



ITER, horizons lointains



L'énergie

- Le gaz et le pétrole se raréfient inéluctablement

Marché énergie : 3.000 Milliards € par an

- L'Europe est de plus en plus dépendante pour son énergie : 50% aujourd'hui, au moins 70% dans 25 ans.

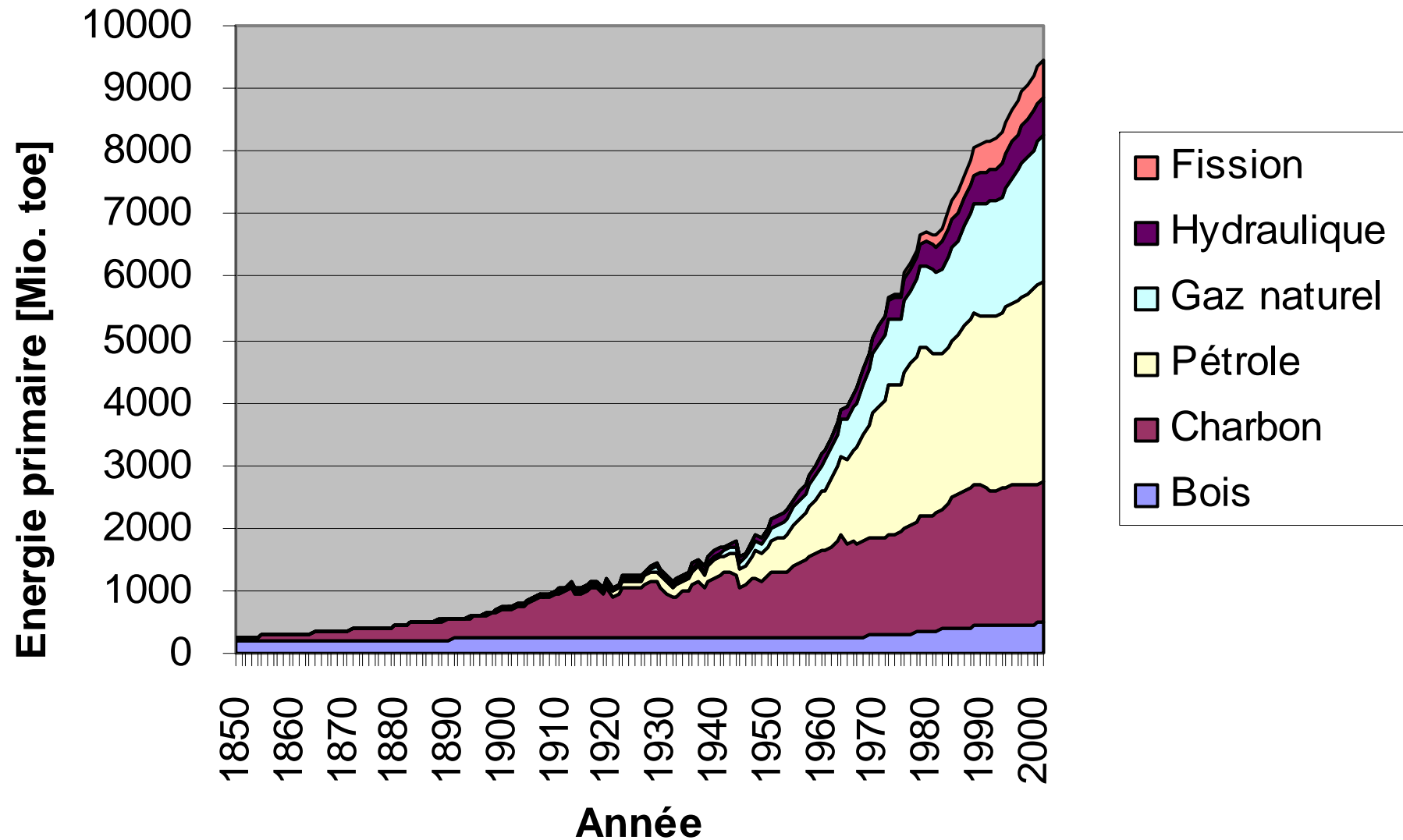
- L'effet de serre est très préoccupant

➔ **Le charbon n'est pas la solution même si capture CO2**

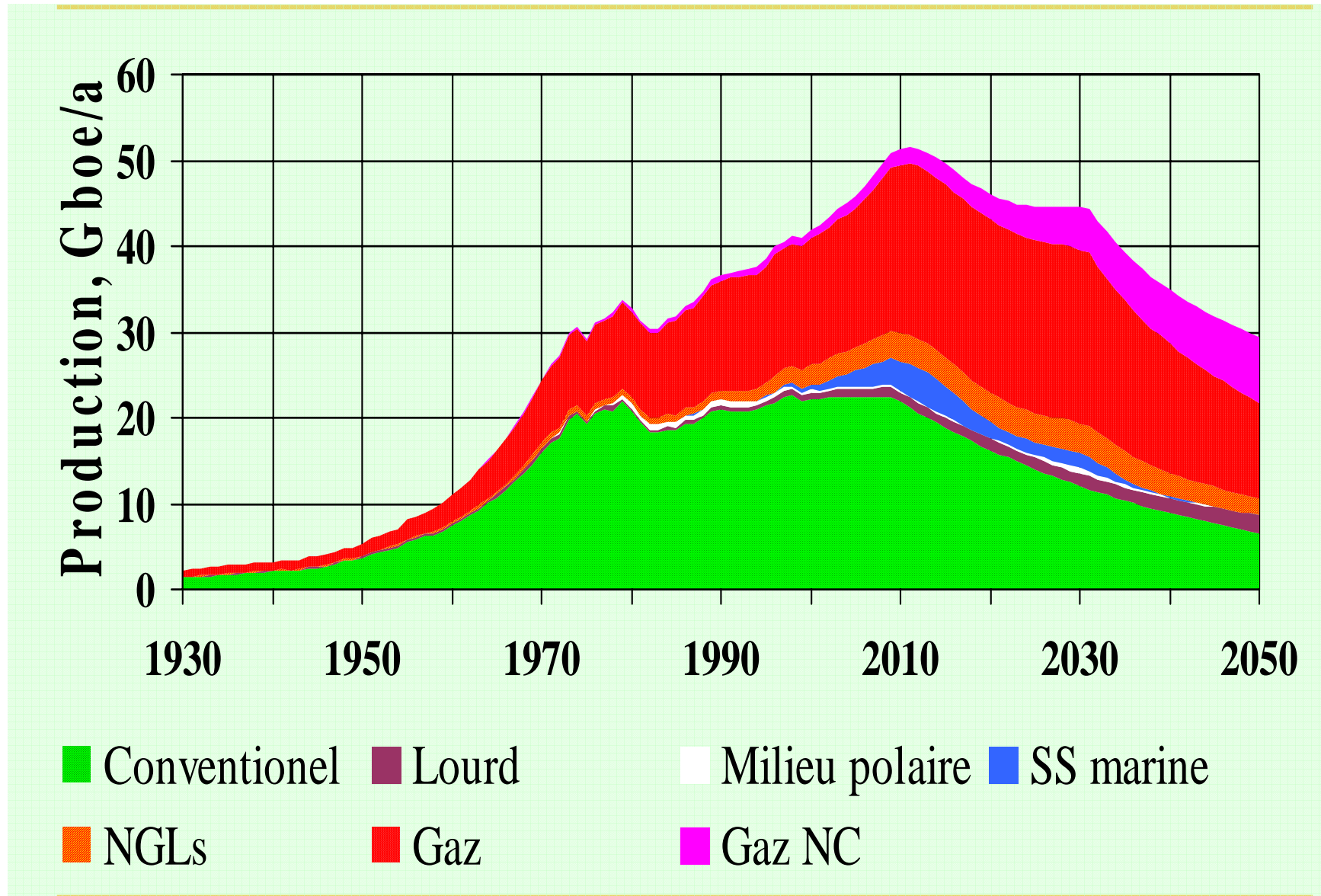
Il faut une vision de long terme, explorant et utilisant toutes les voies respectueuses du fonctionnement de la planète :

Maîtrise de l'énergie, énergies renouvelables, énergie nucléaire de fission et de fusion

Consommation d'énergie dans le monde

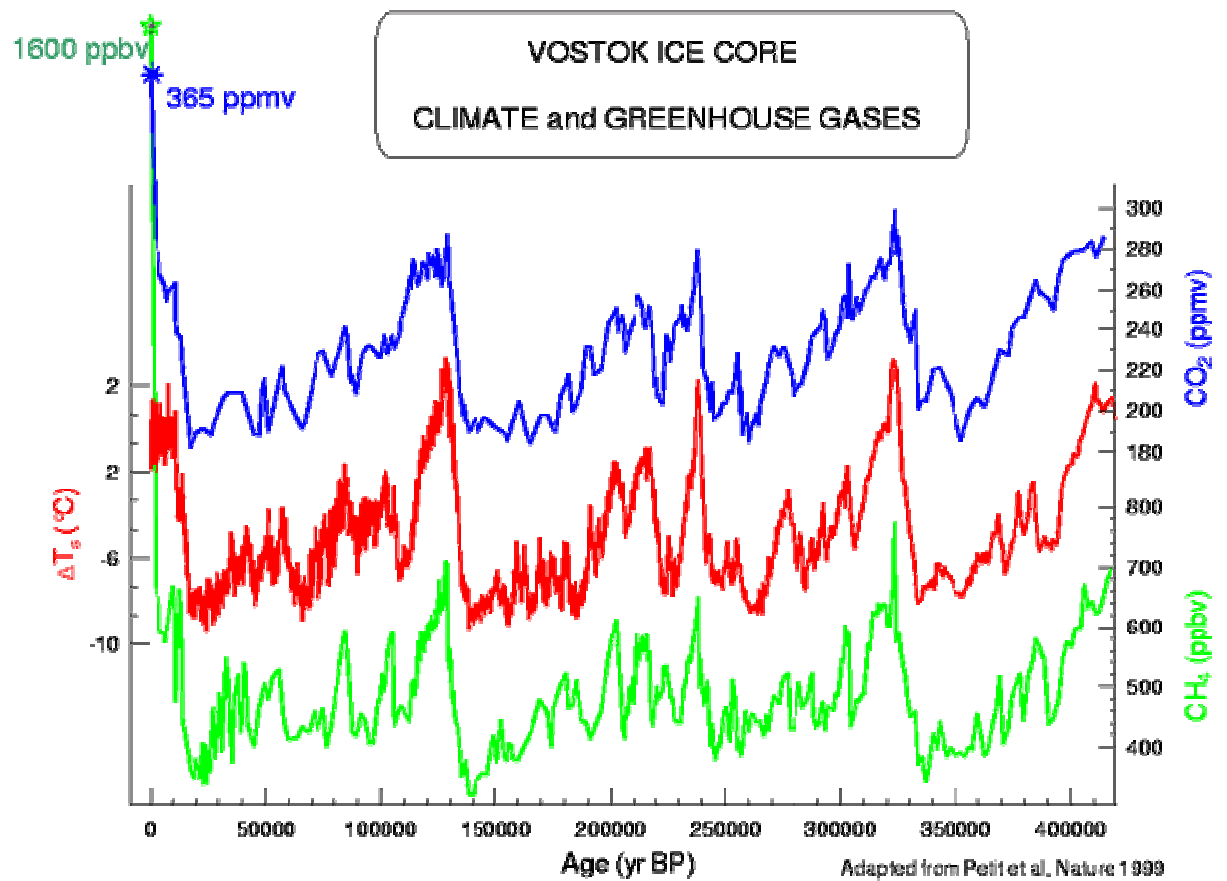
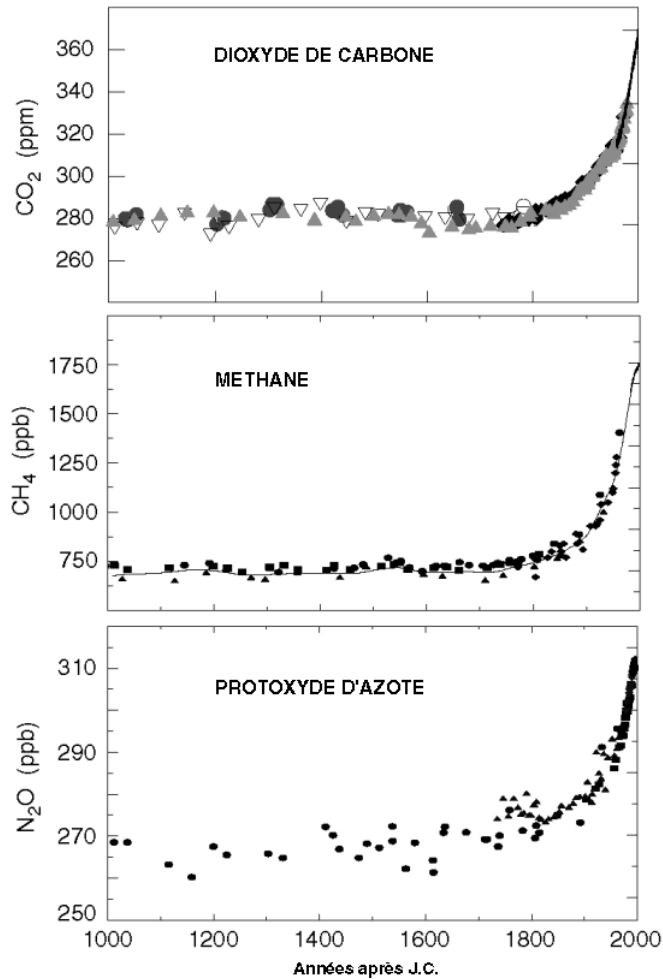


Chute de la production d'hydrocarbonés vers 2010 ?



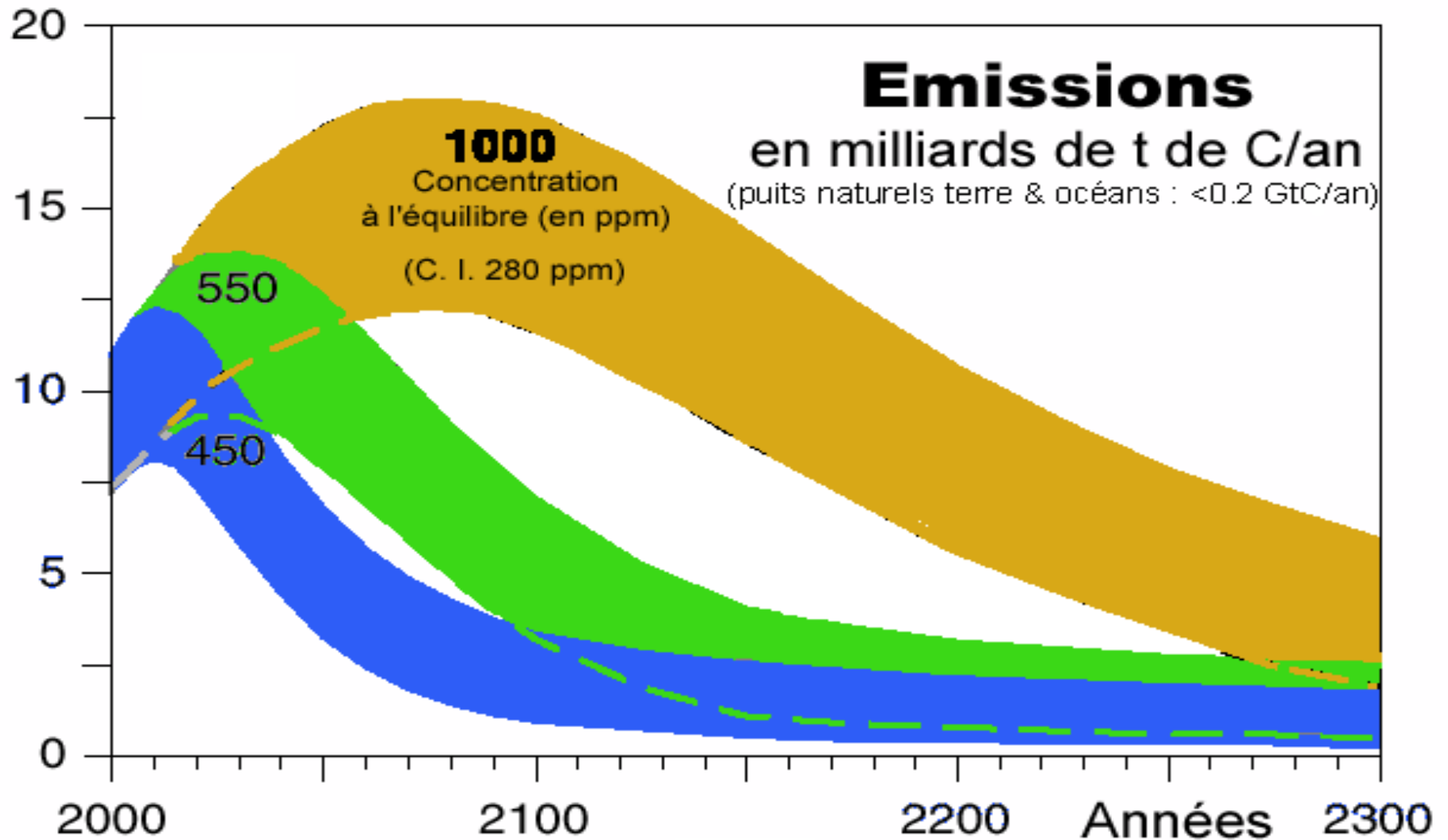
Des enjeux climatiques

Gaz à effet de serre, réchauffement = + 1.5/+4°C en 2100 ?



Des difficultés sérieuses pour les générations futures

Gtc/an

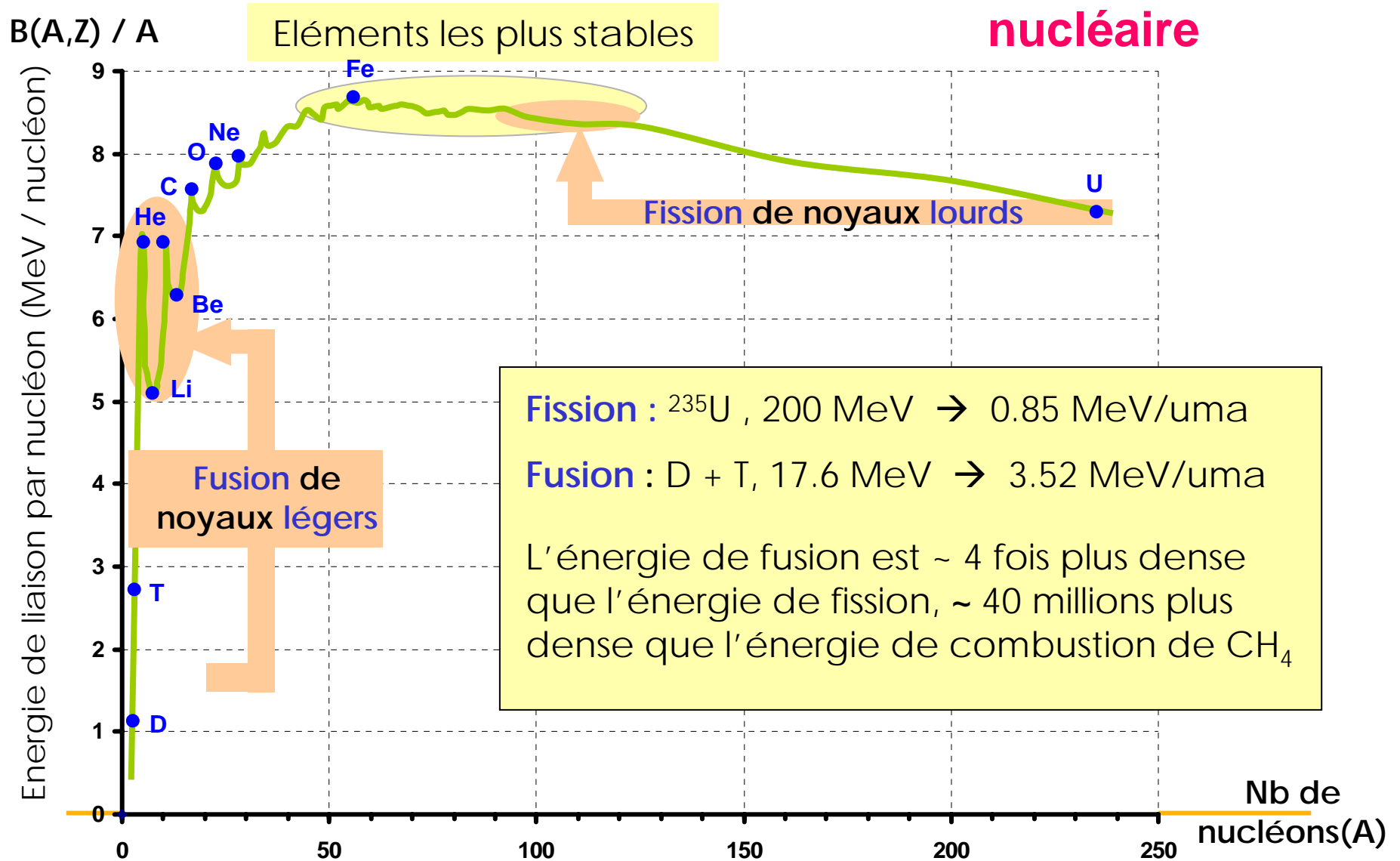


De nouvelles stratégies sont nécessaires

Pour aboutir à une réduction drastique des émissions de CO₂,
cible réaliste : les diviser par 4 avant 2050

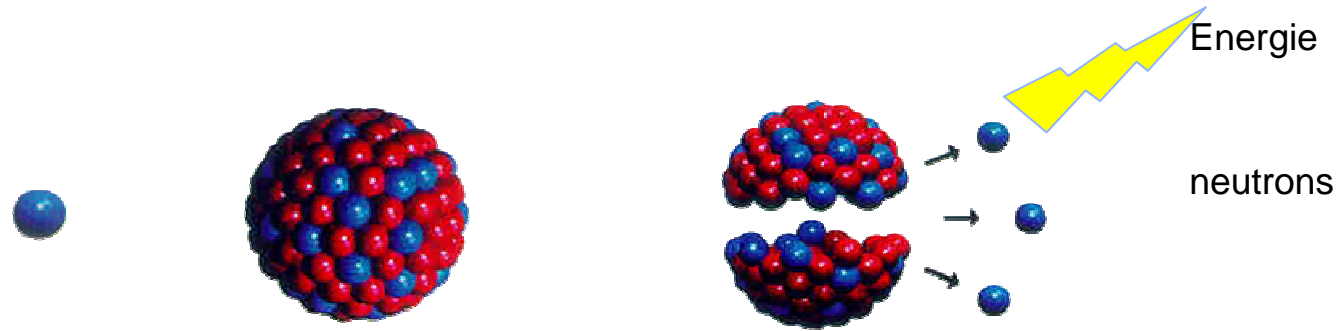
1. Objectifs **d'économie d'énergie** : éducation + innovation technologique + nouvelle organisation économique et sociale
 2. Objectifs de **diversification des sources d'énergies** en privilégiant les énergies non génératrices de gaz à effet de serre (investissements en Europe 1000 milliards d'euros d'ici 2025):
 - **Énergies renouvelables** : biomasse, solaire, éolien,...
 - **Capture/séquestration du CO₂ produit par la combustion des hydrocarbures et du charbon**
 - **Vecteur hydrogène et piles à combustibles à partir de la décomposition (thermique, électrochimique) de l'eau**
 - **Systemes nucléaires du futur : fission à neutrons rapides, fusion**
-

2 voies pour la production d'énergie d'origine nucléaire

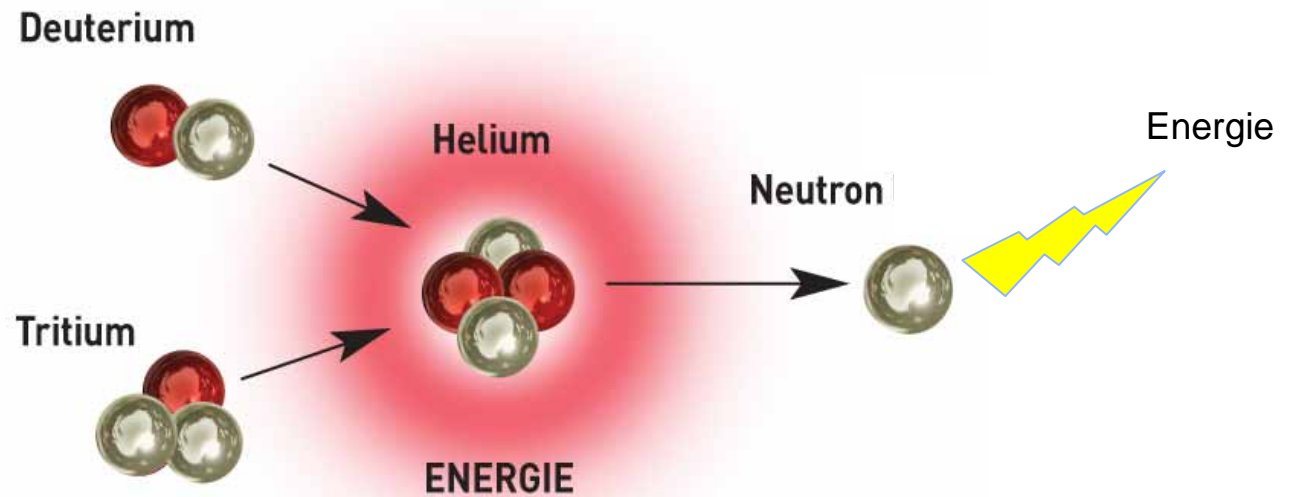


Deux voies pour récupérer l'énergie d'origine nucléaire

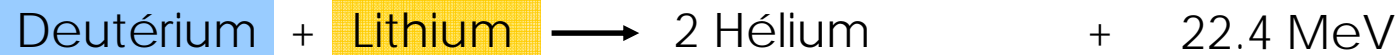
Fission



Fusion



Quels combustibles pour un réacteur de fusion sur terre ?



Le **deutérium** est un élément qui peut être extrait de l'eau et ses réserves correspondent à **plusieurs milliards** d'années de consommation mondiale

D + T : section efficace de fusion et densité d'énergie élevées : meilleurs candidats

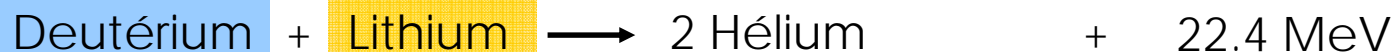
Le **lithium** naturel : ${}^7\text{Li}$ (92.5%) et ${}^6\text{Li}$ (7.5%)

Le lithium terrestre est plus abondant que l'étain ou le plomb et dix fois plus abondant que l'uranium. Le lithium peut aussi être tiré de l'eau de mer (0.17g/m³).

Les ressources en lithium **terrestre** sont de l'ordre du **millier d'années**. Cette limite est repoussée à plusieurs **millions d'années** si le lithium est tiré de **l'eau de mer**.

100 kg de D et 350 kg de Li = combustible d'une centrale de 1GW_e/an

Quelles conséquences au plan de la radioactivité?



Le **tritium** est radioactif β (période 12,3 ans, énergie 19 keV).

Le **lithium**, le **deutérium** et l'**hélium** sont non-radioactifs.

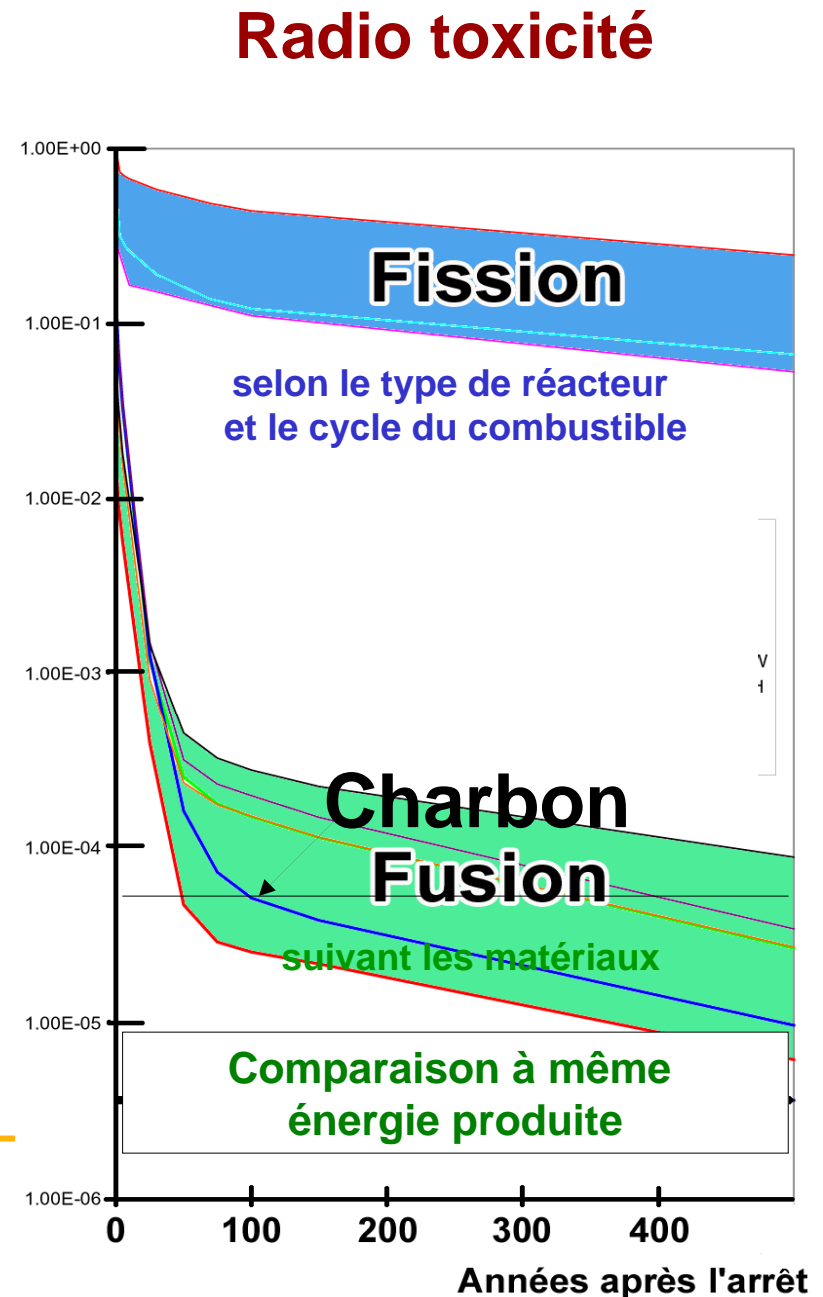
Les noyaux d'hélium constituent l'émission α avec une énergie de 3.6 MeV. Ils servent essentiellement à assurer le chauffage du plasma. Ils sont totalement arrêtés par les parois.

Les neutrons produits ont une énergie initiale de 14,1 MeV. Ils perdent cette énergie dans les parois et les structures externes qu'ils **activent**. Des radionucléides sont donc produits. Ils émettent à leur tour un rayonnement ionisant (émissions α , β , γ) dont il faut **protéger** l'environnement et la population qui travaillent à proximité.

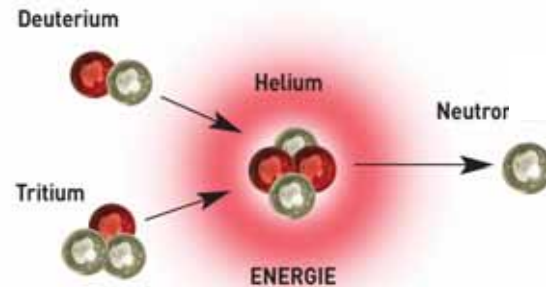
Les matériaux irradiés se **désactivent naturellement en quelques décennies** s'ils sont choisis judicieusement.

Pourquoi la voie de la fusion ?

- **Combustible**
 - Abondant, très énergétique, largement distribué sur la planète
- **Sûreté**
 - Pas de risque d'explosion ou d'emballement
- **Déchets**
 - Pas d'accumulation de radioactivité à très long terme (faible radiotoxicité résiduelle après 100 ans)

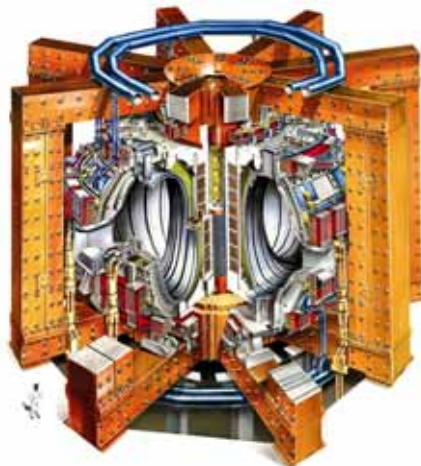


Les résultats acquis

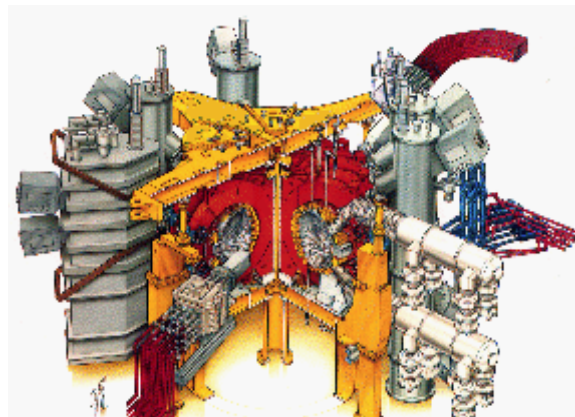


JET (Europe) et JT60 (Japon)

records de température du « plasma » et de puissance de fusion



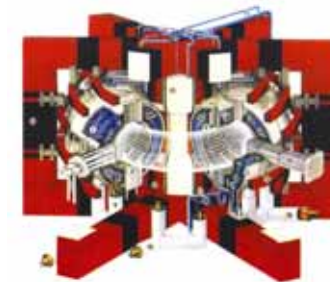
JET (10-20MW)



JT 60

Tore Supra (Europe)

technologies pour augmenter la durée des « plasmas »



Tore Supra

Fonctionnement en tritium

ITER : Une étape majeure vers un démonstrateur



Tore

Supra

25 m³

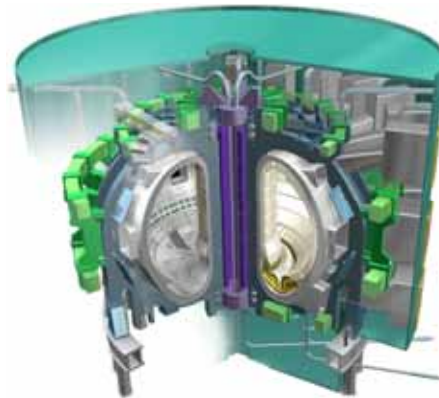
~ 0 MW_{th}



JET

80 m³

~16 MW_{th}

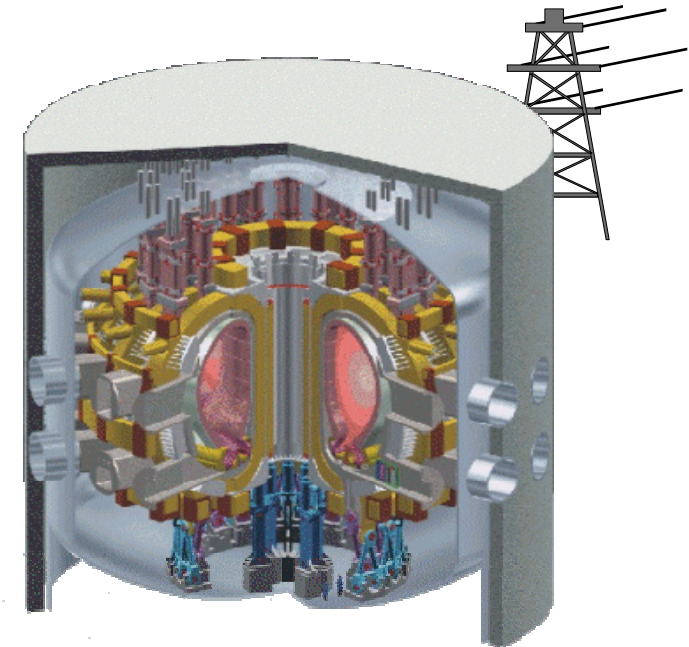


ITER

800 m³

~ 500 MW_{th}

Auto-chauffage dominant

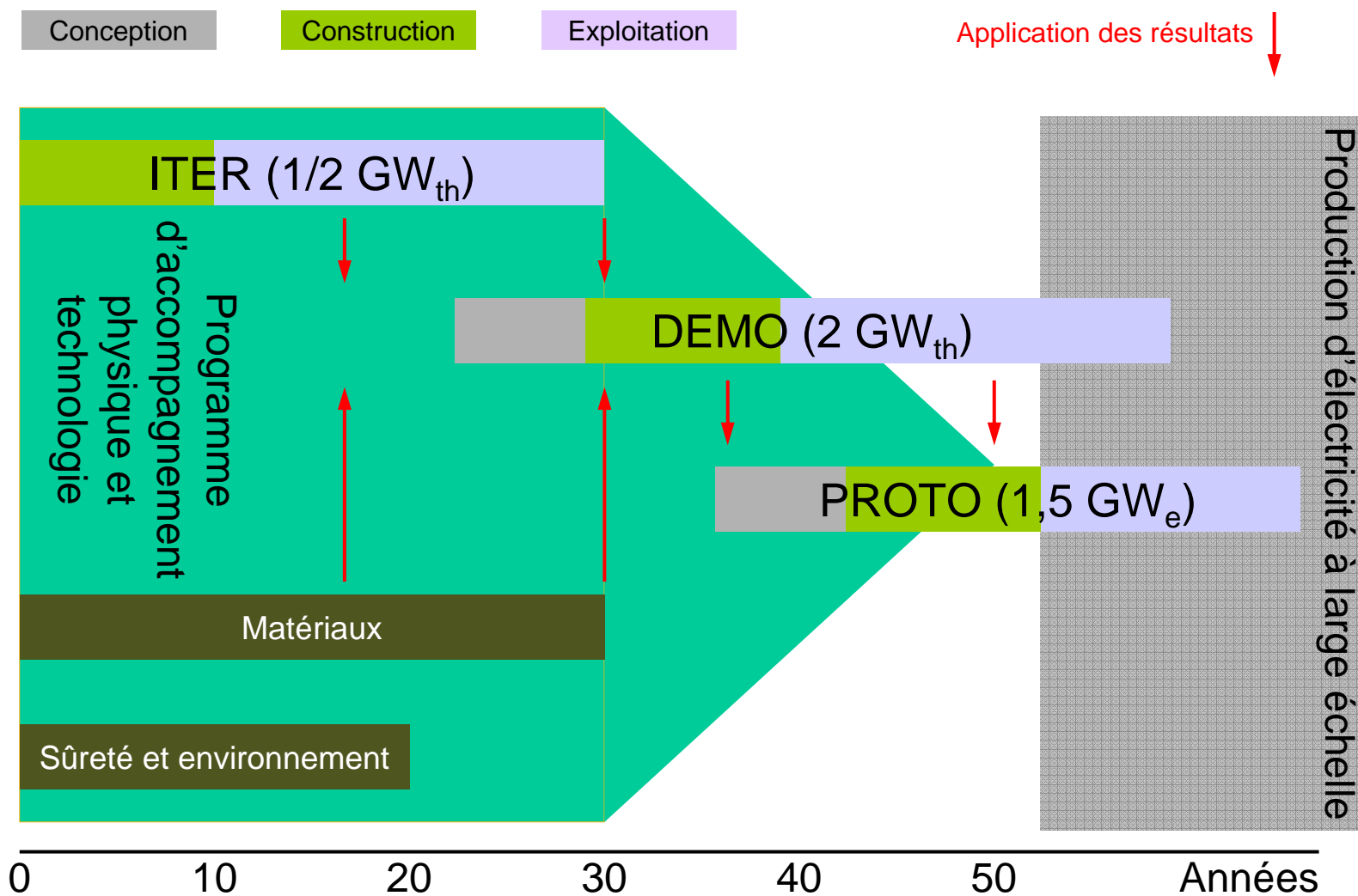


DEMO

~ 1000 - 3500 m³

~ 3000-5000 MW_{th}

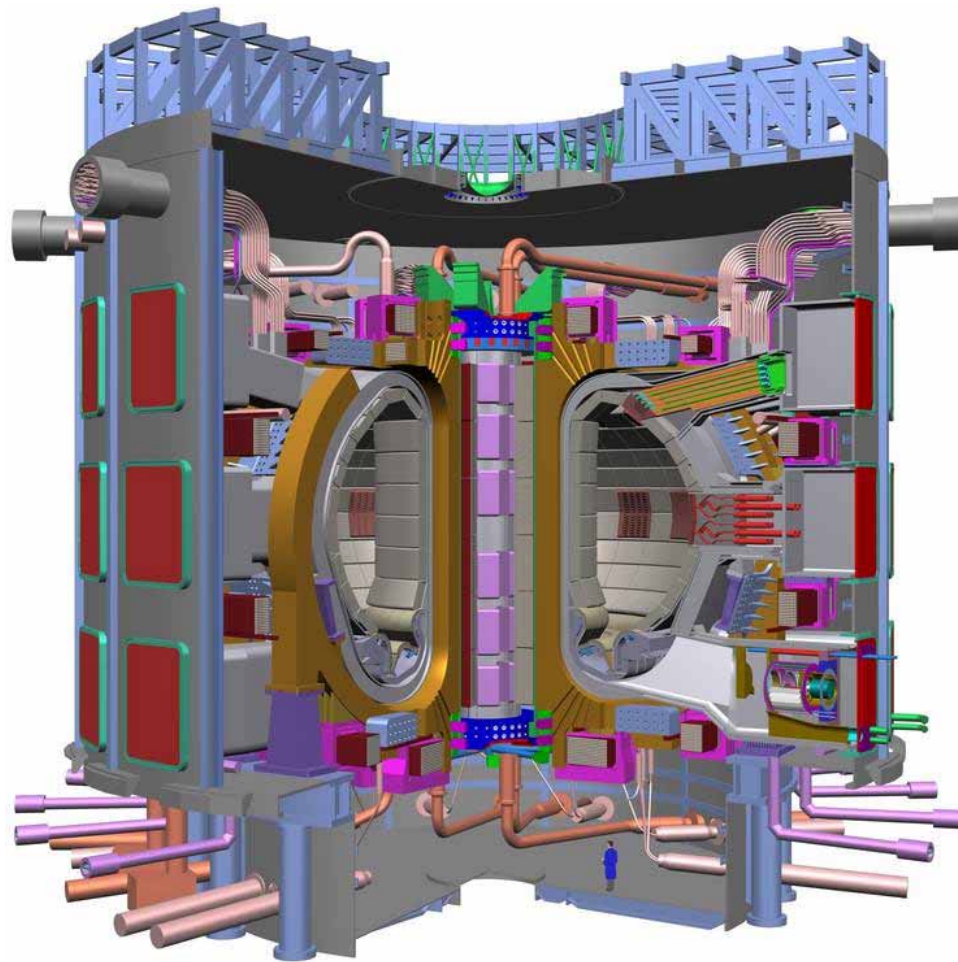
La feuille de route de fusion



(Après décision de construire ITER)

Prochaine étape : ITER

Environ 2 fois plus grand en taille que JET



50 MWth



500 MWth



Réaliser et contrôler
un **plasma** produisant
une puissance
10 fois supérieure
à celle qui le chauffe

Le site de Cadarache

ITER: 2000 personnes (construction)
1000 personnes (exploitation)

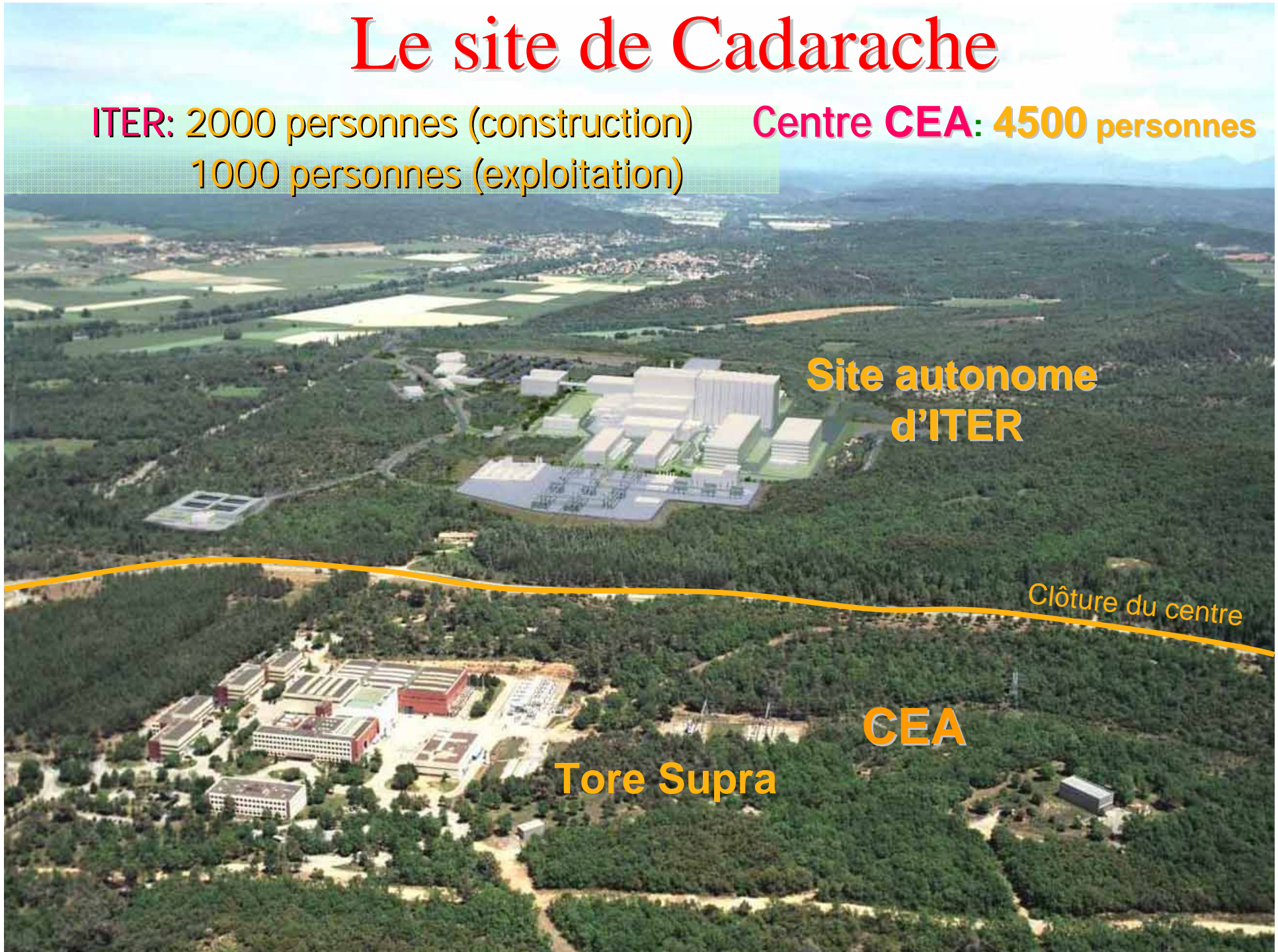
Centre CEA: 4500 personnes

Site autonome
d'ITER

Clôture du centre

CEA

Tore Supra

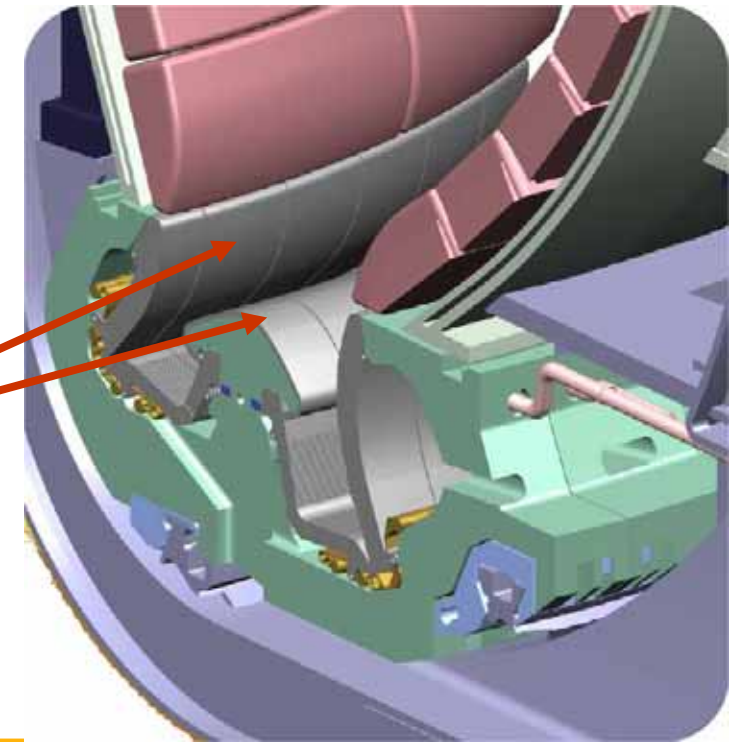


Les défis scientifiques de ITER

- **Stabilité globale du plasma dans des conditions de transport turbulent**
 - **Conception de matériaux résistants sous flux extrêmes de chaleur et de neutrons**
 - **Production de tritium in situ**
 - **Séparation de l'hélium des produits du deutérium et tritium non brûlés**
 - **Modes de chauffages (ondes et particules)**
 - **Interactions plasma-surface**
 - **Mesures non intrusives des caractéristiques du plasma**
-

Ce qu'apportera ITER

- **Domaine scientifique**
 - Démonstration de l'auto-chauffage
 - Développement de « scénarios » et modélisation théorique, ...
- **Intégration technologique**
 - Aimants supraconducteurs
 - Composants soumis à de forts flux thermiques
 - Robotique
 - Moyens de chauffage du plasma...

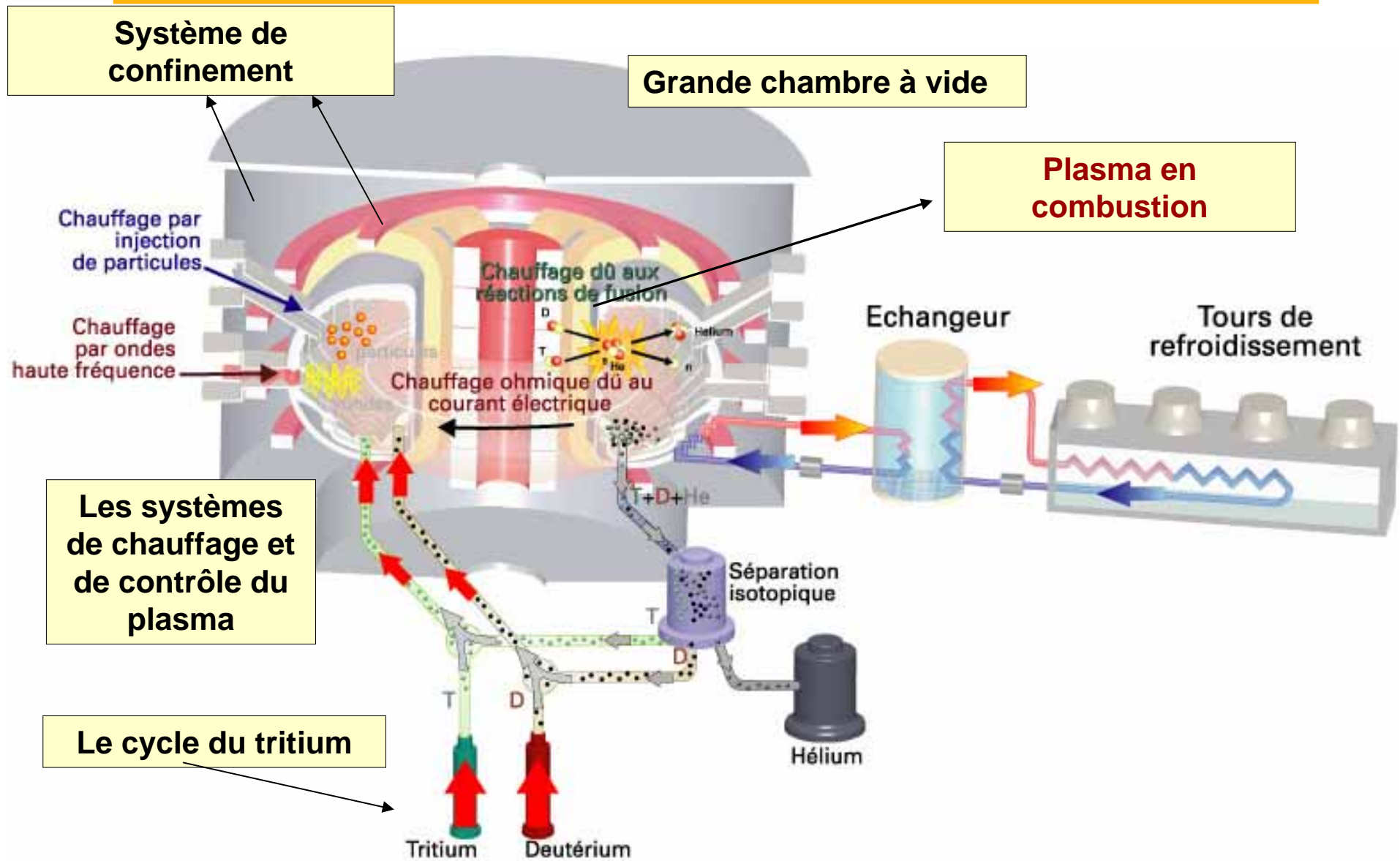


Diapositive 19

D1

DSM/DRFC; 01/03/2006

Apports d'ITER au prototype préindustriel (DEMO)

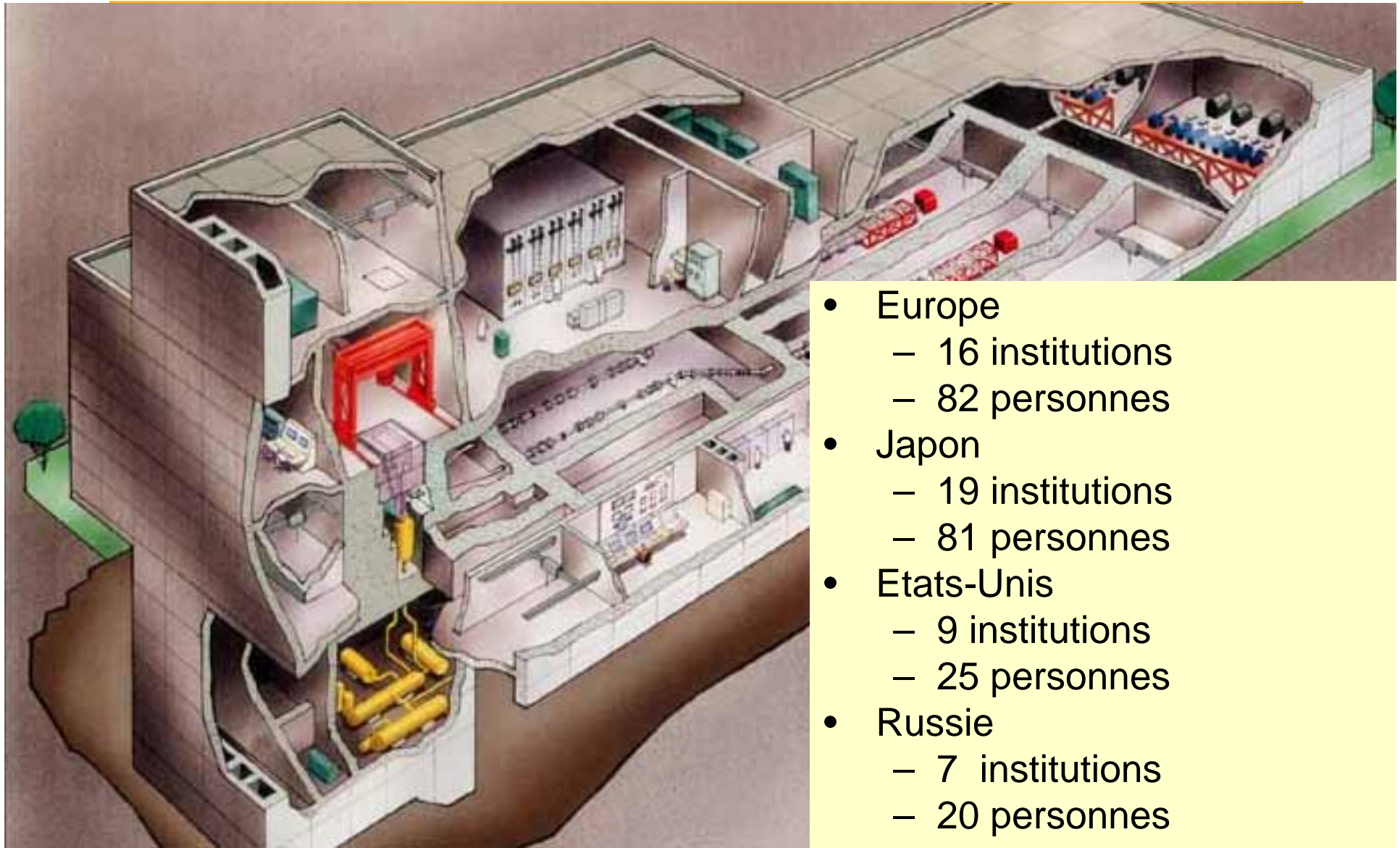


Des premières réponses avec ITER à développer

- Régénération du tritium (lithium)
 - *modules de couverture (ITER)*
 - *Utilisation de l'Eurofer*
 - *couverture (DEMO)*
- Le développement de matériaux résistant aux neutrons de haute énergie (DEMO)



Recherches sur les matériaux (IFMIF)



- Europe
 - 16 institutions
 - 82 personnes
- Japon
 - 19 institutions
 - 81 personnes
- Etats-Unis
 - 9 institutions
 - 25 personnes
- Russie
 - 7 institutions
 - 20 personnes

Étapes à franchir

- **Programme d'accompagnement (2006 – 2015)**
 - Préparation d'ITER et du design de DEMO
 - **ITER (2006 – 2035)**
 - Plasma en combustion et technologies clefs
 - **Programme matériaux sous n 14 MeV (2006 – 2035)**
 - Simulation, implantation, irradiateur IFMIF
 - **DEMO (2015 – 2050)**
 - Réacteur électrogène, optimisation industrielle
 - **PROTO (2035 – ...)**
 - Production électricité à grande échelle vers 2050
-