

La Fusion:



Question d'avenir



JET




ITER



France

Menu

- Motivations:
 - Energie:
 - Besoins
 - Disponibilité
 - climat
- La fusion:
 - Principes
 - Etat des recherches
 - ITER
- Feuille de route



J Jacqu not , foire Marseille sept 2010 2

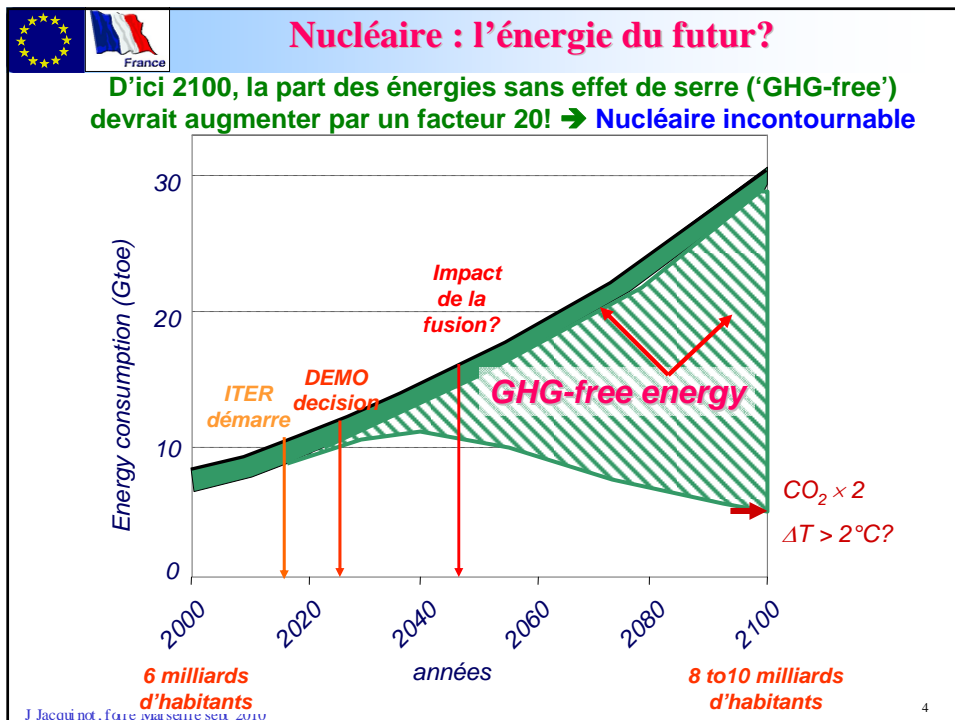
L'énergie → Le défi du siècle !!


2006 en Chine: + 105 GW, 90% charbon!
Total électricité en France: 80 GW, 78% nucléaire

- Le gaz et le pétrole disparaissent
Marché énergie 4.000 Milliards € par an
- L'Europe est très dépendante pour son énergie
Retour au charbon ? → effet de serre

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

La fusion: oui, mais elle a besoin de physique et de technologie

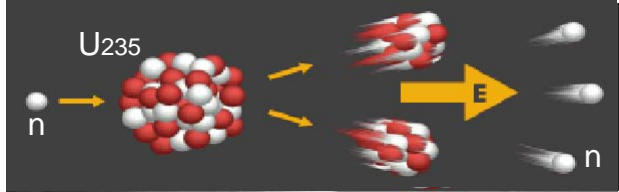




Fission / Fusion

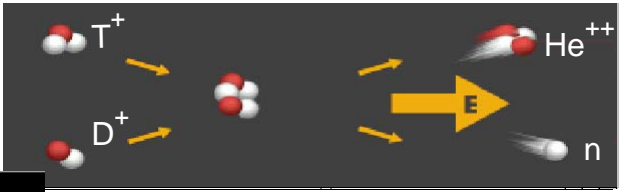
Fission
Combustible : Uranium solide

Produits de fission

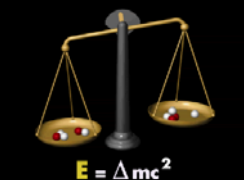


Neutrons
produisent les réactions en chaîne

Fusion
Combustible hydrogène: gaz




Hélium
maintient la température du gaz



$E = \Delta mc^2$


Combustible de la fusion: deutérium et tritium
Deutérium: se trouve dans les océans
Tritium: fabriqué in situ à partir du Lithium

5




Evolution des réacteurs nucléaires


Premiers Réacteurs



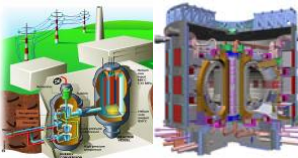
Réacteurs actuels



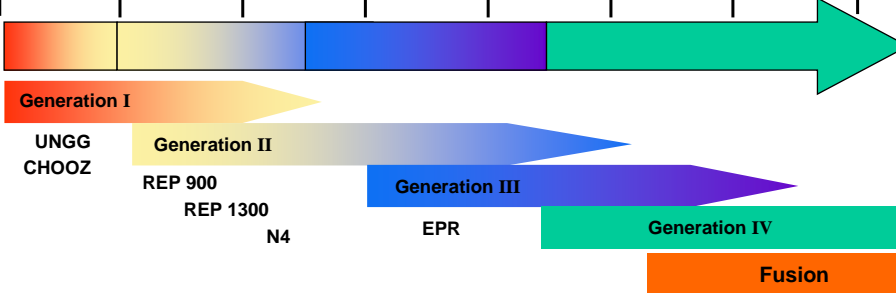
Réacteurs Gen III



Systèmes du Futur



1950
1970
1990
2010
2030
2050
2070
2090



Generation I
UNGG
CHOOZ

Generation II
REP 900
REP 1300
N4

Generation III
EPR

Generation IV
Fusion

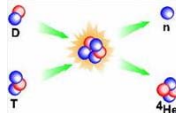
J. Jacquinet, Faire Marseille sept 2010

6

Comment faire la fusion?

	Soleil	Tokamak JET/ITER	Lasers sur cible
Confinement:	gravitation :	magnétique :	inertiel :
Dimension:	1.3 10 ⁸ m	10 m	10 ⁻² m
Durée:	3 10 ¹⁶ s	400 s	10 ⁻⁸ s
Pression:	10 ⁹ atm	2 atm	10 ⁹ atm

Température ionique : 100 millions deg ⇔ énergie thermique = 10 keV



D + T → n + 4He

Condition d'allumage :

$nT_i\tau_E \sim 10^{21} \text{ m}^{-3} \cdot \text{keV} \cdot \text{s} \sim 1 \text{ bar} \cdot \text{seconde}$

$\tau_E = \text{temps de confinement de l'énergie}$

J Jacquilot, Faire Marseille sept 2010 7

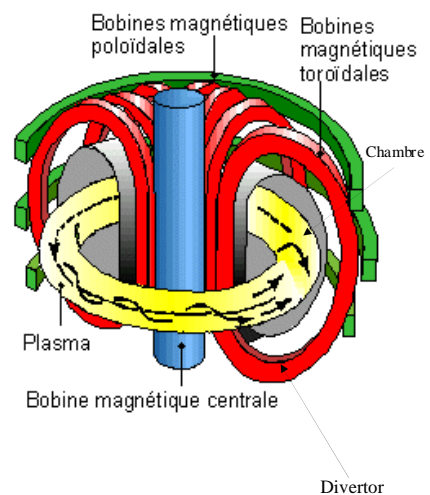
Principe du Tokamak

- Création du “plasma” (gaz très chaud) et chauffage à l’ignition
→ allumage
- Le champ magnétique compense la pression du plasma
→ confinement
- L’hélium né de la fusion D/T entretient la température
→ combustion

Questions scientifiques:

Quelle taille faut-il pour un bon rendement? → ITER

Physique du plasmas, Matériaux, mesures etc..




Bobines magnétiques poloidales
Bobines magnétiques toroidales
Chambre
Plasma
Bobine magnétique centrale
Divertor

J Jacquilot, Faire Marseille sept 2010 8


Lançons un plasma dans Tore Supra à Cadarache

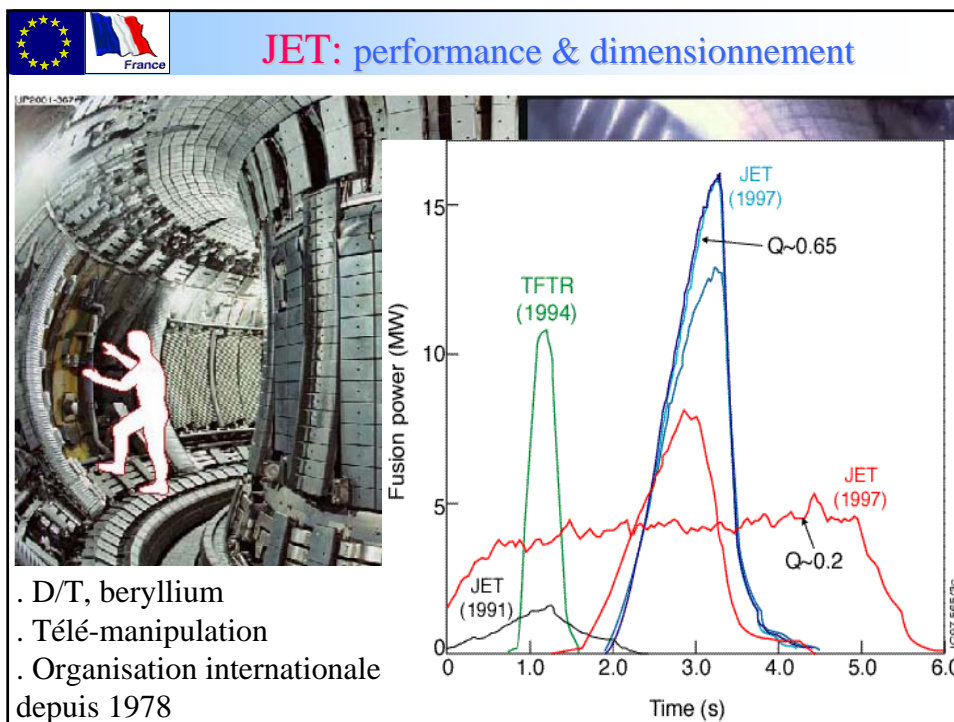
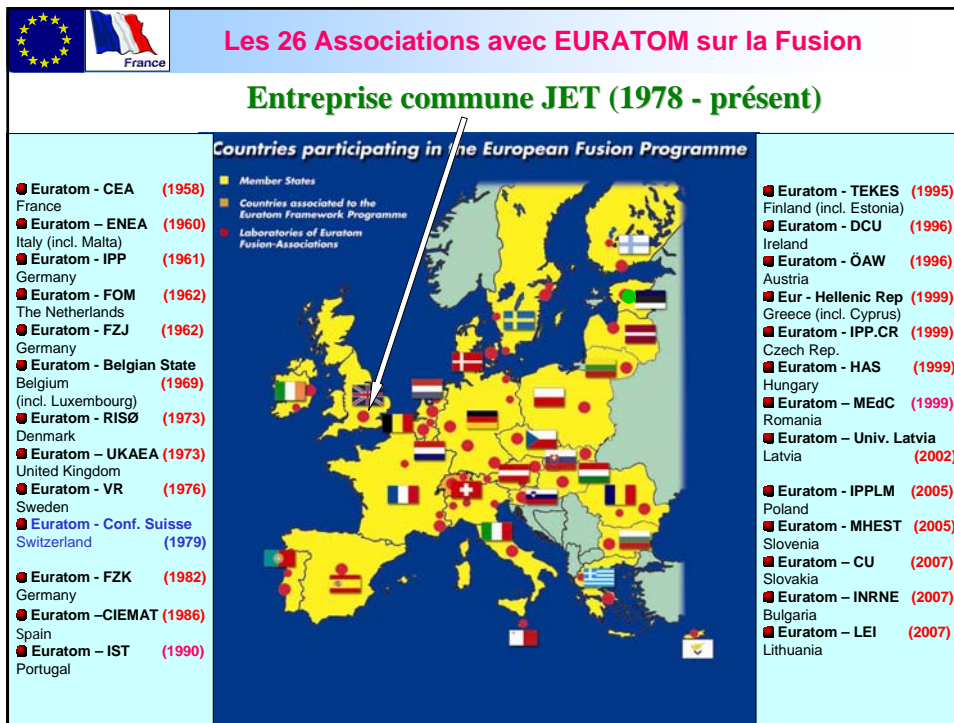
Environ 50 millions de degrés. Record d'énergie extraite

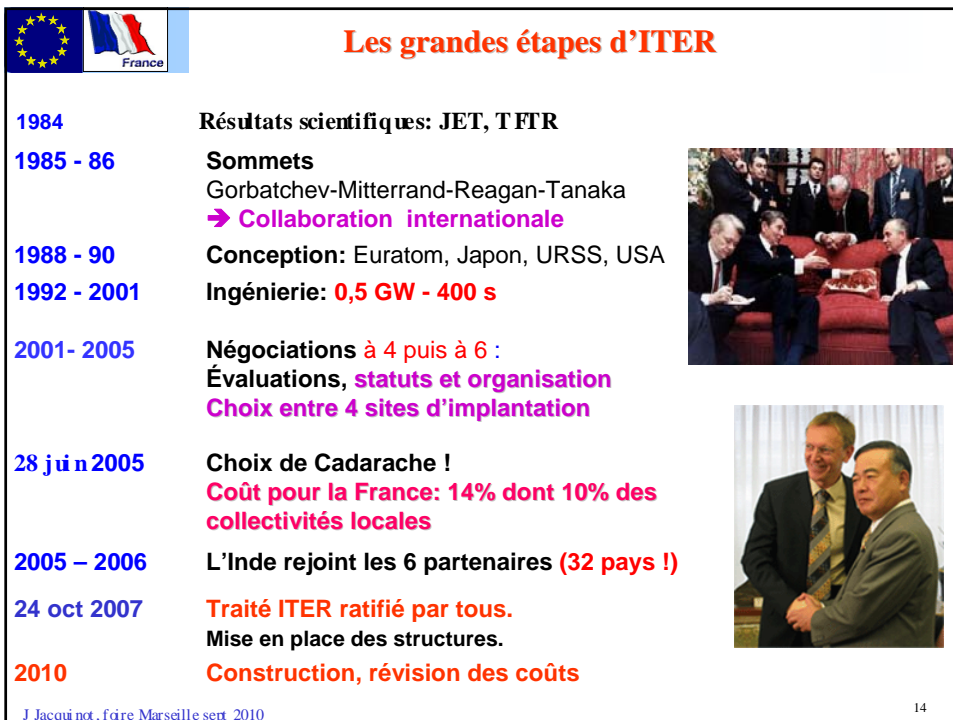
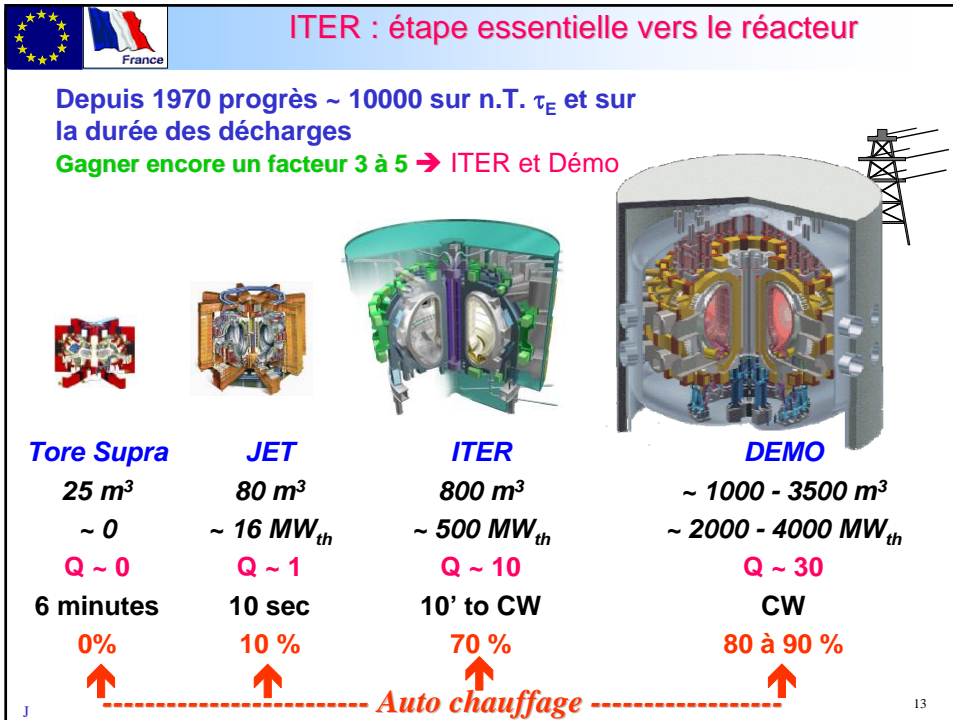
J Jacquiot, Faire Marseille sept 2010 9


Pourquoi la Fusion ?

- Combustible (D & Li)
 - Abondant, bien distribué sur la planète: **Deutérium**: océans;
 - Tritium**: fabriqué in situ à partir du Lithium
- Sécurité
 - Pas d'emballement
 - Pas de prolifération (sans matières fissiles)
- Déchets
 - Pas d'accumulation à très long terme
 - (faible radio toxicité après < 100 ans)

J Jacquiot, Faire Marseille sept 2010





ITER : le cœur

Environ 2 fois plus grand en taille que JET

50 MWth

500 MWth

Homo sapiens sapiens

Auto-chauffage du plasma par les noyaux d'hélium émis par la réaction de fusion

J Jacquinot, fôire Marseille sept 2010

15

ITER: partage des coûts

Construction : 2,7 Mrd€ pour EU en 2001
Révisé et plafonné juillet 2010 à 6,6 Mrd€ pour EU
~62 M€an pour la France
Coordination, design, matières premières, personnel

46 %	9 %	9 %	9 %	9 %	9 %	9 %

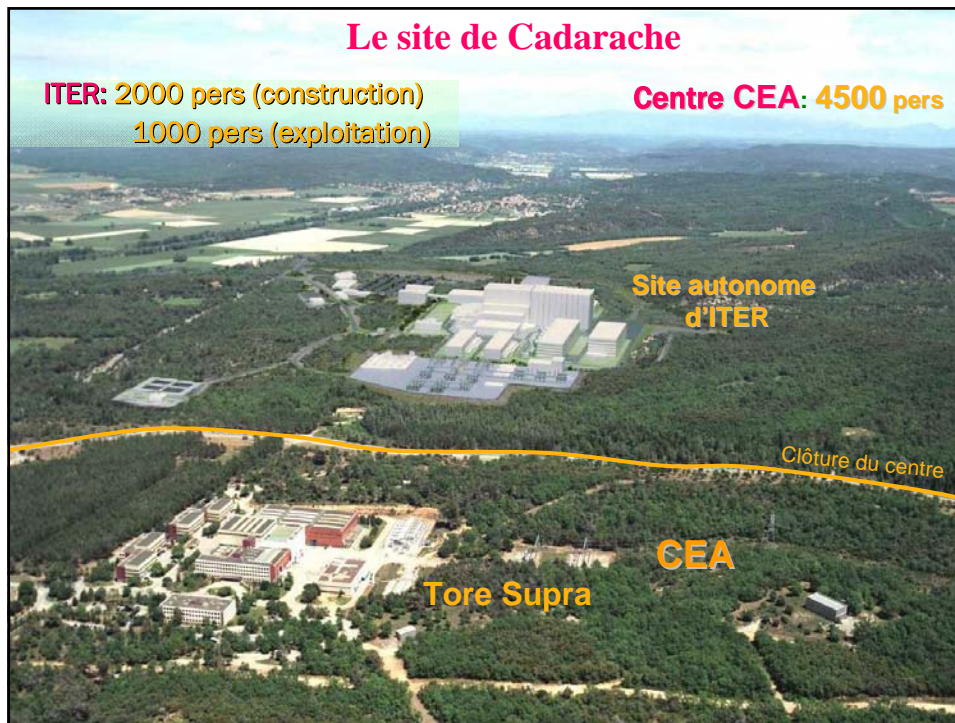
Premières expériences 2019

Exploitation et démantèlement 20 ans

34 %	13 %	13 %	10 %	10 %	10 %	10 %

J Jacquinot, fôire Marseille sept 2010

16



Structures: poupées russes

- **International**
 - **ITER IO**, siège Cadarache; 470 personnes en 2010
 - Une agence ITER par partenaire : **fournitures en nature**
- **Niveau européen:**
 - **Agence F4E**, siège Barcelone → **fournitures Européenne pour ITER**
 - **Commission européenne** → **Associations Euratom + EFDA**
- **Structures françaises:**
 - **Représentant français pour ITER** (B. Bigot)
 - **Scientifique et industriel** : **Sciences de la fusion renforcées**
 - **Formation supérieure** : **spécialité de master nationale**
 - **Agence ITER France** : **accueil, débat public, aménagement du site, licensing, démantèlement**
 - **Région** : **transport charges lourdes, école internationale etc.**
 - **Laboratoires:** CEA, CNRS, Universités, INRIA



Préparations du site



Plus tard... **3000 pers (construction)**
1000 pers (exploitation)



Itinéraire charges exceptionnelles



Elargir les passages
 Ici Mirabeau

Fos-sur-Mer
 Martigues
Achèvement fin 2009

Consolidation de certains ponts
 Ici Jouques

J. Jacquinet, foire Marseille sept 2010



Formation



Ecole internationale (Manosque): 9 (11) langues, 900 élèves
Master Sciences de la fusion: 10 univ + 5 écoles d'ingénieurs dont ECM
Fédération de recherches: CEA, CNRS, Universités, INRIA

J Jacqu not , foire Marseille sept 2010
21



En résumé



L'énergie: le défi du siècle
La fusion: une solution d'avenir
ITER: organisations en place, en construction
Un programme de 30 ans, retombées en Provence!

J Jacqu not , foire Marseille sept 2010
22