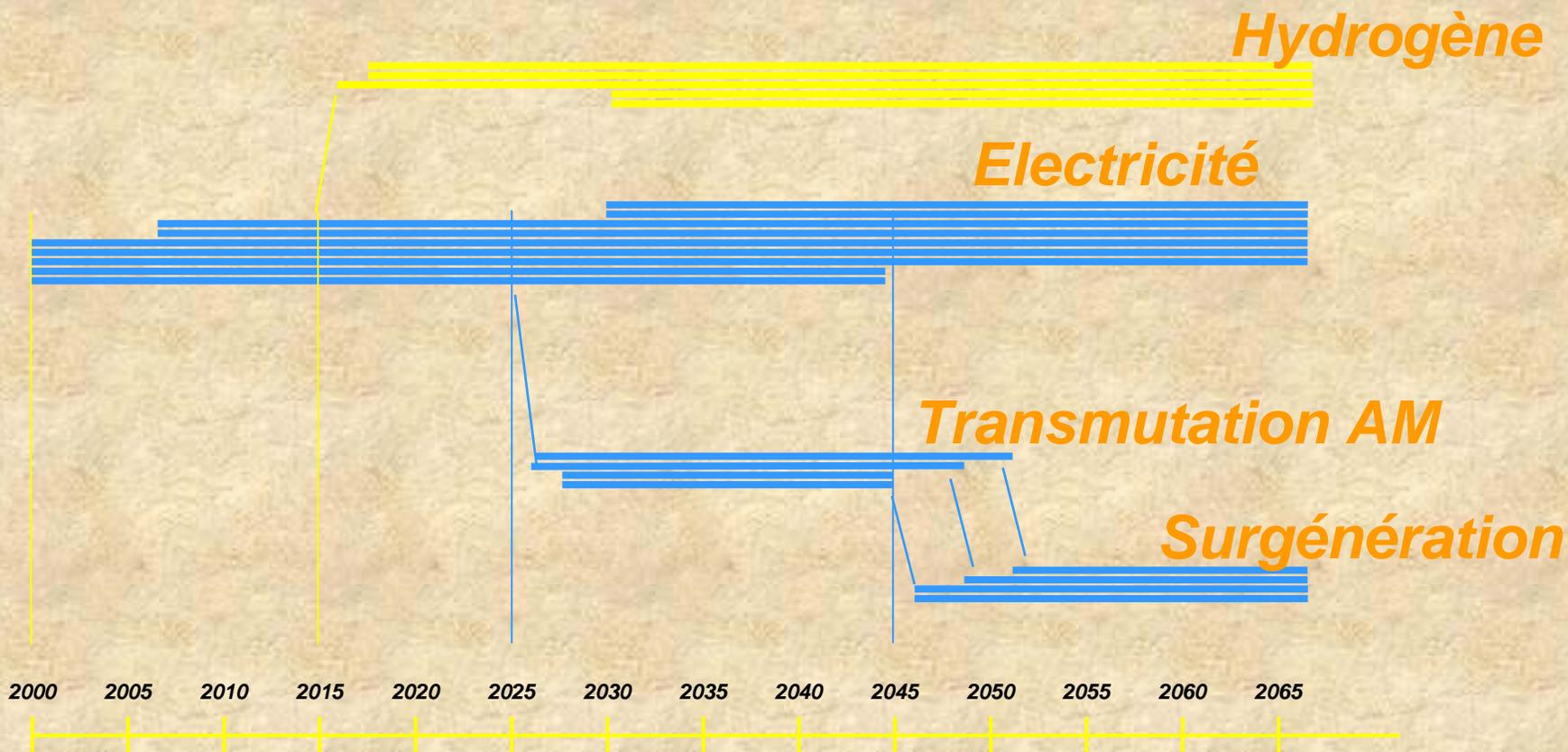




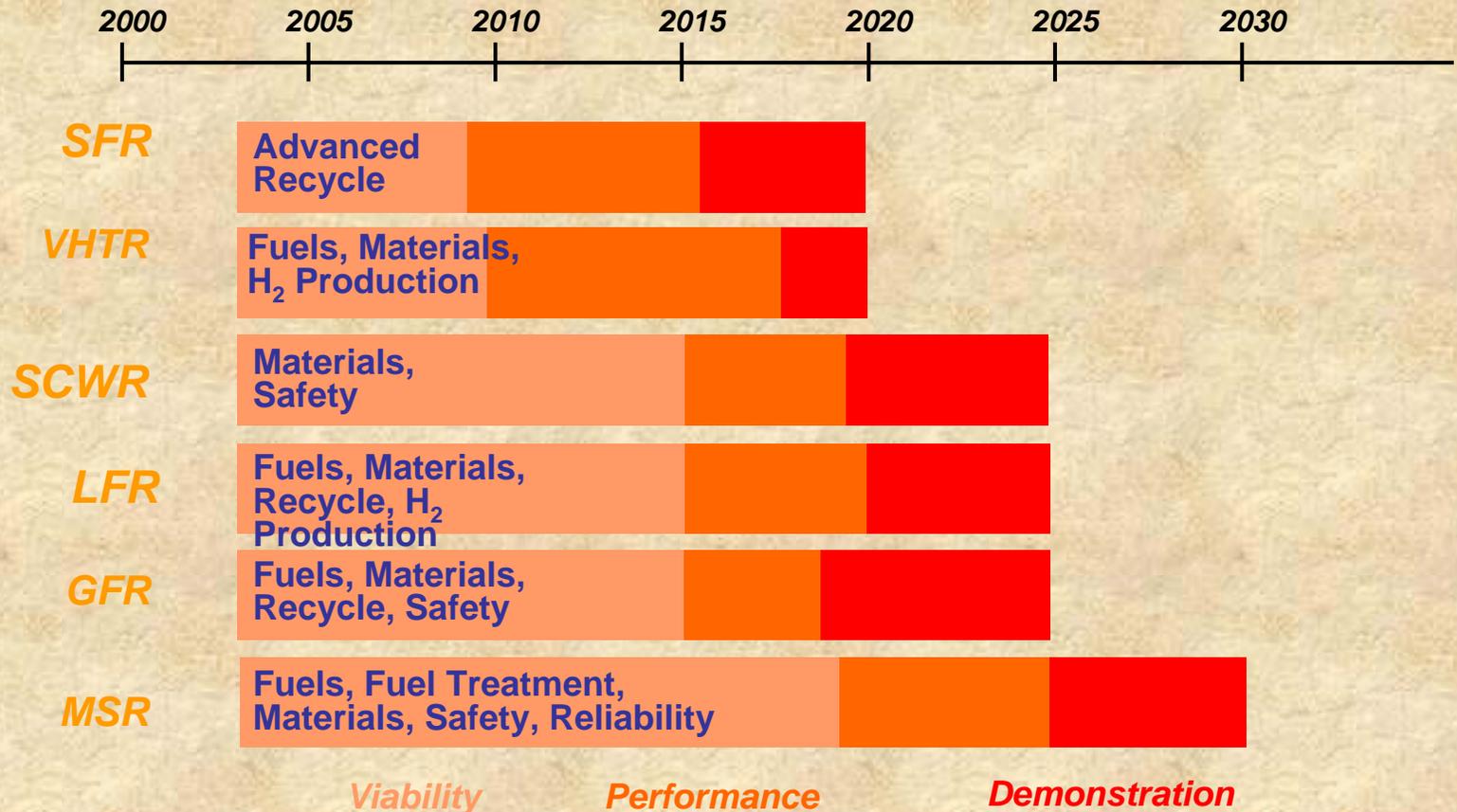
De nouveaux besoins : eau, hydrogène...



Diversification des applications nucléaires

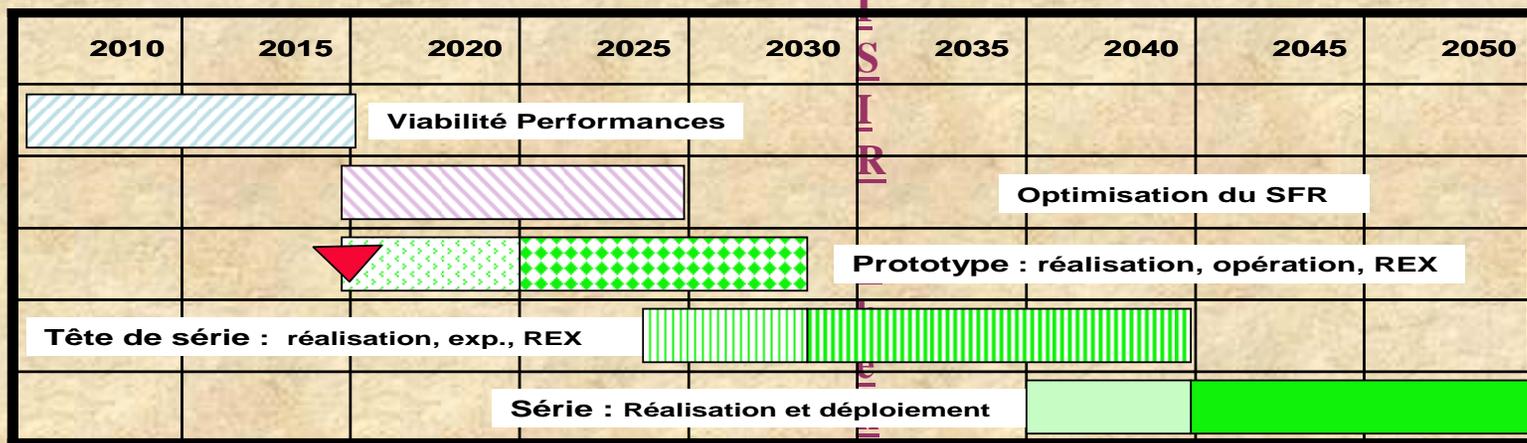
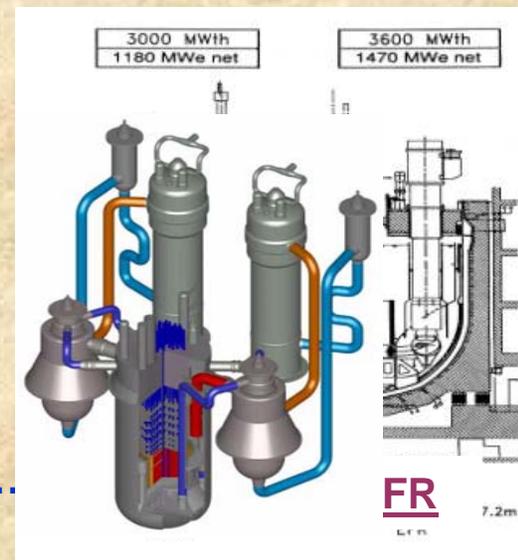


Time sequencing and development phasing



Réacteur rapide sodium

- *Innovations de systèmes*
 - *Simplification, concept intégré/boucles*
 - *Inspection en service, maintenance et réparation*
 - *Conversion avec turbine à CO2 supercritique*
- *Combustible avec actinides mineurs (Futurix FTA, modélisation...)*
- *Technologie (aciers ferritiques, ODS, échangeurs CO2...)*
- *Prévention accrue des accidents graves*

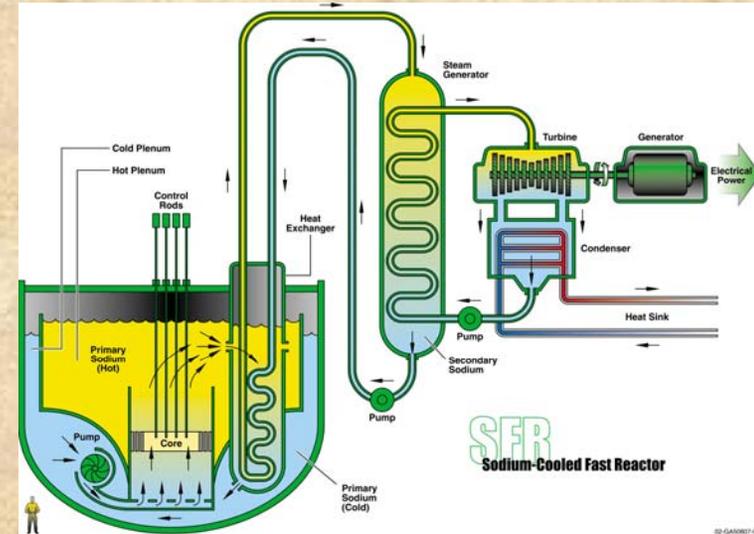


→ 2009 : Faisabilité → 2015 : Performance → 2020+ : Demo/Proto SFR

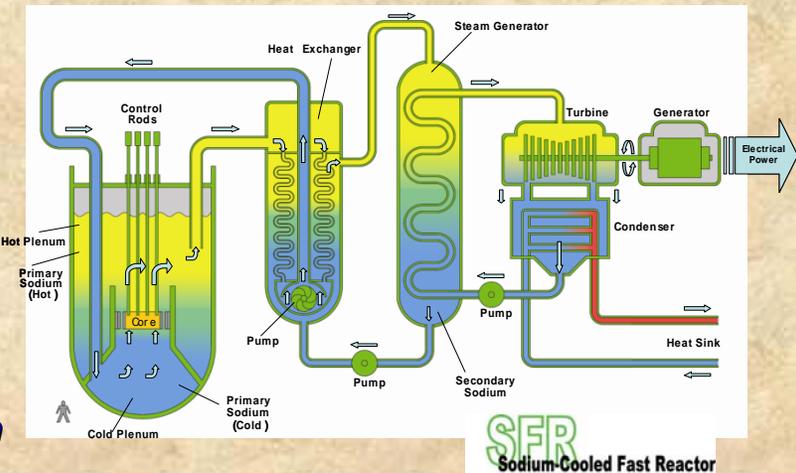


Réacteur rapide sodium

- Une nouvelle génération de réacteurs rapides à caloporteur sodium
- Réduction du coût d'investissement – Conception simplifiée et innovations de systèmes (Conception intégrée/Boucle ISIR – Conversion CO₂ SC)
- Vers une approche de sûreté passive
- Recyclage intégral des actinides
Fabrication automatisée du combustible



→ 2009 : Faisabilité – 2015 : Performance → 2020+ : Démo SFR

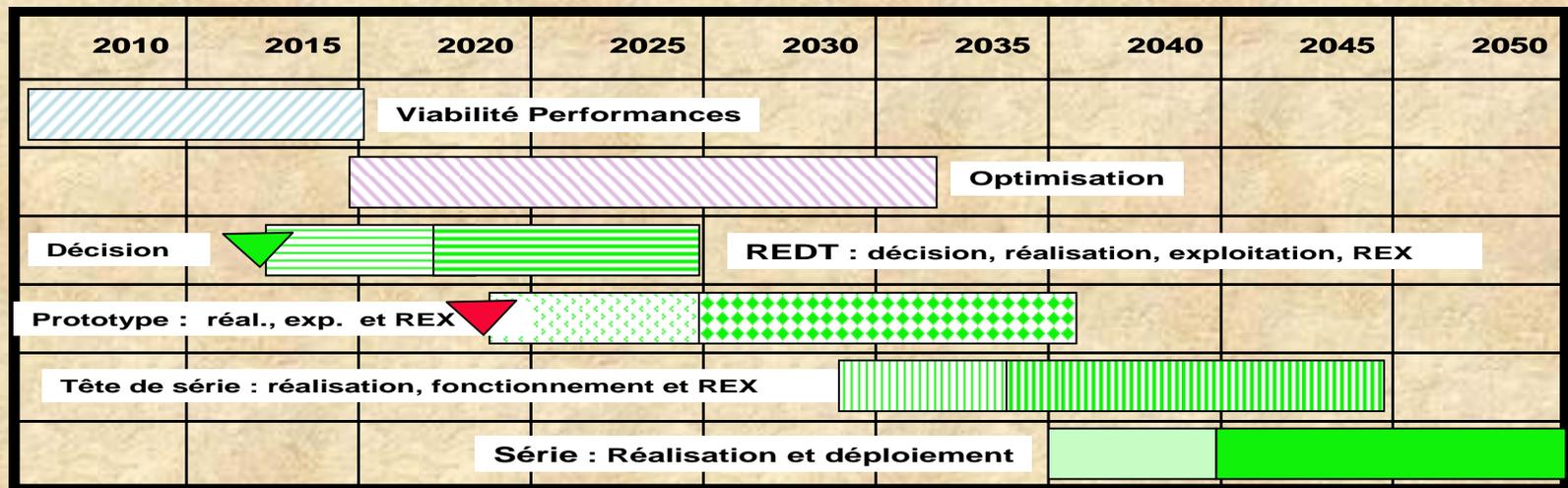
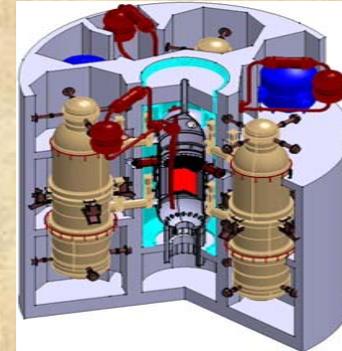
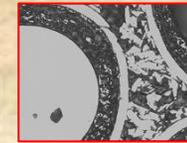


Réacteur rapide gaz (*Gas Fast Reactor*)

- *Combustible et matériaux du coeur* (céramique composite, gaine céramique...)
- *Gestion des accidents* (dépressurisation...)
- *Technologie des circuits hélium à haute température* (structures, échangeurs...)
- *Technologie des applications* (Turbine à gaz...)

Combustible
GFR

GFR 1,2 GWe



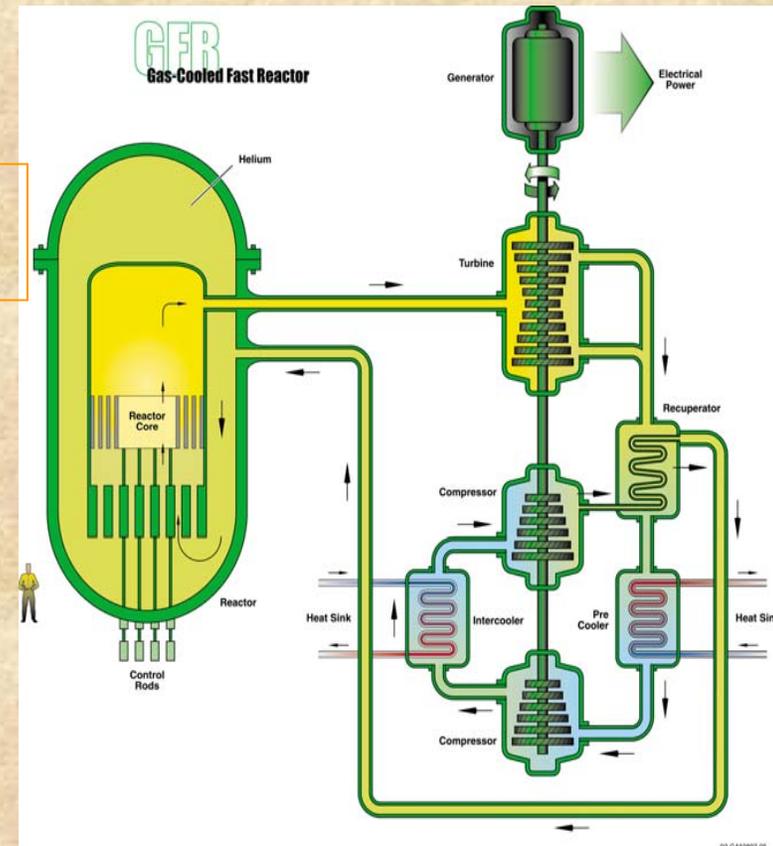
→ 2012 : Faisabilité → 2017 : REDT → 2020 : Performance → 2025+ : Démo GFR



Réacteur rapide gaz (*Gas Fast Reactor*)

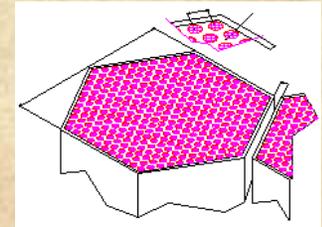
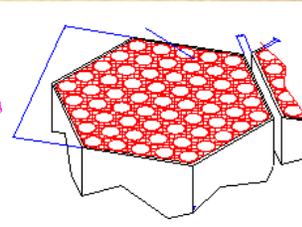
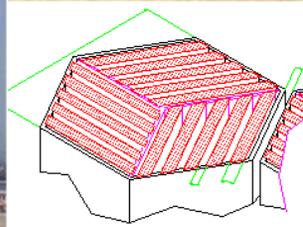
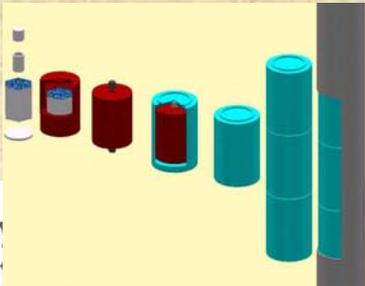
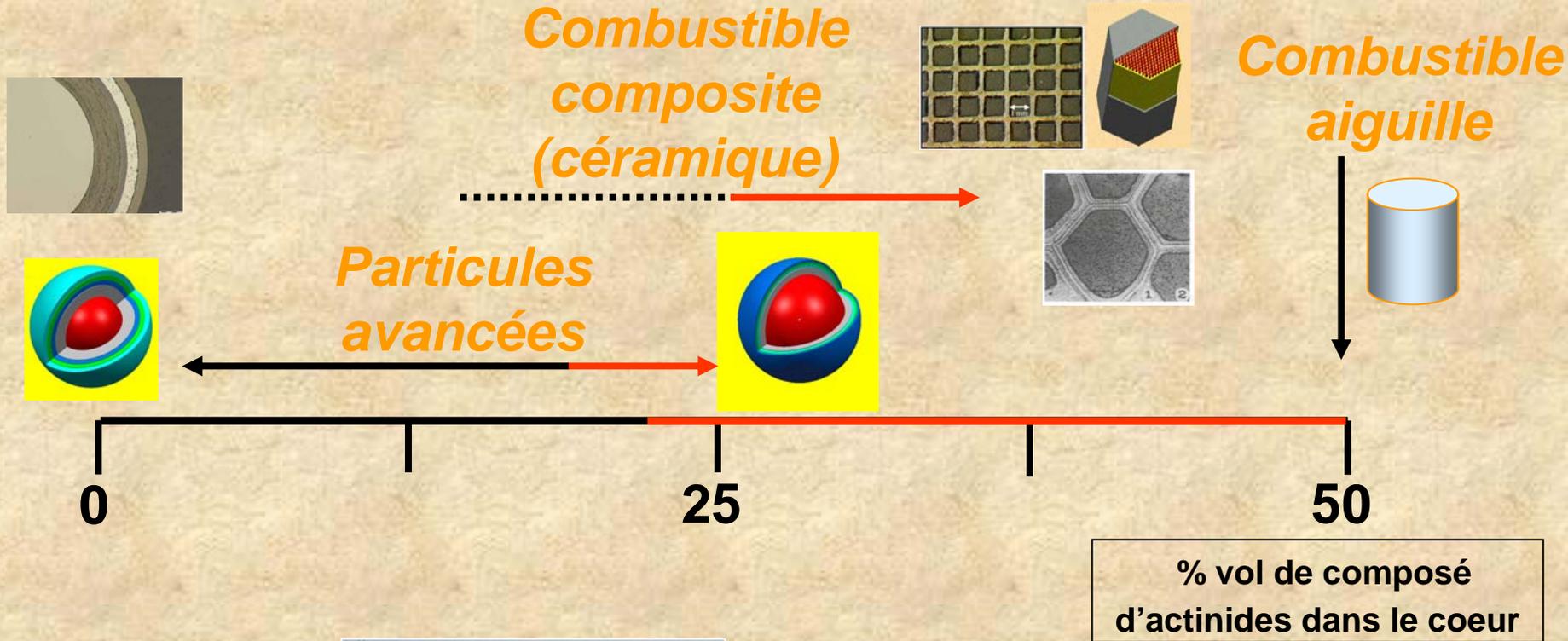
- Un nouveau concept de réacteur rapide à caloporteur gaz
→ Economies des ressources, production minimum de déchets
- Combustible robuste (réfractaire)
- 1200 MWe – **t He ~ 850 °C** - Cogénération électricité + H₂
- Approche de sûreté active + passive
- Recyclage intégral des actinides

→ 2012 : Faisabilité - 2017 : REDT
2020 : Performance → 2025+ : Démo GFR



02-GAS0807-05

Concepts de combustibles pour Réacteur rapide gaz

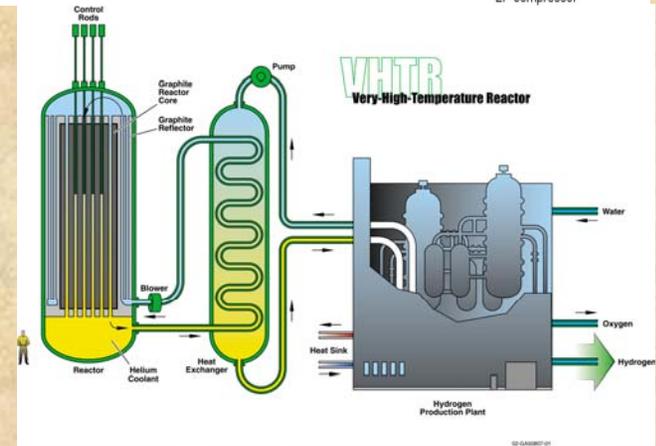
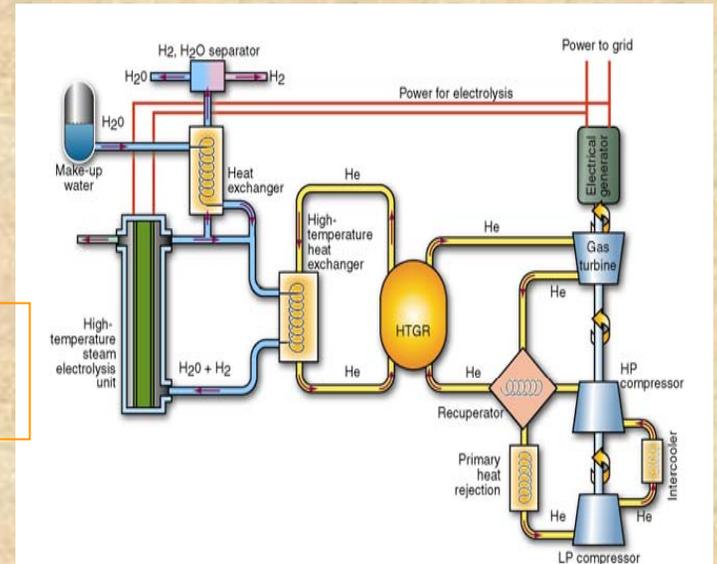


Réacteur à très haute température

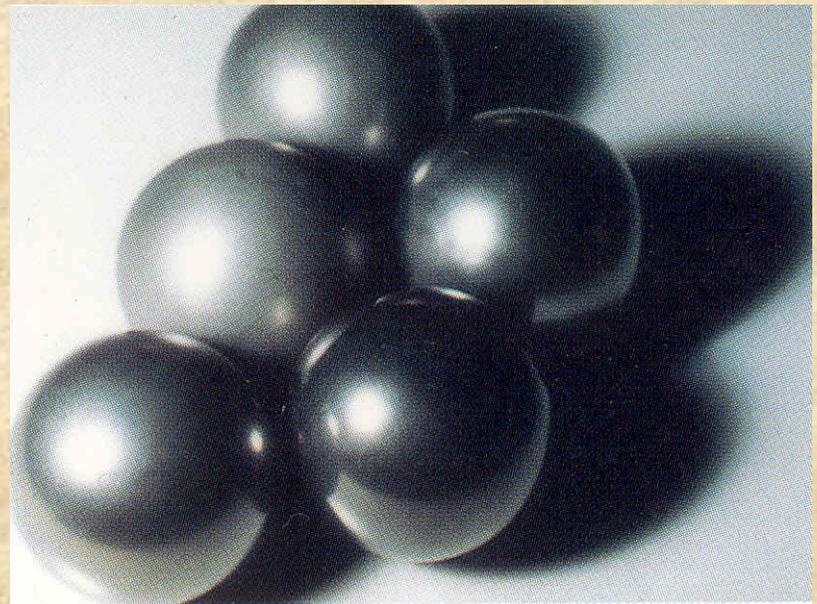
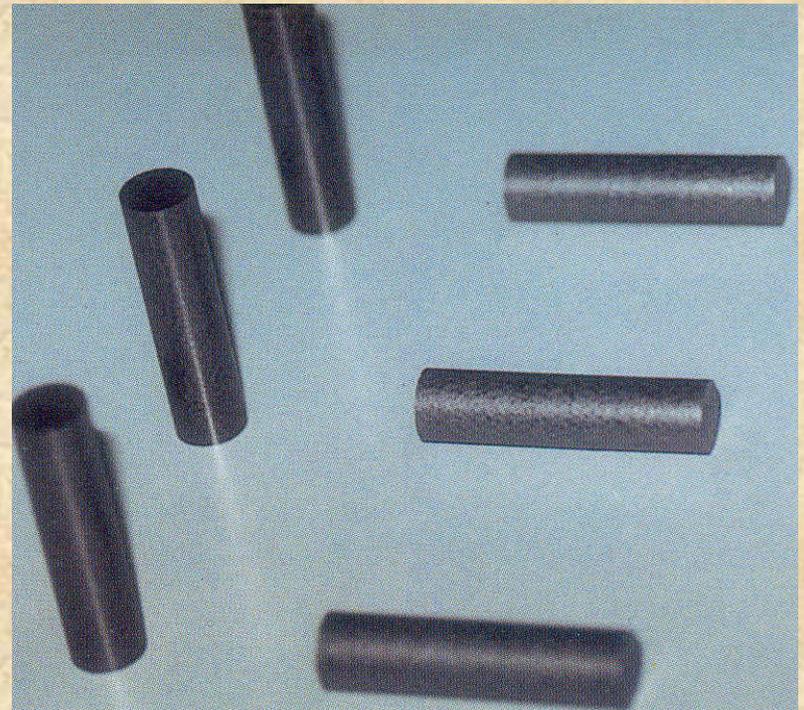
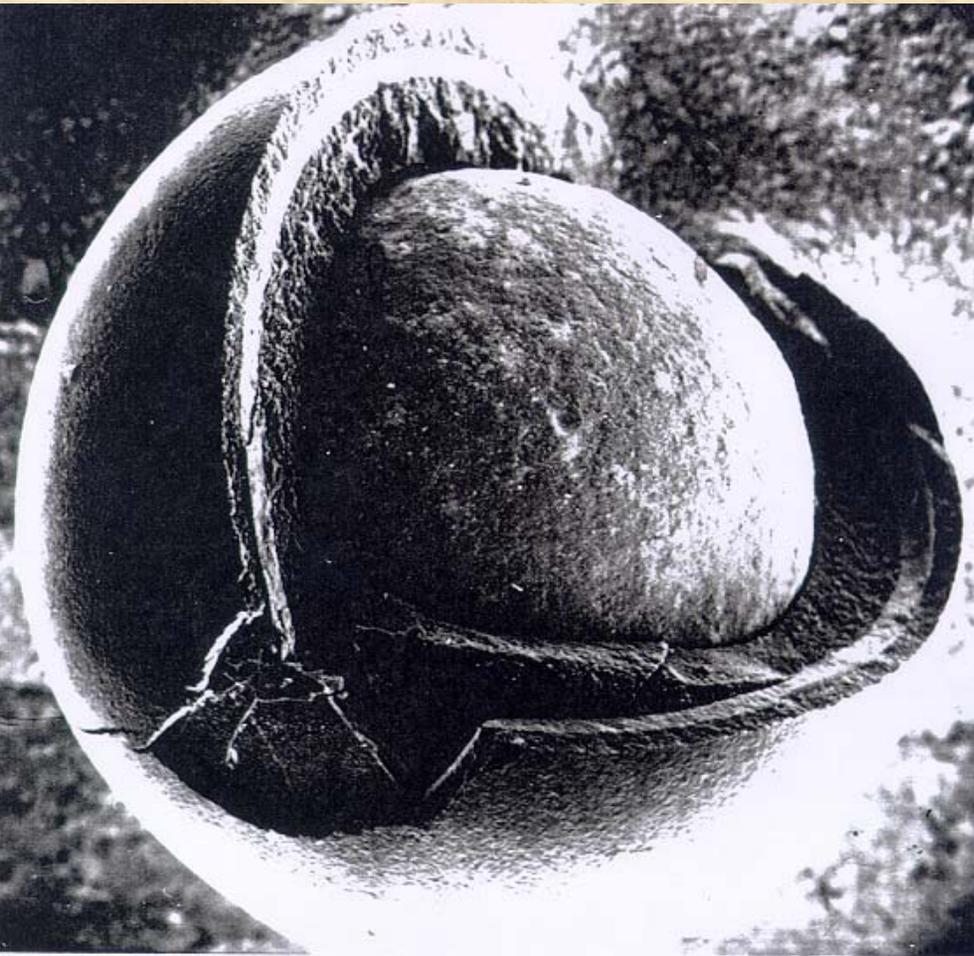
Very High Temperature Reactor **VHTR**

- Un réacteur dédié à la production d'hydrogène et à la fourniture de chaleur à très haute température à l'industrie
- 600 MWth - $t_{He} > 1000\text{ }^{\circ}\text{C}$
Neutrons thermiques
Combustible prismatique ou à boulets
- Approche de sûreté passive
- Cycle I-S ou Electrolyse HT pour H₂

→ 2009 : Faisabilité – 2015 : Performance
2017 : NGNP 1er démonstrateur aux USA

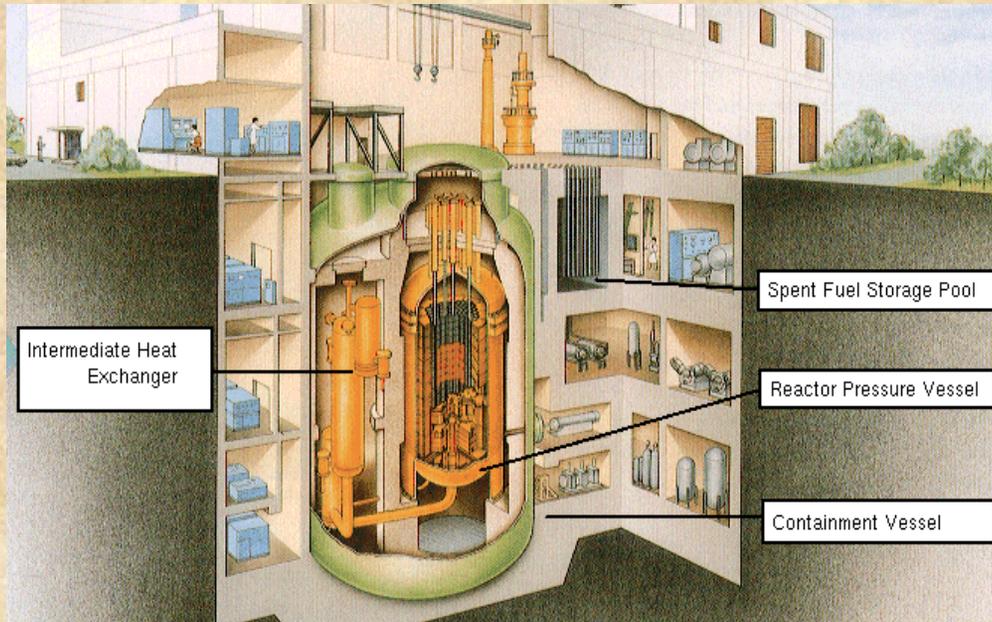


La base du système HTR



HTTR (Japon)

First criticality	11/1998	
Reactor output	MW	30
Primary coolant inlet pressure	MPa	4
Average coolant temperature, reactor inlet	°C	395
Average coolant temperature, reactor outlet	°C	850/950

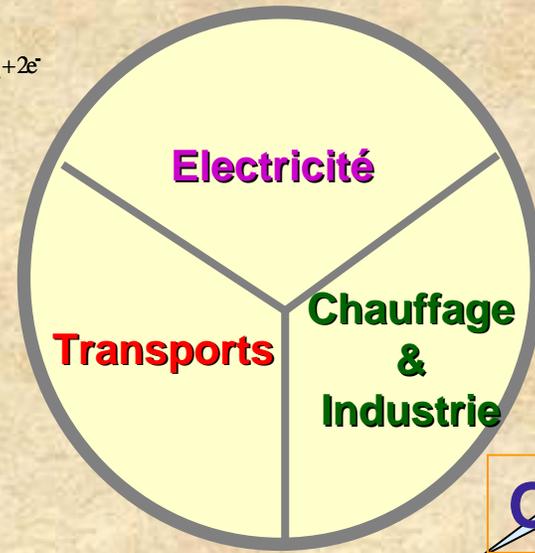
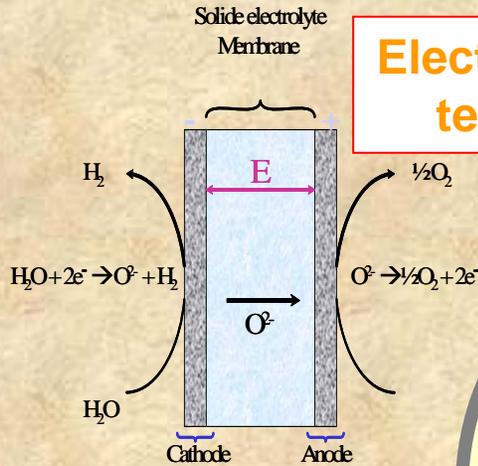


• Activités futures

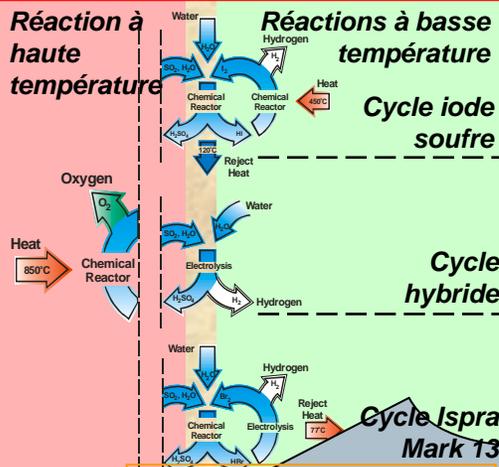
- recherche innovante sur les technologies hautes températures
- développement des applications pour la production d'hydrogène



Production d'hydrogène par la chaleur nucléaire



Thermochimie
Cycles au soufre

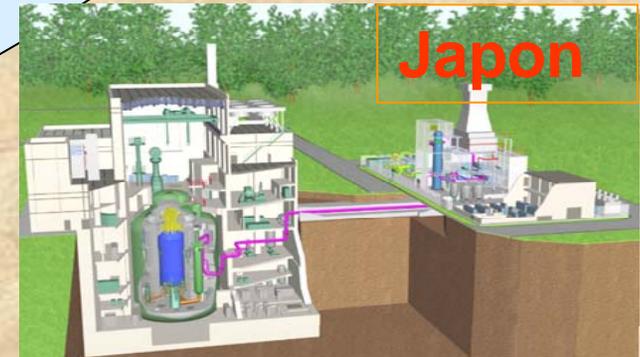


Démonstration

Optimisation

Innovation

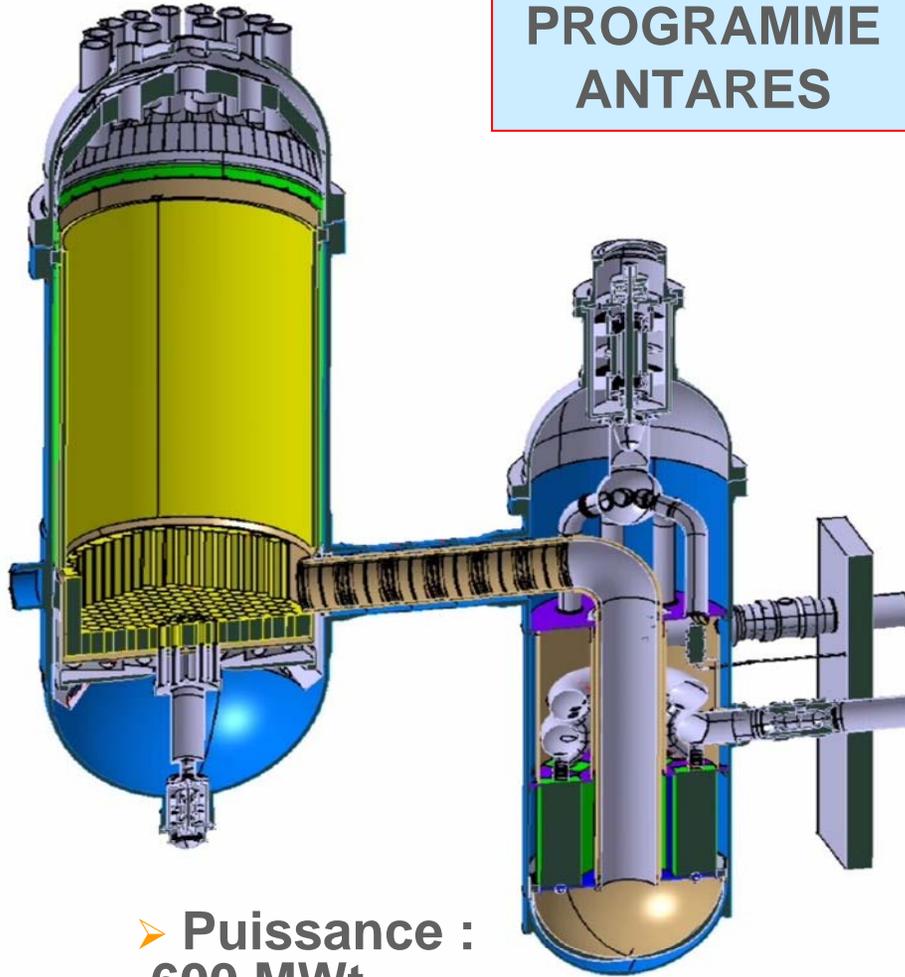
Faisabilité



Projet de source de chaleur HT multi-applications

PROGRAMME ANTARES

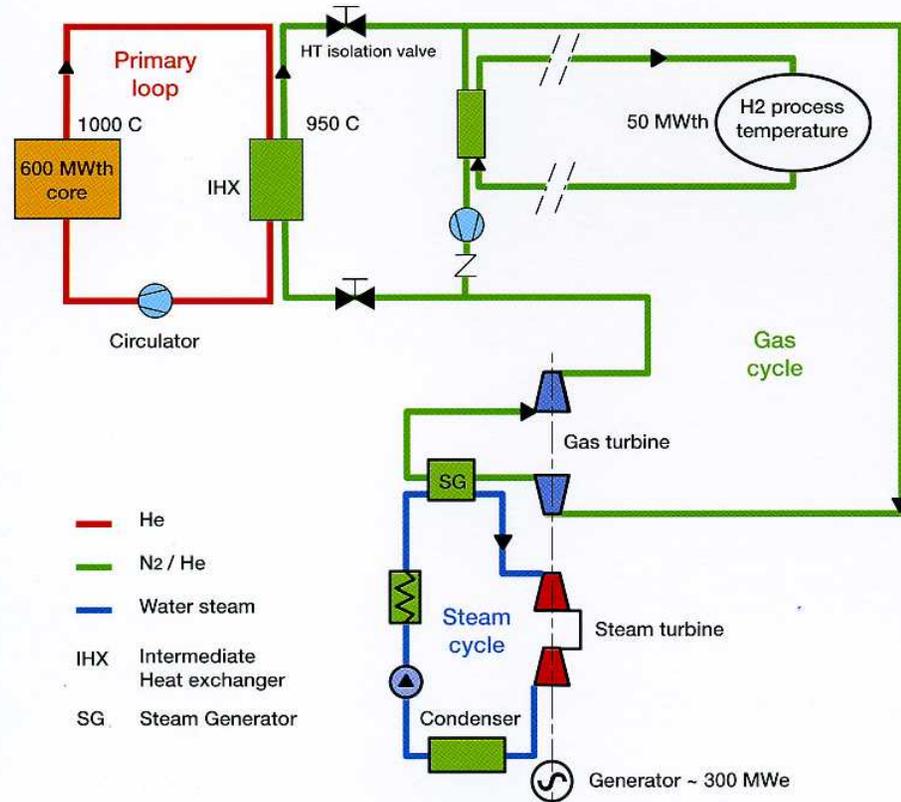
Possible arrangement with electricity and hydrogen cogeneration



➤ Puissance :
600 MWt

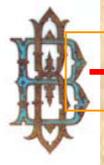
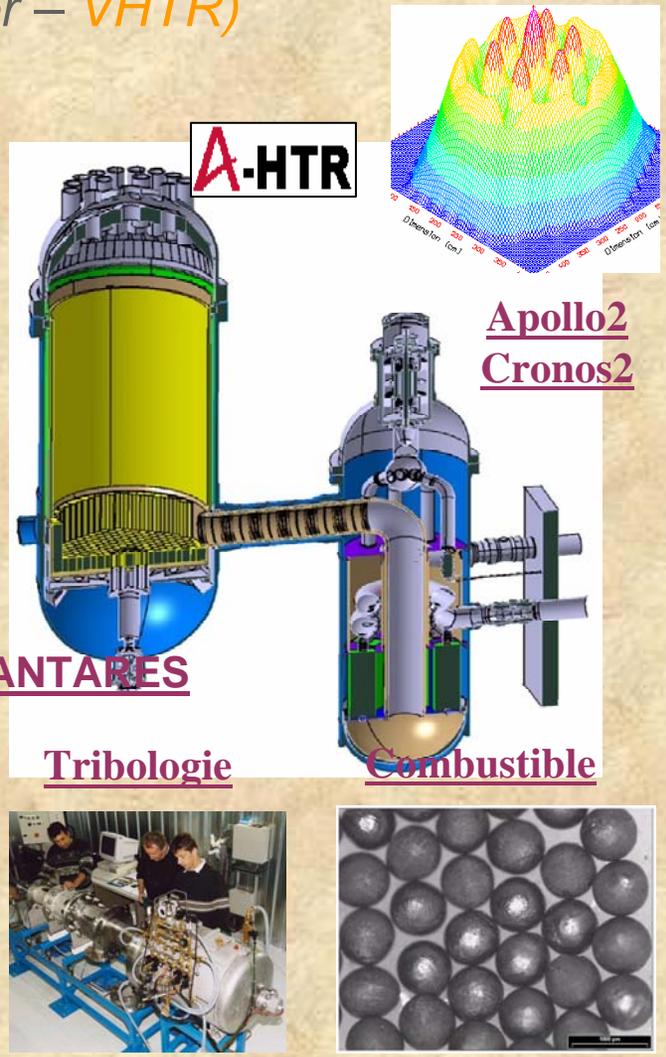
➤ Helium :
850/1000°C

➤ Echangeur intermédiaire



Production d'hydrogène et Réacteur à très haute température (Very High Temperature Reactor – VHTR)

- *Systeme de calcul*
- *Combustible à particule*
- *Matériaux résistants à très haute température (> 950°C)*
- *Technologie des circuits hélium à haute température*
- *Procédés de production hydrogène*
- *Systeme de conversion*

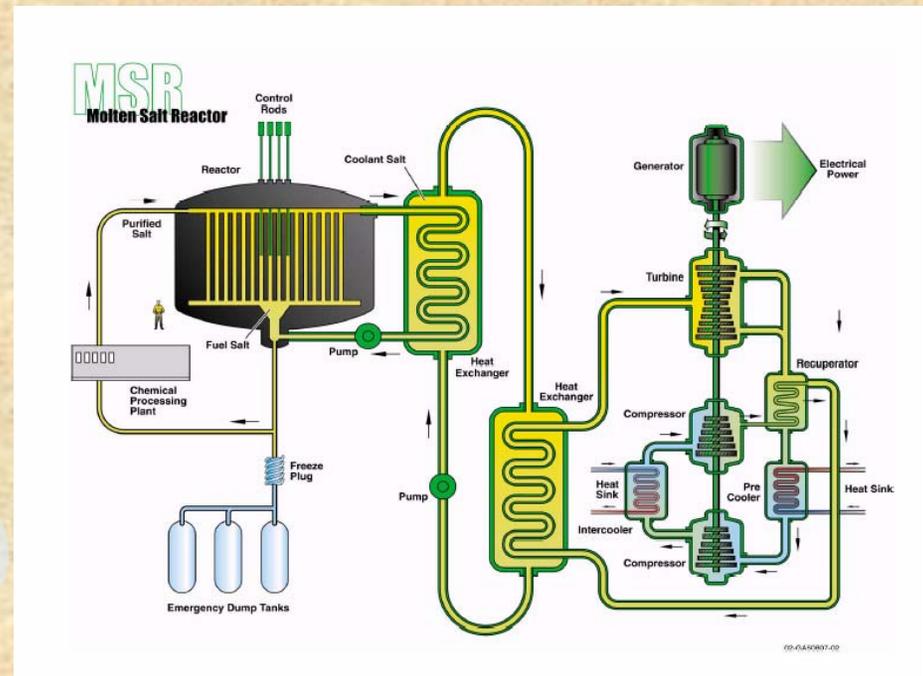


→ 2009 : Faisabilité → 2015 : Performance → 2017 : NGNP 1er démonstrateur

Réacteur à sel fondu

- Un réacteur potentiellement régénératif en neutrons thermiques avec le cycle Uranium-Thorium - 1700 MWth - 800 °C – Cycle fermé
- Capacité effective de régénération ?
- Corrosion des matériaux de structure
- Traitement du sel usé
- Couplage aux applications sans perméation du tritium

→ 2020 : Faisabilité
2025 : Performance
2030+ : Démo MSR



+ Utilisation des sels fondus comme caloporteurs (A-HTR, procédés HT)

Le cycle thorium

Propriétés intrinsèques des noyaux du cycle Th
(^{232}Th et ^{233}U , ^{235}U , ...)

- Surgénération en spectre thermique possible
- Faible inventaire en fissile nécessaire
- Production réduite d'actinides mineurs lourds
car ^{232}Th moins lourds
car ^{235}U vie longue et bon fissile (à comparer au ^{241}Pu)
spécificité du ^{237}Np , vie longue, et extractible en sels fondus

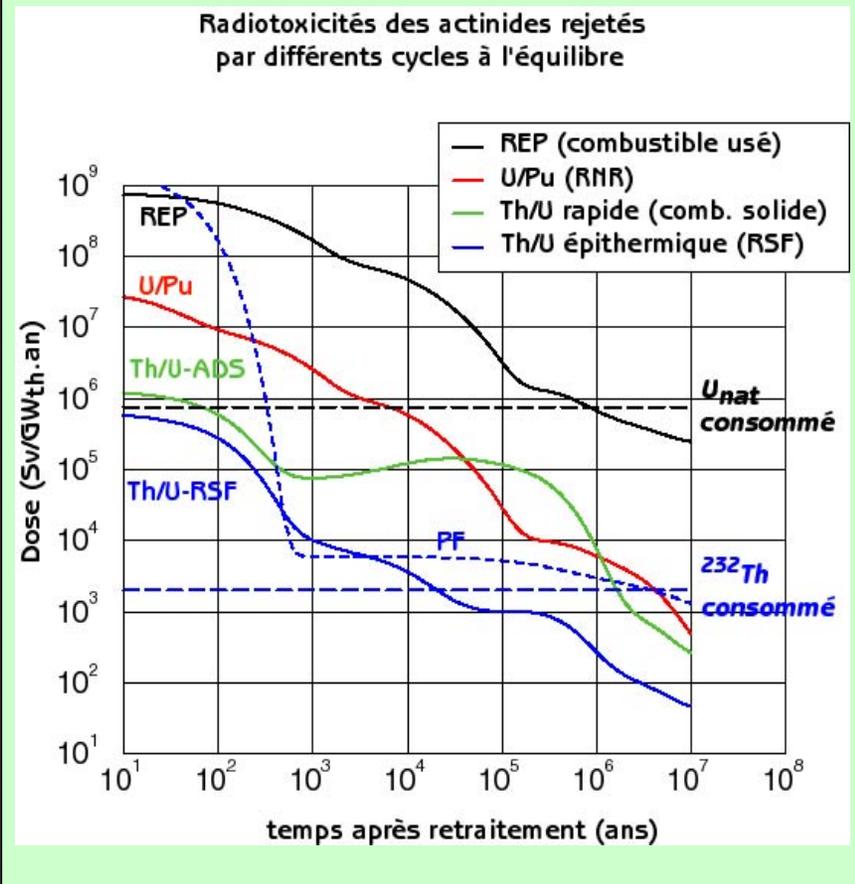
Problèmes spécifiques

- Nombre de neutrons disponibles faible
- Empoisonnement rapide du réacteur captures parasites sur PF et ^{233}Pa
- Nécessité de retraiter « en continu » le combustible
- ^{232}U et γ de 2.6 MeV dans la chaîne de décroissance



Filière thorium : Aval du cycle

La radiotoxicité induite dépend fortement des taux de pertes des actinides, et du retraitement envisagé



Wastes /GWe/y.

	FBR	MSR
	U/Pu	Th/U
U	4kg	< 1 g
Pu	600 g	20 g
Am	200 g	1.3 g
Cm	50 g	5 g



Réacteur à eau supercritique

- Un réacteur à eau à haute température permettant potentiellement de passer aux neutrons rapides
- Production d'électricité - Simplicité de principe ($> 22.1 \text{ MPa}$, 374 °C)
- Compétitivité économique ($\eta \sim > 44 \%$ à 550 °C - 25 MPa , compacité)
- Neutrons thermiques et cycle ouvert/ Neutrons rapides et cycle fermé
- Stabilité du fonctionnement ? Corrosion ?

→ 2012 : Faisabilité - 2018 :
Performance

2025+ : Démo SCWR



U.S.A.



Canada



Japan



countries

SCWR Steering

Committee



Switzerland



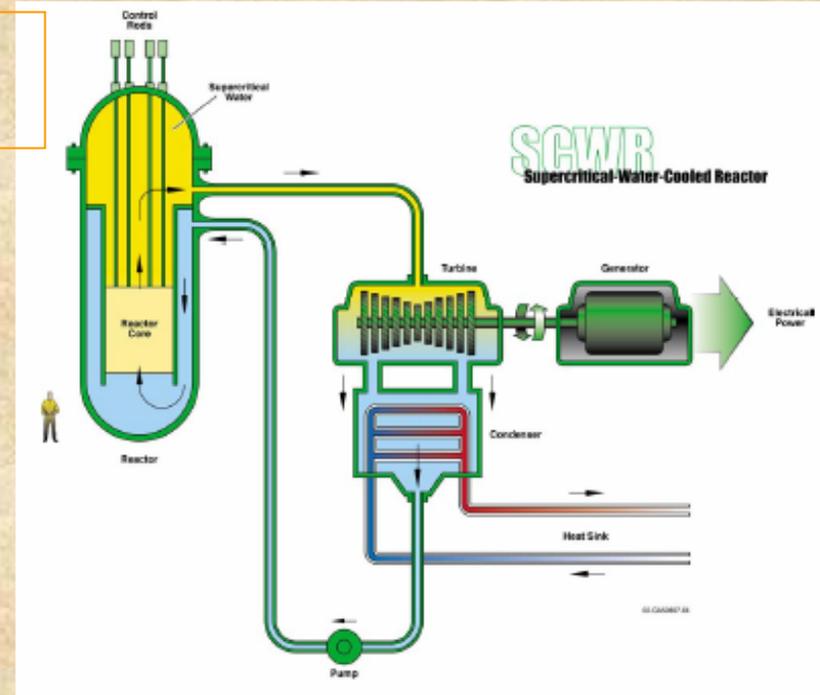
France



South Korea



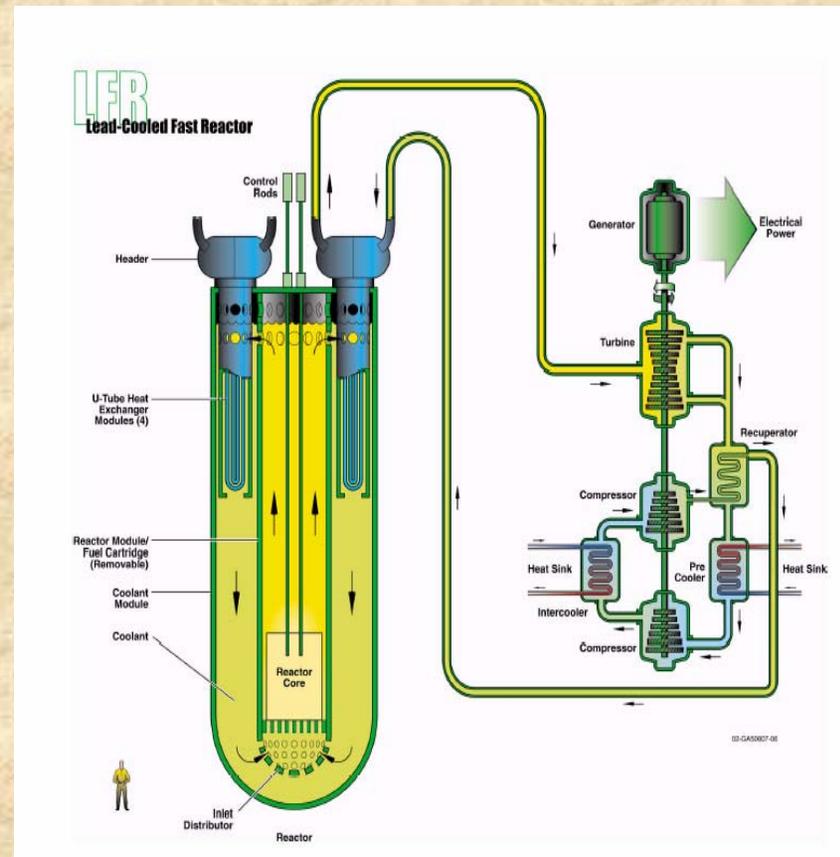
United Kingdom



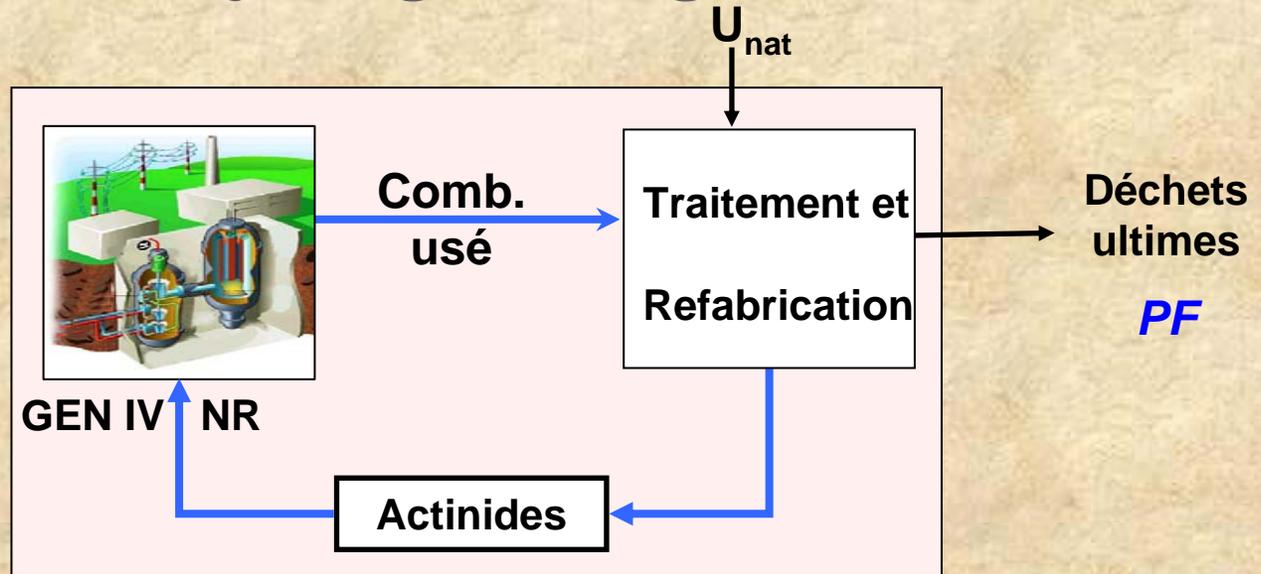
Réacteur rapide à caloporteur plomb

- Un réacteur rapide à caloporteur plomb ou eutectique PbBi
- Nuclear Battery 50-100 MWe – cycle de 10-30 ans, ou Réacteurs de puissance de 400 à 1200 MWe
- Matériaux résistants à la corrosion par Pb à 550-800 °C
- Combustible métal ou nitrure
- Recyclage intégral des actinides
Fabrication combustible automatisée

→ 2015 : Faisabilité
2020 : Performance
2025+ : Démo LFR



Vers un recyclage intégral des actinides



Jalons :

- 2008 - Démonstration GANEX dans Atalante
- 2012 - **Micropilote Ganex à La Hague**
- 2015 - Fabrication de combustible TRU
- 2020 - **Essais d'irradiation dans Monju**

Moyens financiers : 4 à 6 M€/an

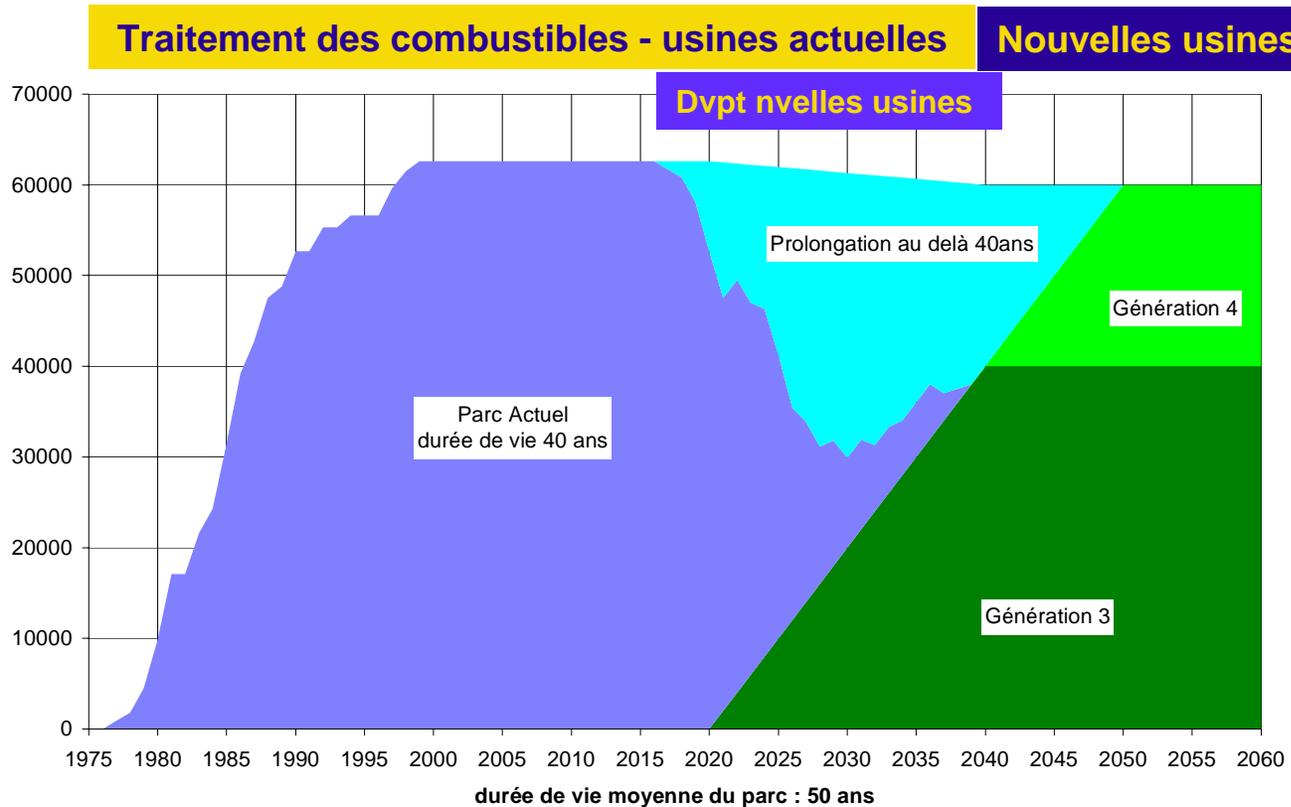
Collaborations :

Areva, CNRS (PARIS...) + Japon (JNC), Etats-Unis (DOE) dans le cadre Gen IV



Scenario de renouvellement du parc français (EDF)

- *Rôle majeur des réacteurs à eau sur le 21^e siècle*
 - ❖ *REP actuels (Gen II) : extension de la durée de vie (> 40 ans)*
 - ❖ *REP Gen III : remplacement des REP actuels vers 2015 – Exploitation sur le 21^e siècle*
- *Transition entre réacteurs à eau et systèmes à neutrons rapides*



Comparison of Different High-Temperature Reactors

<i>Property</i>	<i>AHTR</i>	<i>VHTR</i>
Fuel	Coated Particle	Coated Particle
Neutronics	Epithermal	Epithermal
Power Cycle	Helium Brayton	Helium Brayton
Safety System	Passive	Passive
Coolant	Molten Salt	Helium
Pressure	Atmospheric	High Pressure
Power Level	2400 MW(t)	600 MW(t)



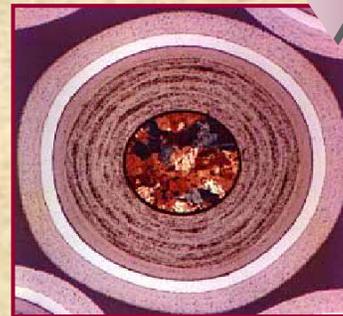
**General Electric
S-PRISM**

**Passively Safe Pool-Type
Reactor Designs**



GE Power Systems MS7001FB

Brayton Power Cycles



**High-Temperature
Coated-Particle
Fuel**



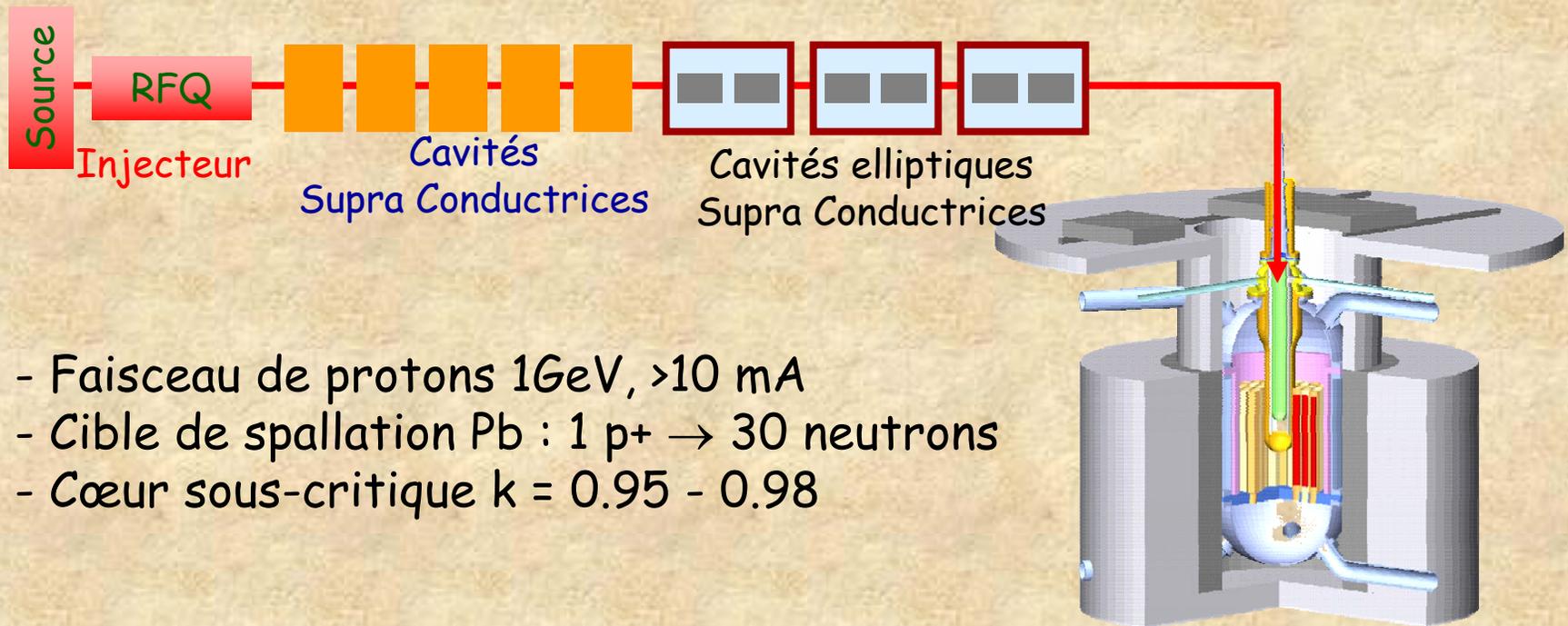
**High-Temperature,
Low-Pressure
Transparent Molten-
Salt Coolant**

*The Advanced
High-Temperature
Reactor*

**Combining Existing
Technologies In A New Way**



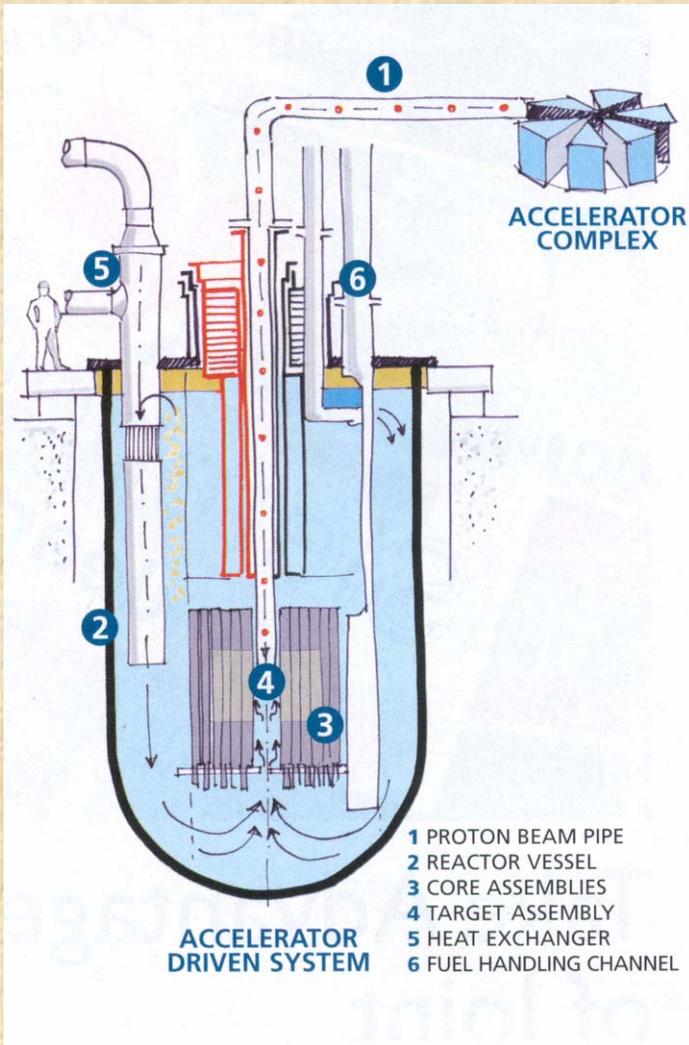
ADSR : Accelerator-Driven Subcritical Reactor



- Faisceau de protons 1GeV, >10 mA
- Cible de spallation Pb : $1 p^+ \rightarrow 30$ neutrons
- Cœur sous-critique $k = 0.95 - 0.98$



Le « créneau » des ADS



Production d'électricité ??

- Plus sûr
 - Sous-criticité
 - Circulation naturelle
 - Plomb
- Compétitif
- Non Proliférant (Thorium)

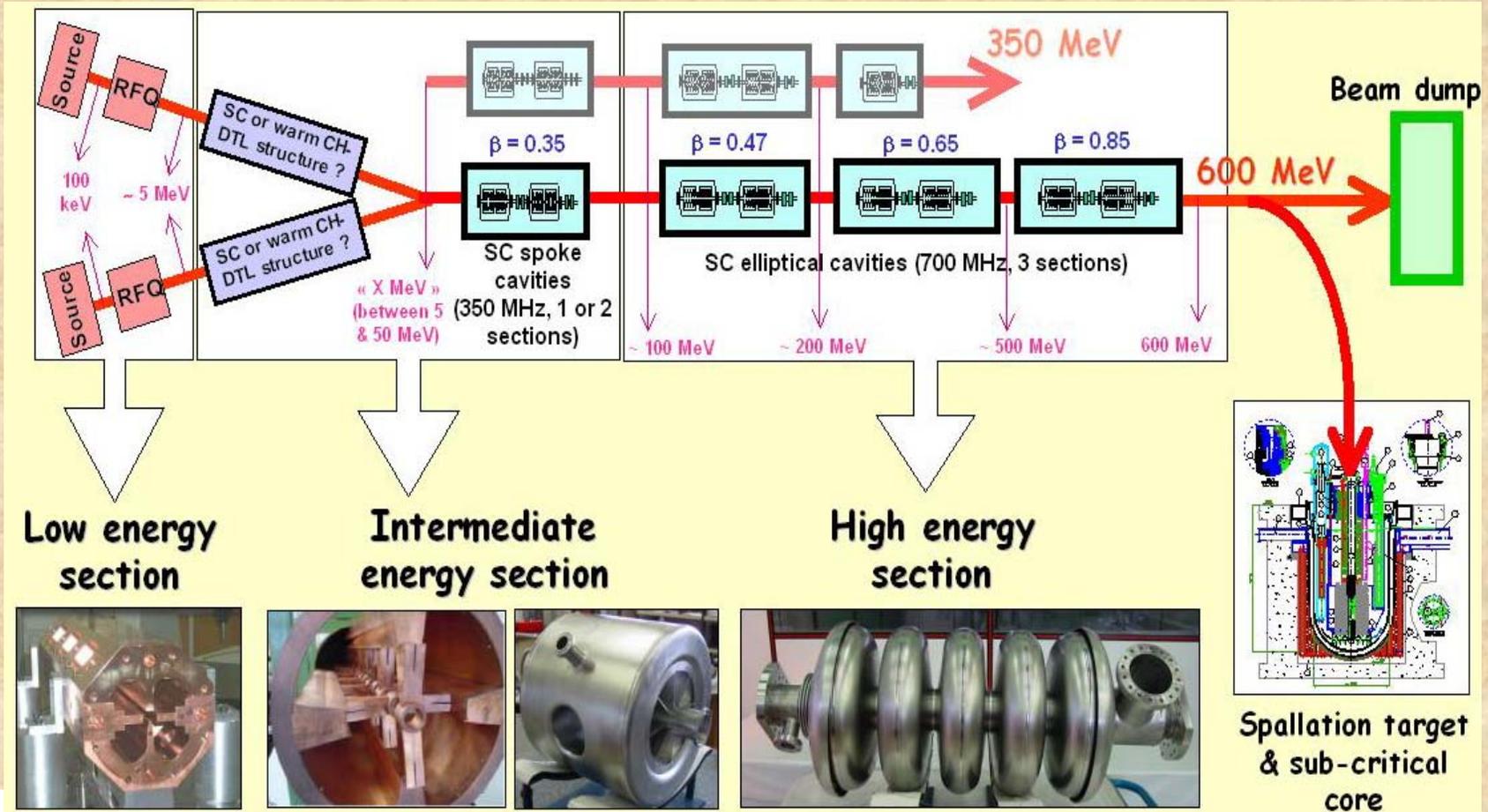
Transmutation

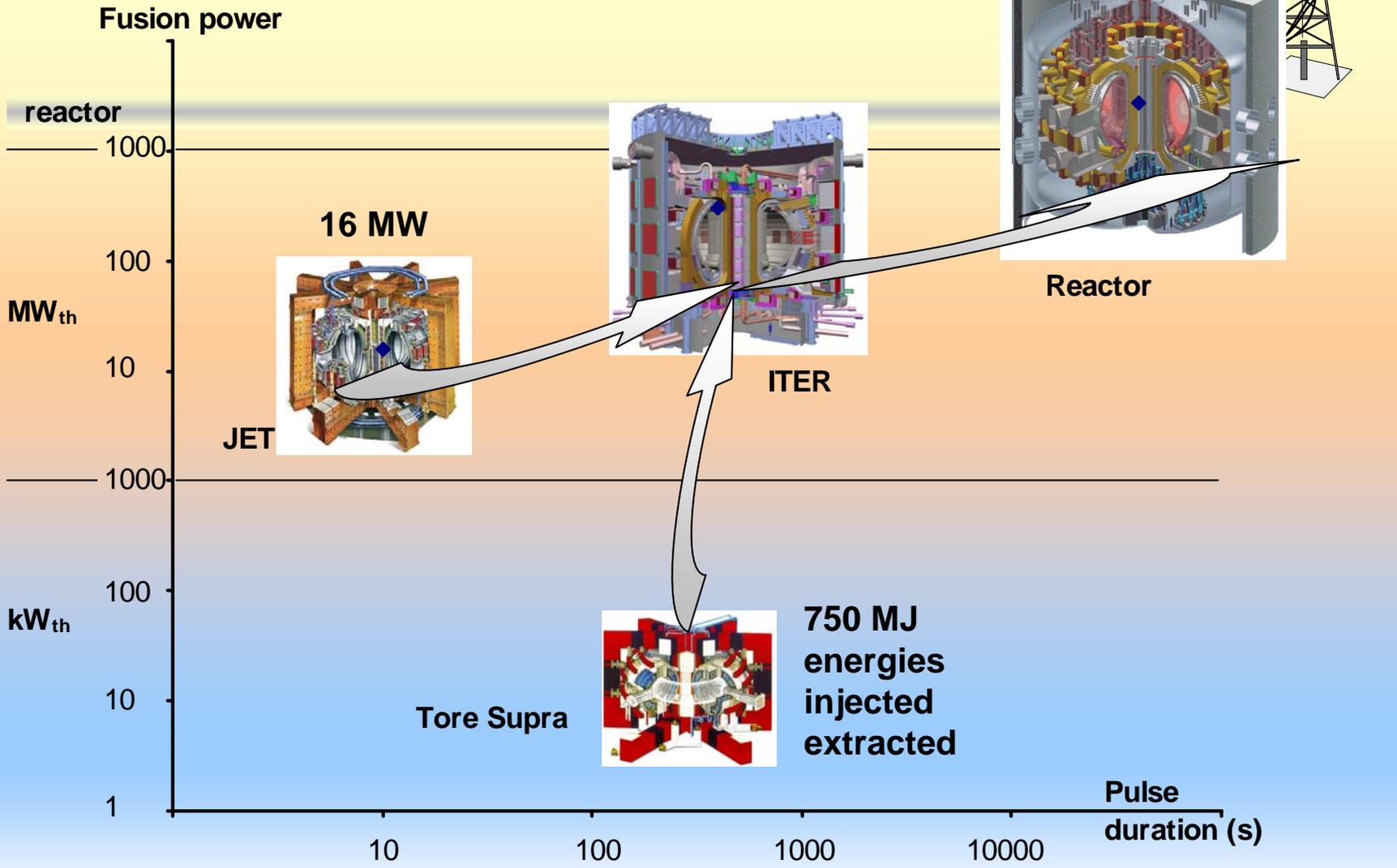
- Spectre et Flux RNR
- Ralentissement « adiabatique »
- β_{eff} « ajustable »



Besoins en R&D

Accélérateur







Quand ça marchera...



- ▶ **Sûreté intrinsèque** (absence de réactions en chaîne, peu de combustible en jeu, le plasma ne pesant que quelques mg).
- ▶ Le « cycle du combustible » (transformation du lithium en tritium) est intégré à la machine : il n'y a donc pratiquement **pas de transport de combustible** hors du site.
- ▶ **Réserves** en combustibles « presque » illimitées.
- ▶ **Pas de déchets à vie longue.**

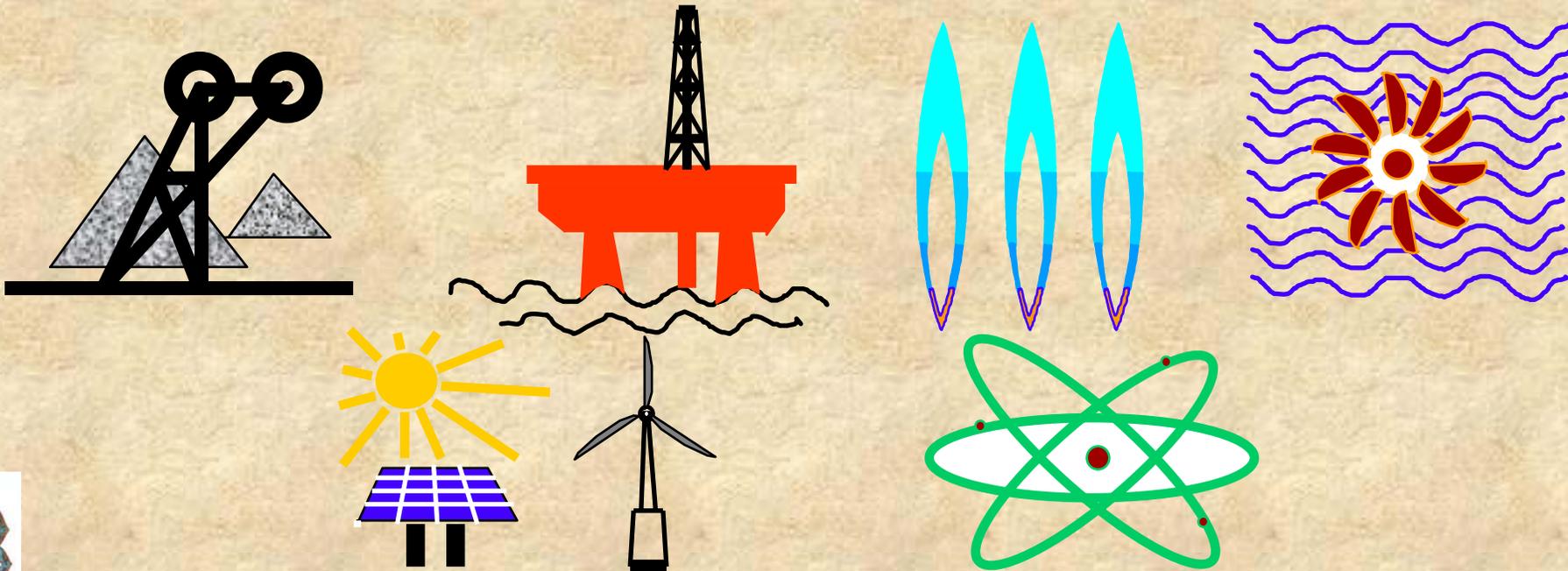
- ▶ Réacteur plus **complexe** qu'un réacteur à fission : le milieu réactif est un plasma dont la production et le maintien nécessitent une machinerie lourde : aimants (supraconducteurs pour ITER), dispositifs de chauffage...).
- ▶ Existence d'un effet de seuil (volume pour le confinement magnétique, énergie à déposer pour le confinement inertiel), de sorte qu'il est **impossible d'envisager de petites unités de production.**
- ▶ **Matériaux** à inventer
- ▶ **Déchets** radioactifs (vie courte)



Dans la première moitié de notre siècle

Pour alimenter 8 à 9 milliards d'êtres humains, avec 16 Gtep/an

On aura besoin de TOUT !



Disponible sur simple courriel à :
publications@areva.com

BERTRAND BARRÉ

Tout sur l'énergie nucléaire *d'Atome à Zirconium*



A
AREVA

Livre, ou CD-rom bilingue

