

DE LA RECHERCHE À L'INDUSTRIE

cea

DE LA RECHERCHE A L'INDUSTRIE

Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives



Centre d'études scientifiques et techniques d'Aquitaine

Un outil formidable : le LMJ

Conférence CPPM

Jean LAJZEROWICZ – Responsable de la Communication

26 septembre 2015



1. Introduction
2. Le LMJ et la dissuasion nucléaire
3. Le LMJ en Aquitaine
4. Principes de base du LMJ
5. L'expérience fusion qui dimensionne le LMJ
6. Bâtiment et construction
7. Description du fonctionnement, animations, illustrations
8. Le Laser PETAL
9. Politique industrielle
10. Déroulement du programme
11. L'ouverture des grands lasers
12. La filière optique et laser en Aquitaine
13. Conclusion
14. La première expérience

- 1. Introduction**
2. Le LMJ et la dissuasion nucléaire
3. Le LMJ en Aquitaine
4. Principes de base du LMJ
5. L'expérience fusion qui dimensionne le LMJ
6. Bâtiment et construction
7. Description du fonctionnement, animations, illustrations
8. Le Laser PETAL
9. Politique industrielle
10. Déroulement du programme
11. L'ouverture des grands lasers
12. La filière optique et laser en Aquitaine
13. Conclusion
14. La première expérience

Le LMJ est un très grand instrument de recherche pour porter une petite quantité de matière dans des conditions extrêmes de température et de pression



Etudes et compréhension des **plasmas chauds et denses**

- Que l'on retrouve au cours du fonctionnement des bombes thermonucléaires
- Que l'on retrouve aux cœur des étoiles

Le LMJ : un élément clé de la conception des armes nucléaires de la force de dissuasion française

Le LMJ : un instrument au service de l'astrophysique et de la recherche fondamentale

Le LMJ : une étape vers une énergie nouvelle, la fusion par confinement inertiel

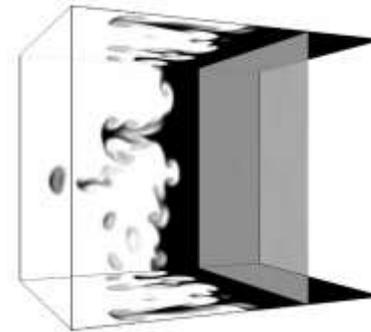
1. Introduction
- 2. Le LMJ et la dissuasion nucléaire**
3. Le LMJ en Aquitaine
4. Principes de base du LMJ
5. L'expérience fusion qui dimensionne le LMJ
6. Bâtiment et construction
7. Description du fonctionnement, animations, illustrations
8. Le Laser PETAL
9. Politique industrielle
10. Déroulement du programme
11. L'ouverture des grands lasers
12. La filière optique et laser en Aquitaine
13. Conclusion
14. La première expérience



Le programme « Simulation » pour la garantie des performances des Armes



- Disposer d'un standard de calcul constitué d'une chaîne de logiciels reproduisant les différentes phases de fonctionnement d'une arme nucléaire
- Déploiement de puissants moyens de calcul
- Expériences dédiées à la caractérisation du comportement des matériaux dans les conditions extrêmes et à la validation des modèles physiques
- Contribuer à maintenir l'expertise des ingénieurs



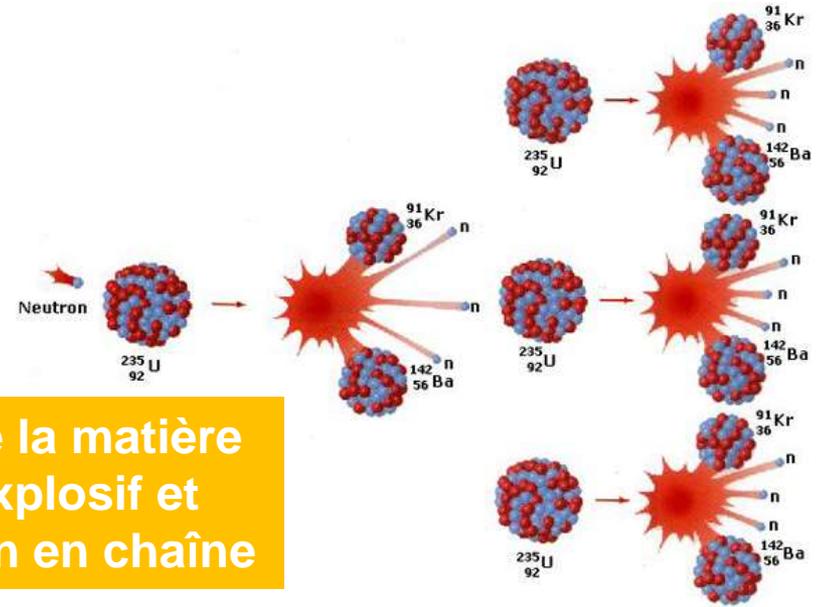
Bombe thermonucléaire et programme de simulation

**Bombe
thermonucléaire**

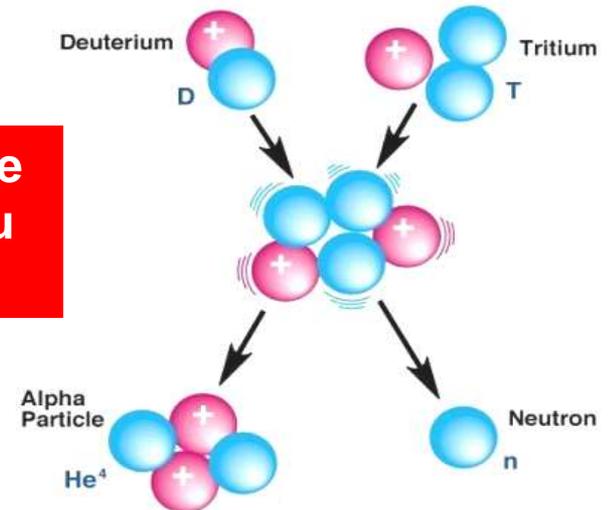
fission

fusion

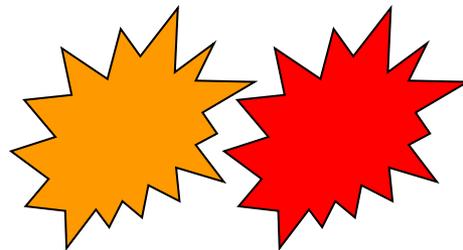
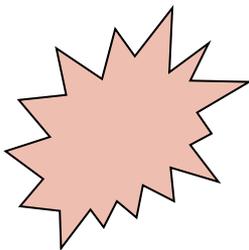
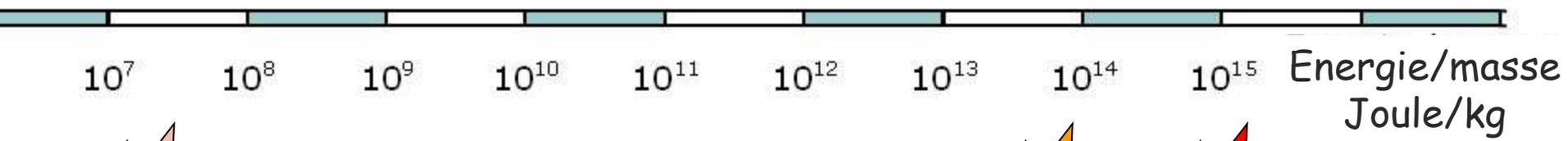
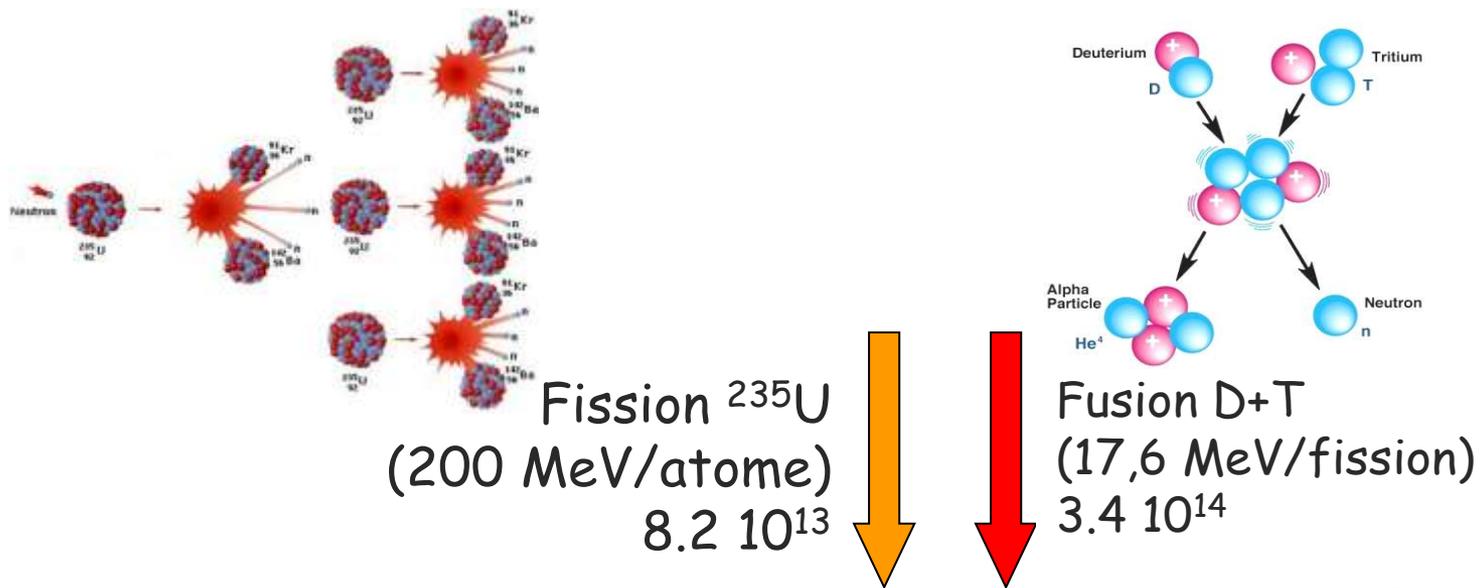
Concentration de la matière fissile par un explosif et réaction de fission en chaîne



« Chauffage » de la matière fusible jusqu'à la fusion du mélange



Energie chimique et énergie nucléaire



74 tonnes



4 g



1 g

Bombe thermonucléaire et programme de simulation

Physique
des armes

Simulation
numérique

Validation
expérimentale

**Bombe
thermonucléaire**

Mise au point
des modèles
prédictifs

Augmentation
des capacités
de calcul

Validations des
modèles par des
expériences

fission

Hydrodynamique
en phase froide
(non nucléaire)

AIRIX/EPURE
Radiographie
instantanée
haute énergie

fusion

Plasma haute
température,
fusion nucléaire

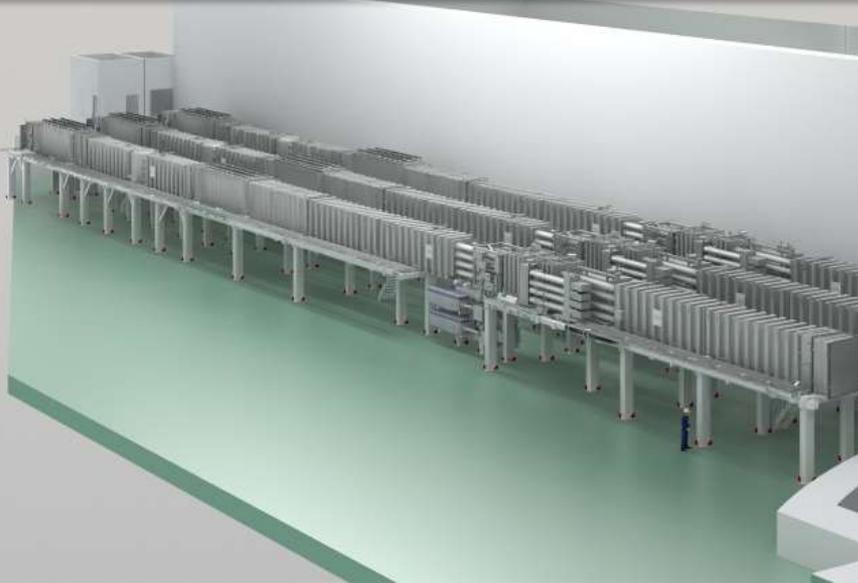
LIL/LMJ
Expériences
élémentaires
plasma et fusion

1. Introduction
2. Le LMJ et la dissuasion nucléaire
- 3. Le LMJ en Aquitaine**
4. Principes de base du LMJ
5. L'expérience fusion qui dimensionne le LMJ
6. Bâtiment et construction
7. Description du fonctionnement, animations, illustrations
8. Le Laser PETAL
9. Politique industrielle
10. Déroulement du programme
11. L'ouverture des grands lasers
12. La filière optique et laser en Aquitaine
13. Conclusion
14. La première expérience

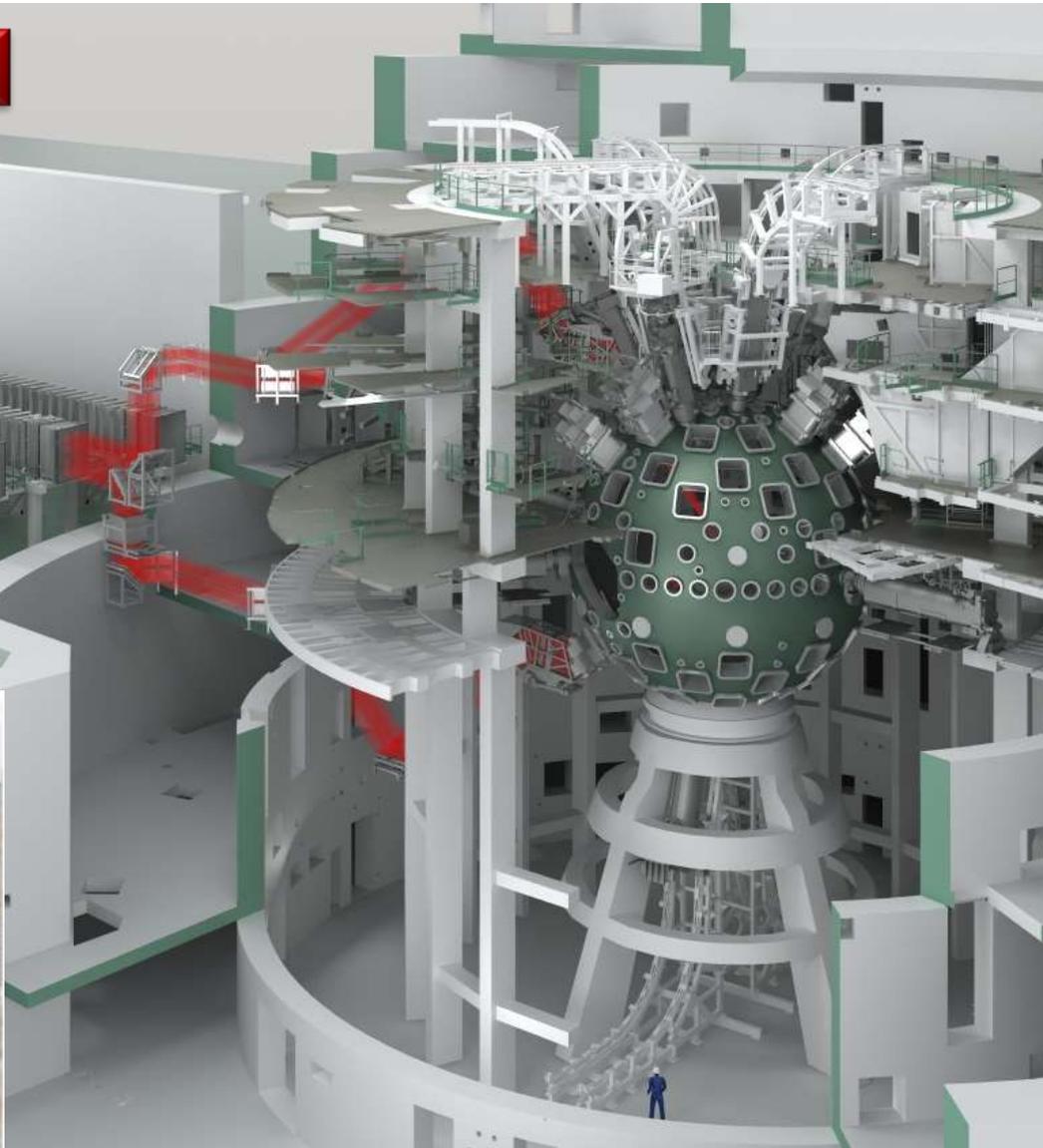
Le Cesta: un établissement CEA dans un environnement centré sur la dissuasion nucléaire



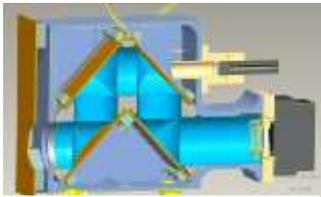
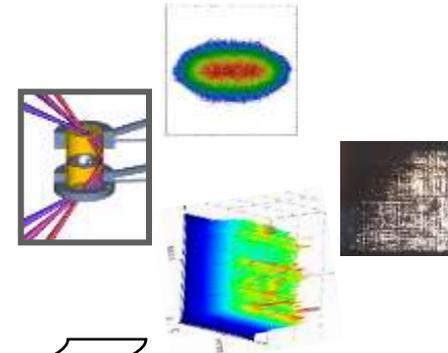
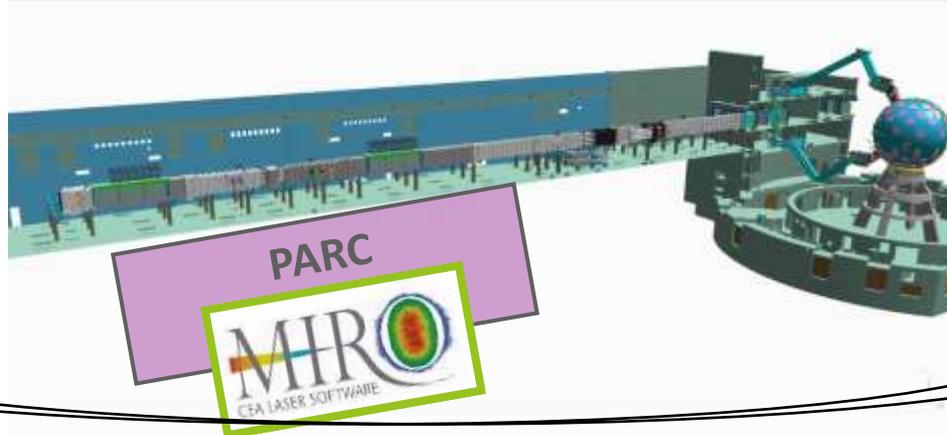
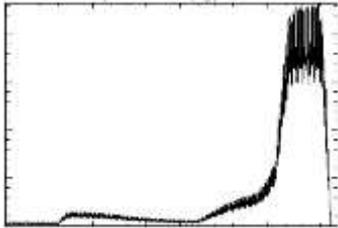
Conception des lasers de puissance



Exploitation et conduite des expériences



Conception des chaines laser



Conception optomécanique



Conception électronique



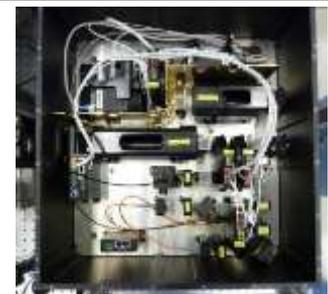
Procédés optiques



Métrie optique



Diagnostics laser



Conception du contrôle commande et conduite des expériences



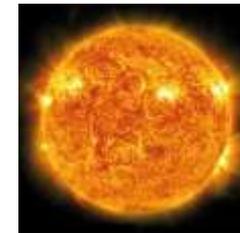
1. Introduction
2. Le LMJ et la dissuasion nucléaire
3. Le LMJ en Aquitaine
- 4. Principes de base du LMJ**
5. L'expérience fusion qui dimensionne le LMJ
6. Bâtiment et construction
7. Description du fonctionnement, animations, illustrations
8. Le Laser PETAL
9. Politique industrielle
10. Déroulement du programme
11. L'ouverture des grands lasers
12. La filière optique et laser en Aquitaine
13. Conclusion
14. La première expérience

Le LMJ : principes de base

- Reproduire sur une petite quantité de matière les conditions extrêmes rencontrées lors de la phase de fonctionnement nucléaire des armes ou dans les étoiles...
- Validation des modèles utilisés

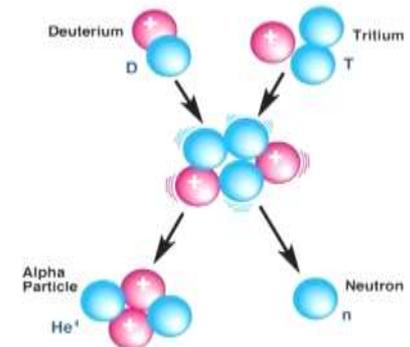
LMJ: le besoin de base

1. Une cible millimétrique
2. Couplage avec de l'énergie répartie spatialement et délivrée dans un temps très court
3. Etude du plasma chaud et dense résultant de l'interaction et mesure des rayonnements



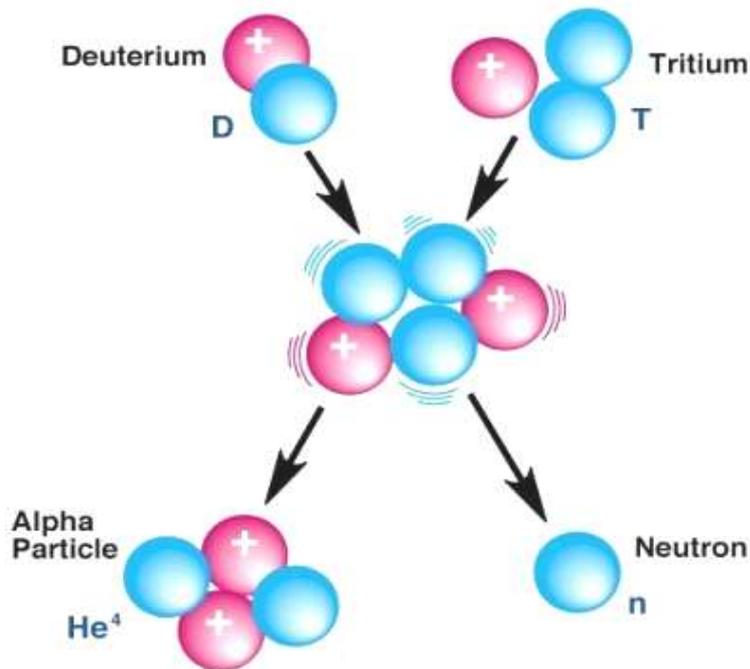
Le LMJ c'est une grande variété d'expériences jusqu'alors inaccessibles

- Des températures et des pressions extrêmes,
- ... pouvant conduire jusqu'à la fusion thermonucléaire.



1. Introduction
2. Le LMJ et la dissuasion nucléaire
3. Le LMJ en Aquitaine
4. Principes de base du LMJ
- 5. L'expérience fusion qui dimensionne le LMJ**
6. Bâtiment et construction
7. Description du fonctionnement, animations, illustrations
8. Le Laser PETAL
9. Politique industrielle
10. Déroulement du programme
11. L'ouverture des grands lasers
12. La filière optique et laser en Aquitaine
13. Conclusion
14. La première expérience

Présentation de la réaction de fusion nucléaire qui dimensionne le LMJ:



Energie nécessaire pour rapprocher les molécules D/T supérieure à **10 000 eV**



100 millions de degrés

Energies cinétiques He⁴ et n de l'ordre de **18 000 000 eV** (80 % pour le neutron)

Critère de combustion nucléaire

Combustion nucléaire
d'un mélange D/T



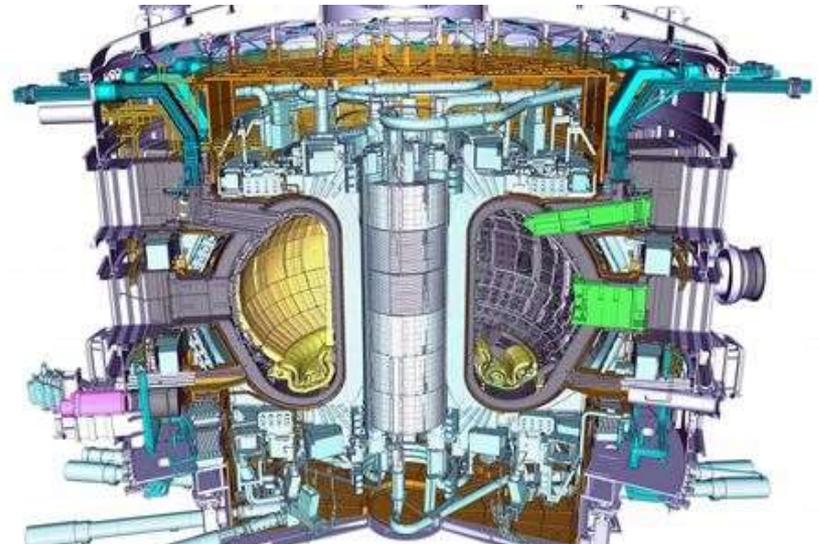
- 100 millions de degrés
- Une certaine densité (pression)
pendant un certain temps

Le critère sur la densité et le temps est le suivant:

« Le produit (densité x durée) doit être supérieur à 10^{14} s/cm³ »

⇒ Le LMJ va concentrer la matière
à 10^{25} atomes/cm³ pendant 0,01 ns

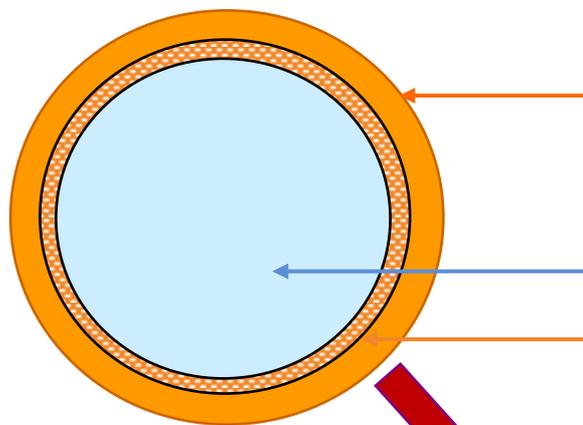
⇒ ITER va chauffer un gaz à 10^{13}
atomes/cm³ pendant 10 s



Cible fusion et laser

Cible :

2,4 mm



Ablateur

$T = 18 \text{ K } (-255 \text{ °C})$

Combustible DT :

- Gaz : 0,001 mg
- Solide (cryogénique) : 0,308 mg

176 faisceaux

Énergie par faisceau : 7500 J dans l'UV

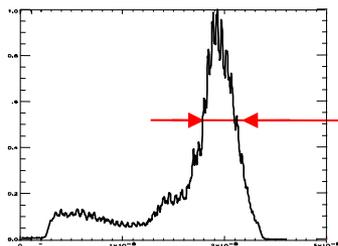
Énergie totale : environ 1,4 MJ (1,4 millions de J)

Précision de pointage : 50 μm (1 vingtième de mm)

Synchronisation : 40 ps (40 millièmes de milliardième de s)

Durée d'impulsion : 3 milliardièmes de s

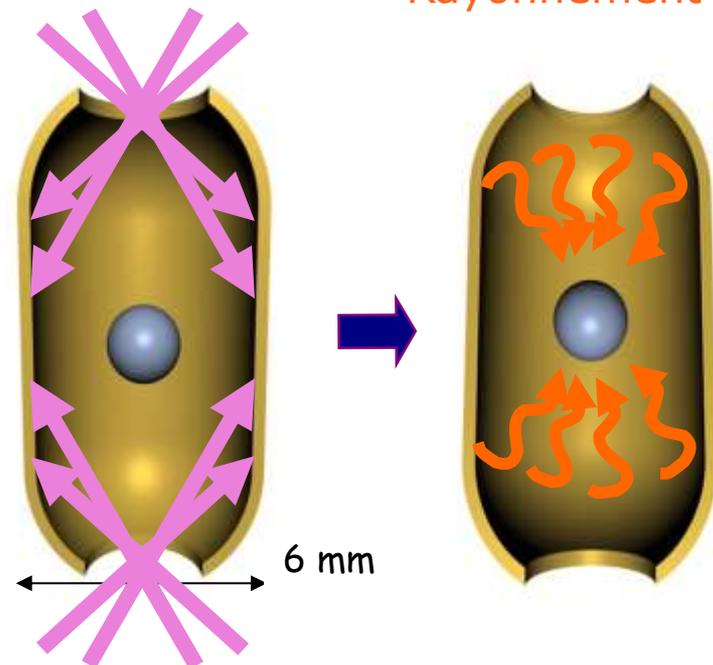
Rayonnement X



3 ns = 1 m

10 mm

6 mm

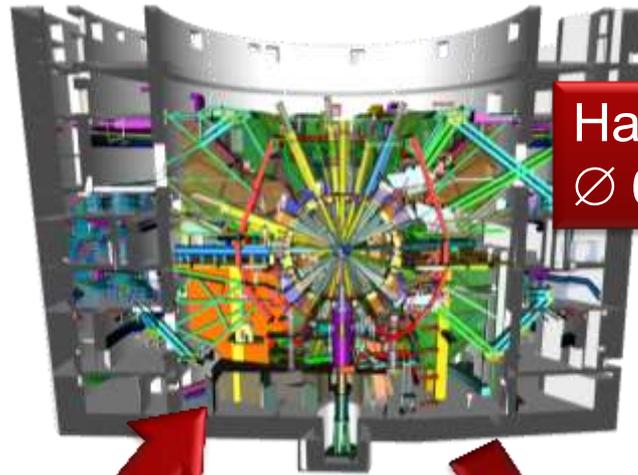


1. Introduction
2. Le LMJ et la dissuasion nucléaire
3. Le LMJ en Aquitaine
4. Principes de base du LMJ
5. L'expérience fusion qui dimensionne le LMJ
- 6. Bâtiment et construction**
7. Description du fonctionnement, animations, illustrations
8. Le Laser PETAL
9. Politique industrielle
10. Déroulement du programme
11. L'ouverture des grands lasers
12. La filière optique et laser en Aquitaine
13. Conclusion
14. La première expérience

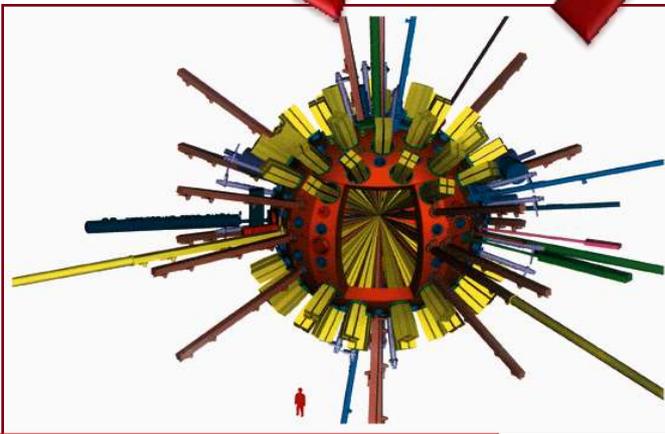
De la cible au bâtiment



Cible
Ø 2 mm



Hall d'expérience
Ø 60 m et hauteur 50 m



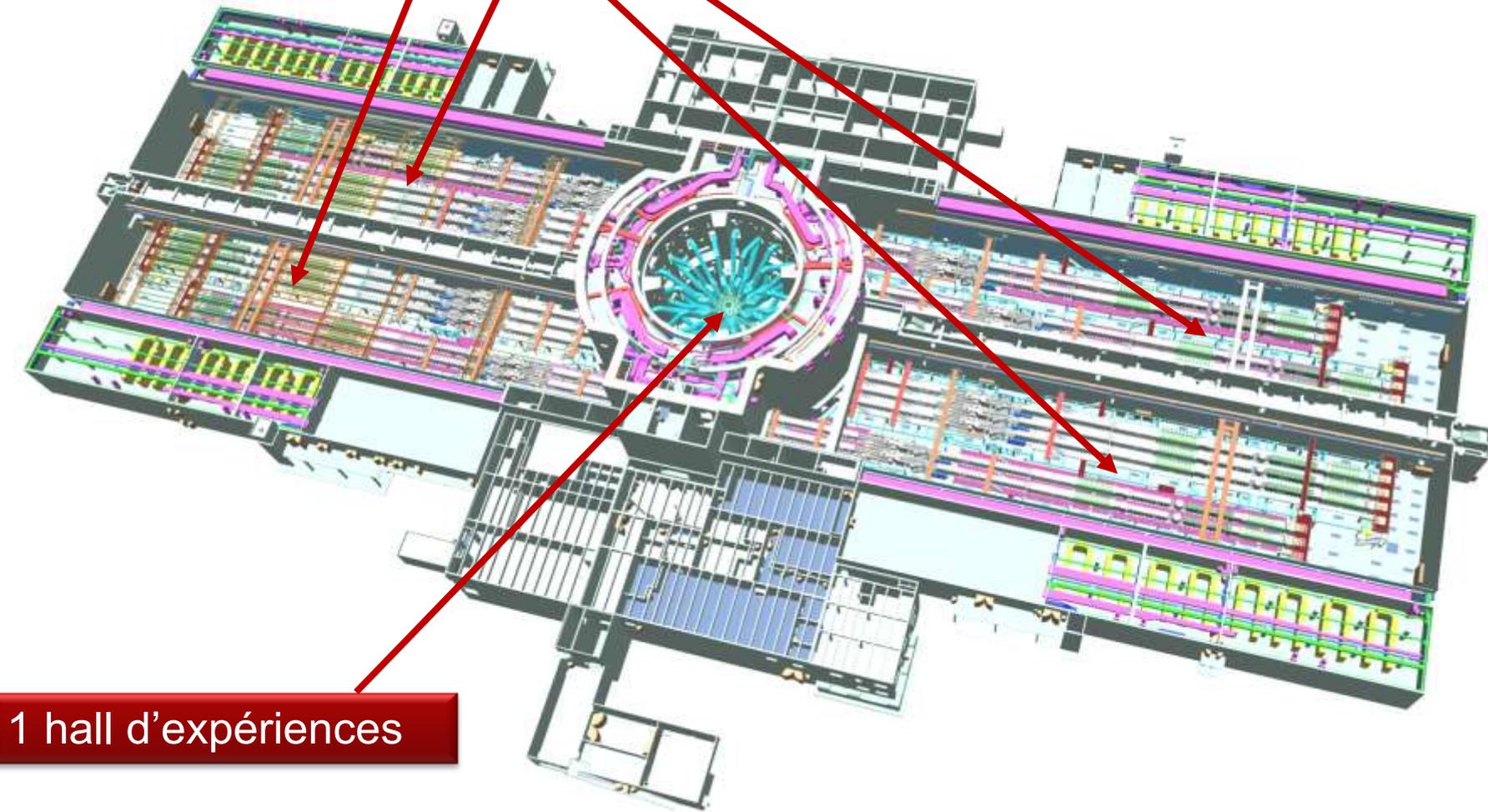
Chambre d'expérience
Ø 10 m

Laser Mégajoule
150 m x 300 m
Hauteur 35 m



Le bâtiment 300 m x 150 m

4 halls laser



1 hall d'expériences

Avant les travaux en 2002



Fin 2002, début du terrassement



Travaux de terrassement premier semestre 2003



2004 : début de l'édification



2005-2006 : Poursuite de l'édification



Le bâtiment LMJ aujourd'hui

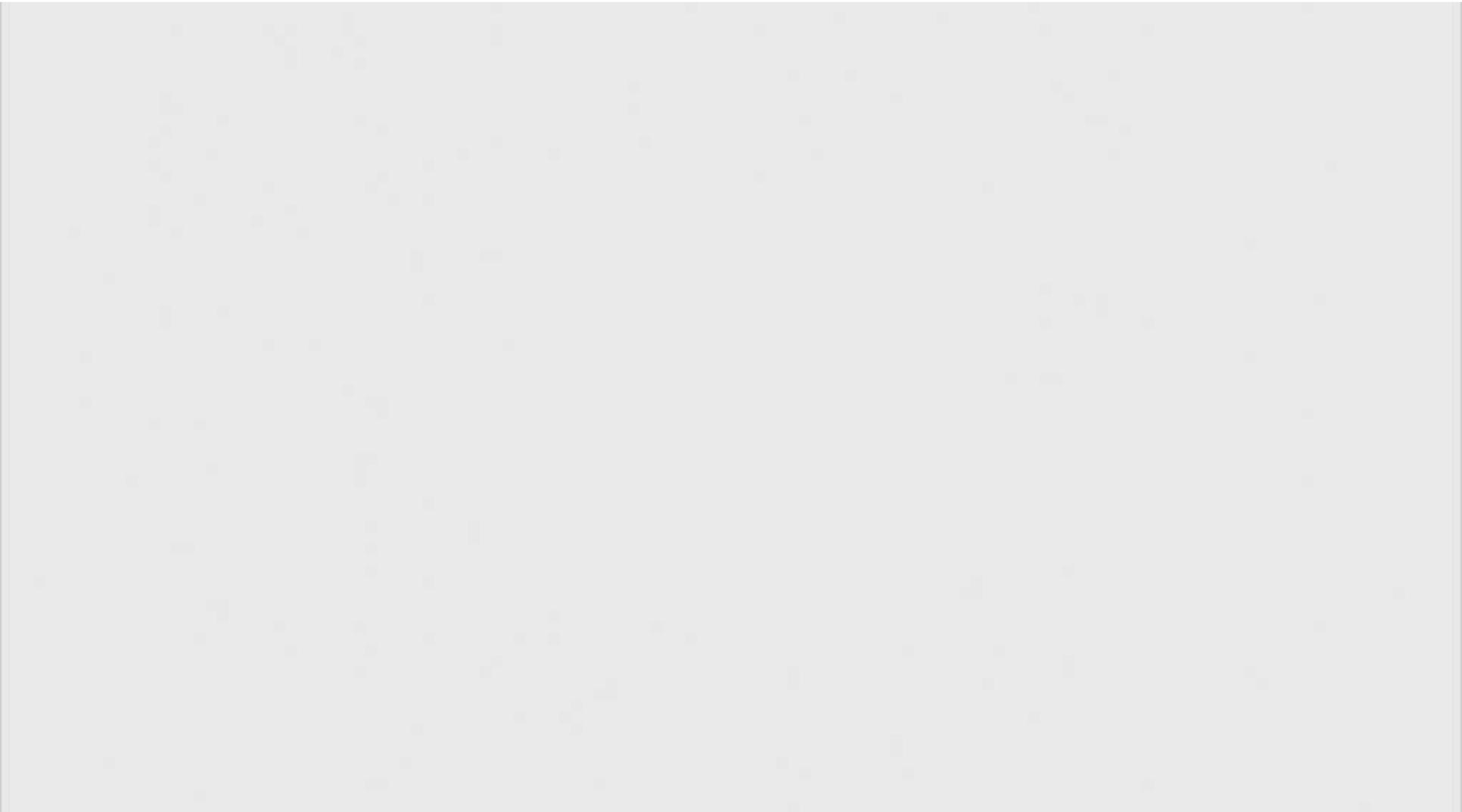


Les bâtiment LIL et LMJ aujourd'hui



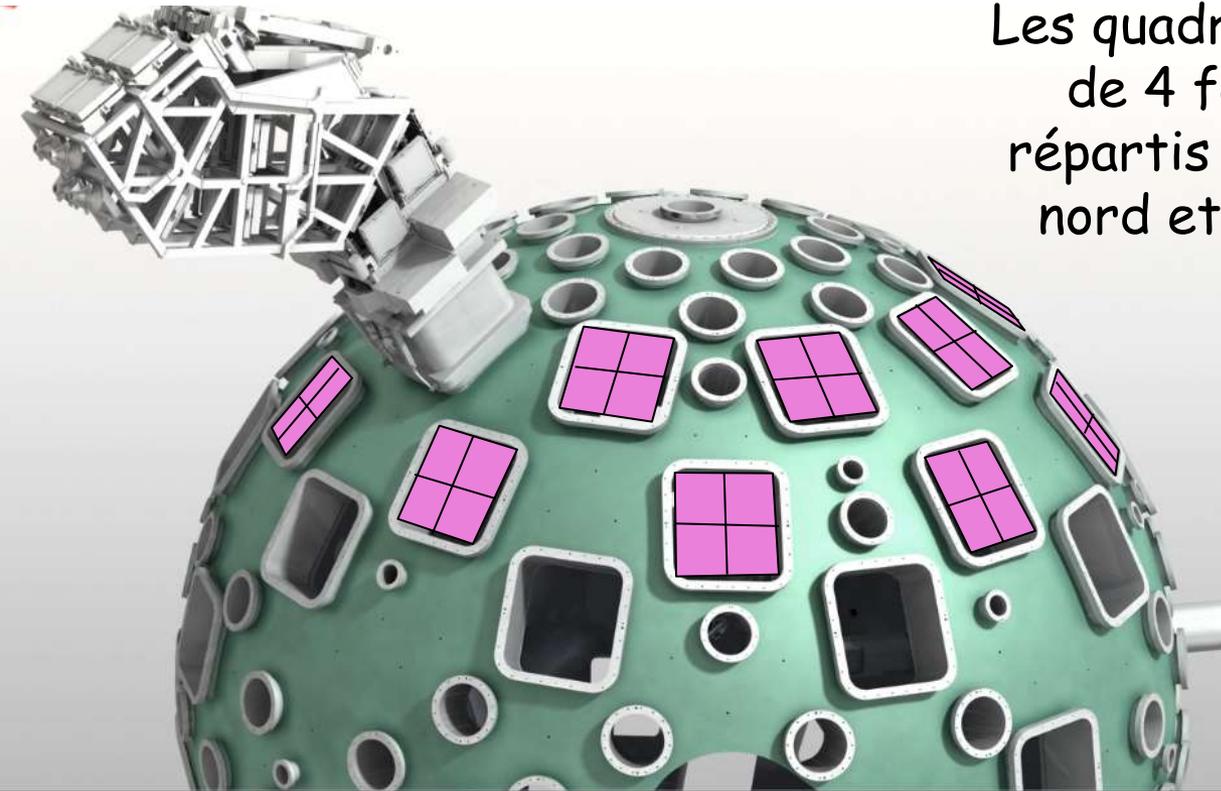
1. Introduction
2. Le LMJ et la dissuasion nucléaire
3. Le LMJ en Aquitaine
4. Principes de base du LMJ
5. L'expérience fusion qui dimensionne le LMJ
6. Bâtiment et construction
- 7. Description du fonctionnement, animations, illustrations**
8. Le Laser PETAL
9. Politique industrielle
10. Déroulement du programme
11. L'ouverture des grands lasers
12. La filière optique et laser en Aquitaine
13. Conclusion
14. La première expérience

Film explicatif du fonctionnement LMJ



Répartition des faisceaux

Les quadruplets, ensemble de 4 faisceaux, sont répartis selon 2 cônes au nord et 2 cônes au sud



La chambre d'expérience



Quelques composants optiques...



Plaques laser en cours d'assemblage

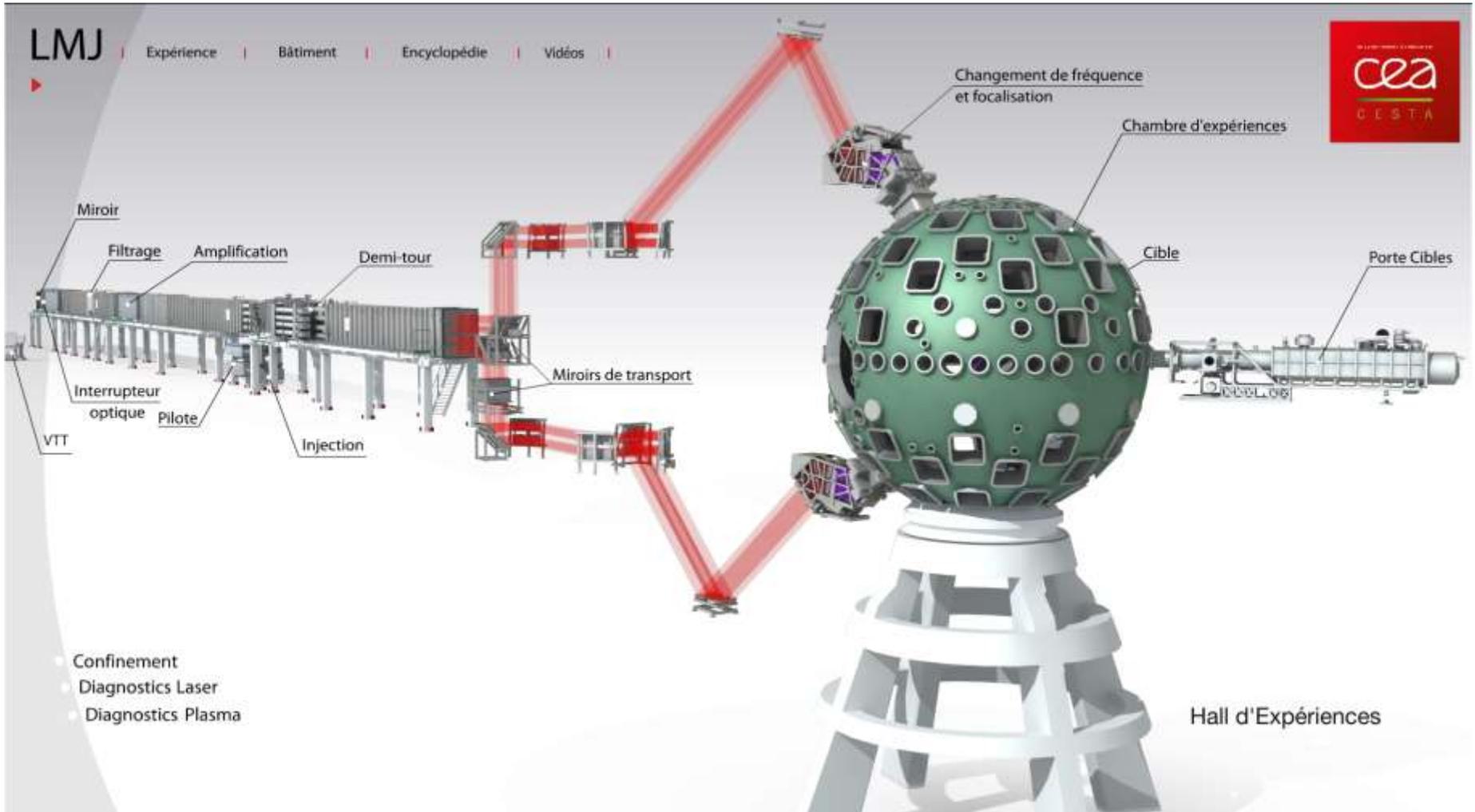


Miroir déformable de fond de cavité



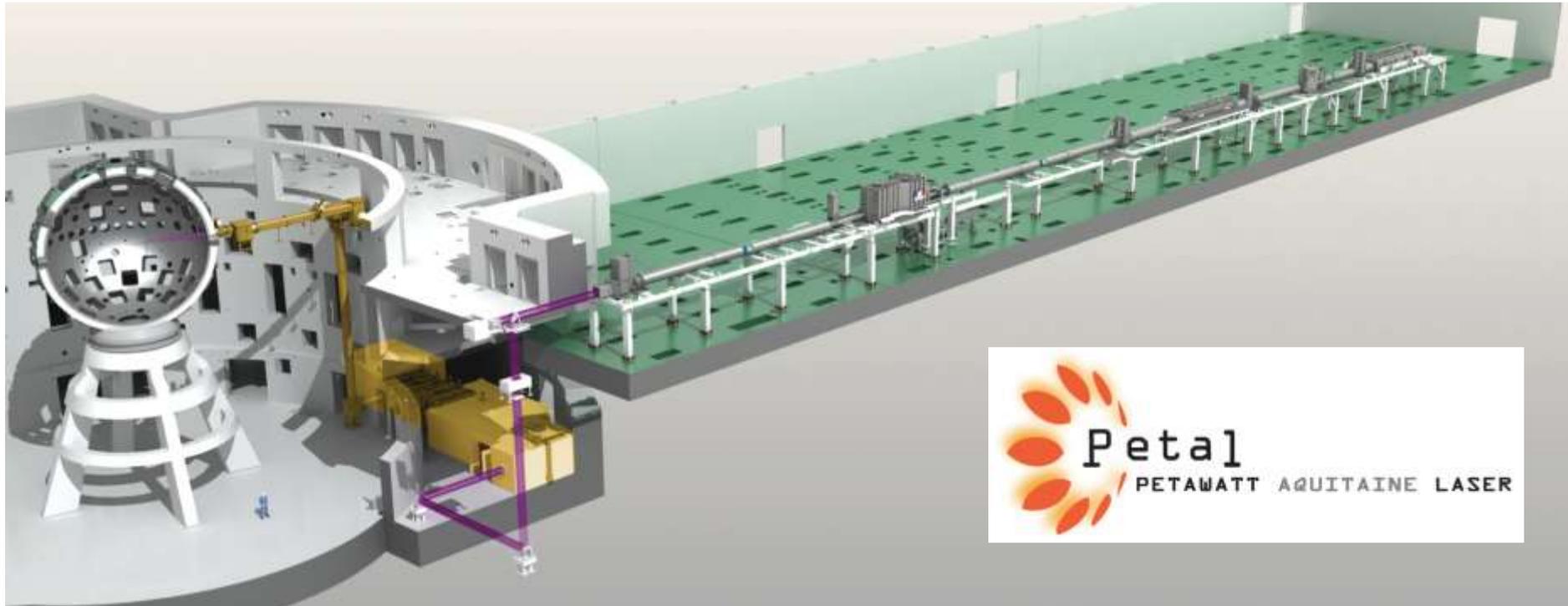
Un bâtis et ses 4 miroirs

Animation LMJ



1. Introduction
2. Le LMJ et la dissuasion nucléaire
3. Le LMJ en Aquitaine
4. Principes de base du LMJ
5. L'expérience fusion qui dimensionne le LMJ
6. Bâtiment et construction
7. Description du fonctionnement, animations, illustrations
- 8. Le Laser PETAL**
9. Politique industrielle
10. Déroulement du programme
11. L'ouverture des grands lasers
12. La filière optique et laser en Aquitaine
13. Conclusion
14. La première expérience

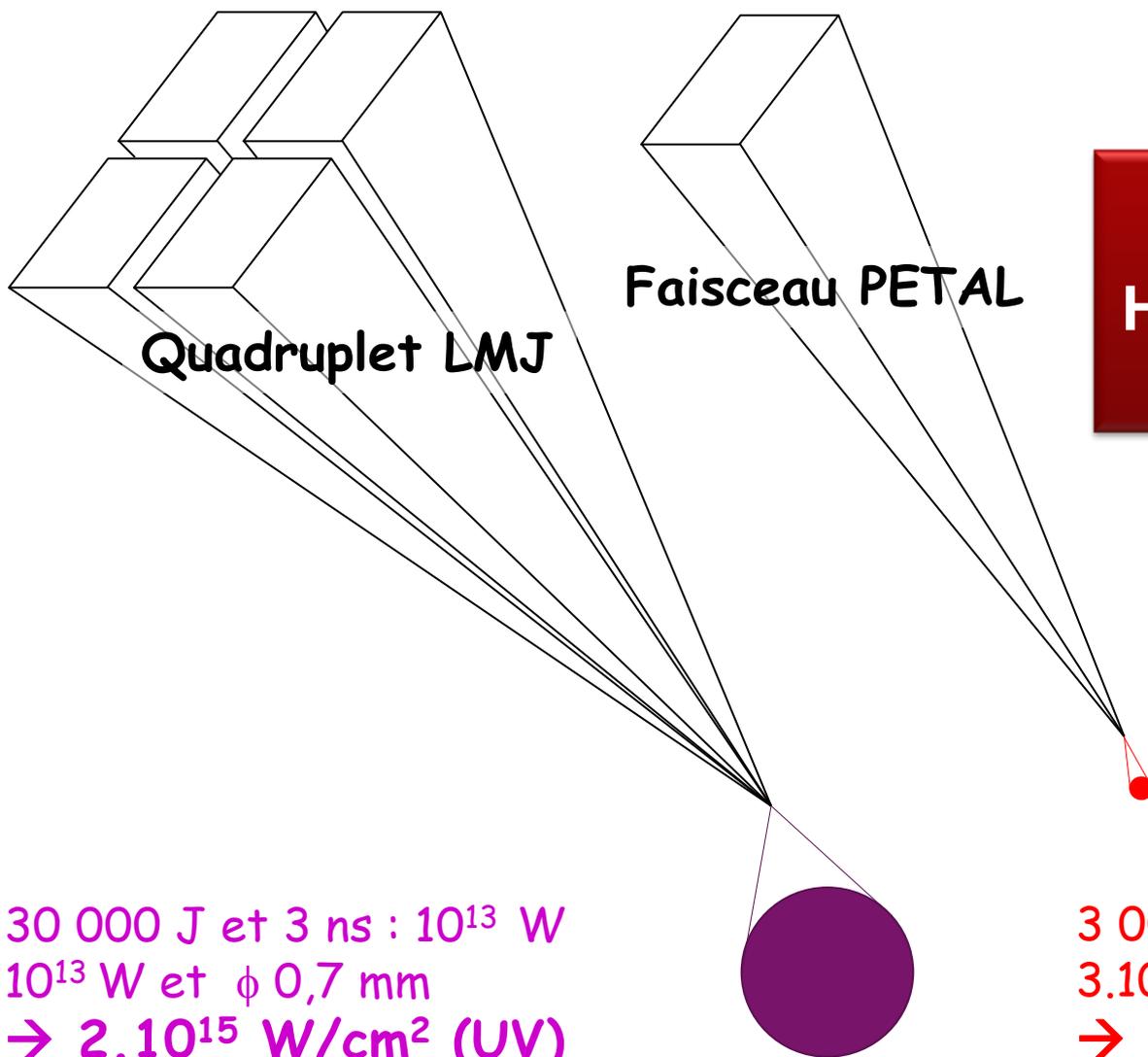
PETAL laser (PETawatt Aquitaine Laser)



Caractéristiques:

Un seul faisceau
> 1 000 J (1 KJ) en IR
< 1 ps (\approx 1000 moins que / LMJ)





PETAL:
Haute énergie et haute intensité



30 000 J et 3 ns : 10^{13} W
 10^{13} W et ϕ 0,7 mm
 $\rightarrow 2 \cdot 10^{15}$ W/cm² (UV)

3 000 J et 1 ps : $3 \cdot 10^{15}$ W
 $3 \cdot 10^{15}$ W et ϕ 0,05 mm
 $\rightarrow \underline{10^{20}}$ W/cm² (IR)

1. Introduction
2. Le LMJ et la dissuasion nucléaire
3. Le LMJ en Aquitaine
4. Principes de base du LMJ
5. L'expérience fusion qui dimensionne le LMJ
6. Bâtiment et construction
7. Description du fonctionnement, animations, illustrations
8. Le Laser PETAL
- 9. Politique industrielle**
10. Déroulement du programme
11. L'ouverture des grands lasers
12. La filière optique et laser en Aquitaine
13. Conclusion
14. La première expérience

1. Introduction
2. Le LMJ et la dissuasion nucléaire
3. Le LMJ en Aquitaine
4. Principes de base du LMJ
5. L'expérience fusion qui dimensionne le LMJ
6. Bâtiment et construction
7. Description du fonctionnement, animations, illustrations
8. Le Laser PETAL
- 9. Politique industrielle**
10. Déroulement du programme
11. L'ouverture des grands lasers
12. La filière optique et laser en Aquitaine
13. Conclusion
14. La première expérience

Partenaires industriels

Composants optiques

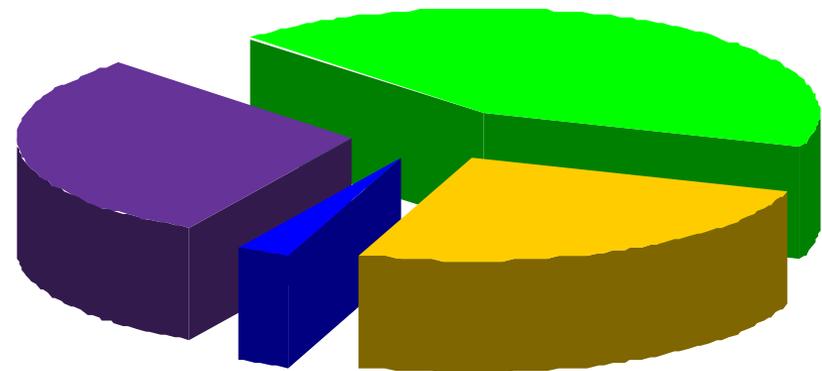
Commande contrôle

Bâtiment & servitudes



TPE
30%

PME
42%



Etablissements
Publics
3%

Grandes
Entreprises
25%



Conversion de
et de focalisation



Chambre
d'expériences



Cellules de
Pockells



**95% de la réalisation assurée
par des entreprises françaises**

Equipements de chambre



Modules de préamplification

**20 ensembles
250 industriels
1 000 entreprises
participant au projet**

Miroirs déformables



Alignement



Section



1. Introduction
2. Le LMJ et la dissuasion nucléaire
3. Le LMJ en Aquitaine
4. Principes de base du LMJ
5. L'expérience fusion qui dimensionne le LMJ
6. Bâtiment et construction
7. Description du fonctionnement, animations, illustrations
8. Le Laser PETAL
9. Politique industrielle
- 10. Déroulement du programme**
11. L'ouverture des grands lasers
12. La filière optique et laser en Aquitaine
13. Conclusion
14. La première expérience

Le programme LMJ

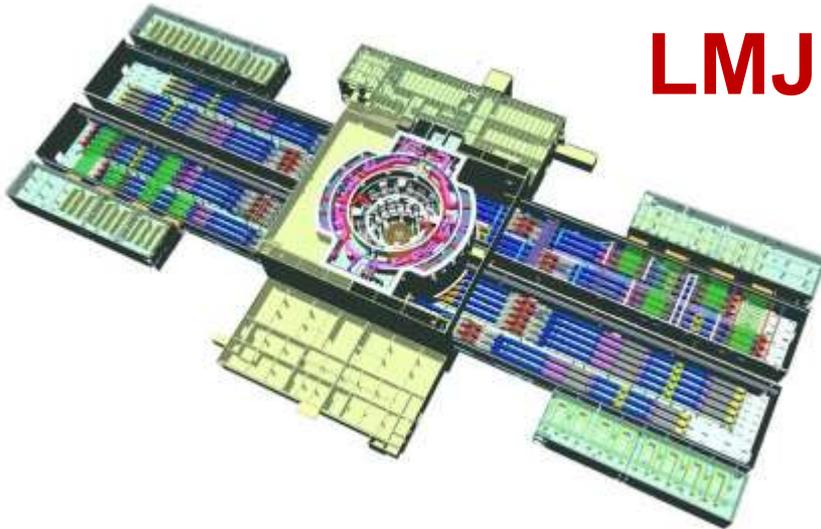


Décision implantation Cesta	1995
Mise en service prototype LIL (4 faisceaux)	2002
Premières expériences LIL	2003
Début de la construction LMJ	2003
Premières expériences LIL ouvertes	2005
Réception du bâtiment LMJ	2008
Dernière expérience de la LIL	début 2014
Première expérience LMJ	octobre 2014
Montée en puissance LMJ	2015...
PETAL à 1 PW	mai 2015
Première expérience ouverte LMJ/PETAL	fin 2016

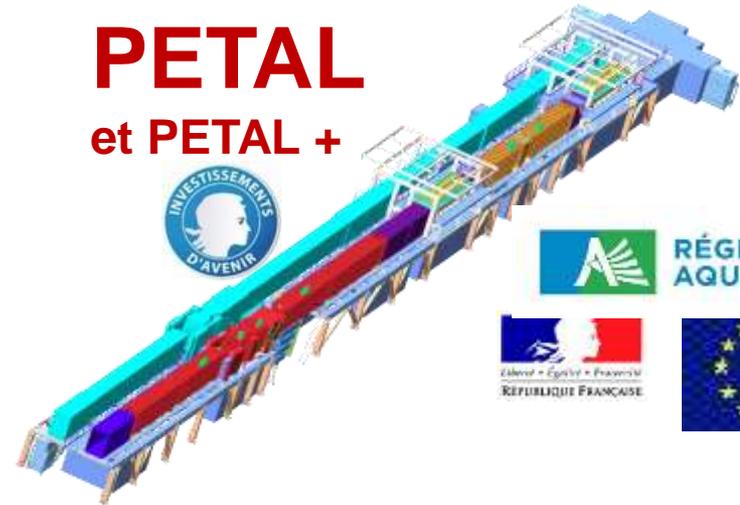
1. Introduction
2. Le LMJ et la dissuasion nucléaire
3. Le LMJ en Aquitaine
4. Principes de base du LMJ
5. L'expérience fusion qui dimensionne le LMJ
6. Bâtiment et construction
7. Description du fonctionnement, animations, illustrations
8. Le Laser PETAL
9. Politique industrielle
10. Déroulement du programme
- 11. L'ouverture des grands lasers**
12. La filière optique et laser en Aquitaine
13. Conclusion
14. La première expérience

LMJ + PETAL

Très grand instrument de recherche



LMJ



PETAL

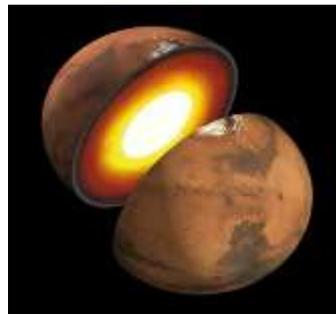
et PETAL +



L'Europe disposera d'une des deux installations laser les plus puissantes au monde permettant de maîtriser la physique de l'extrême, soit des hautes températures et hautes densités d'énergie et notamment la fusion pour l'énergie



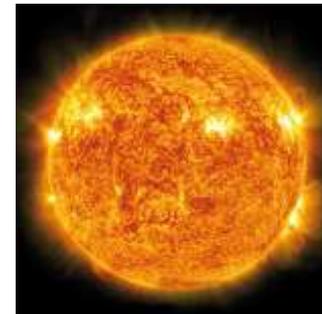
Astrophysique



Planétologie



Santé



Energie



Matériaux

1. Introduction
2. Le LMJ et la dissuasion nucléaire
3. Le LMJ en Aquitaine
4. Principes de base du LMJ
5. L'expérience fusion qui dimensionne le LMJ
6. Bâtiment et construction
7. Description du fonctionnement, animations, illustrations
8. Le Laser PETAL
9. Politique industrielle
10. Déroulement du programme
11. L'ouverture des grands lasers
- 12. La filière optique et laser en Aquitaine**
13. Conclusion
14. La première expérience

Développement industriel de la filière optique et laser

ALPhA

Route des Lasers

CIADT
2002 - 2003

Financement



Formation

INSTITUT
d'OPTIQUE
GRADUATE SCHOOL

université
de BORDEAUX

PYLA

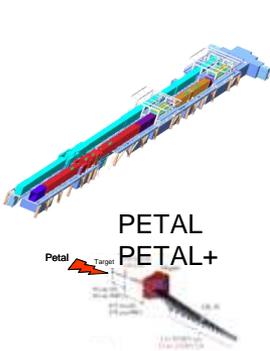


1500 emplois directs créés

Parcs d'activités

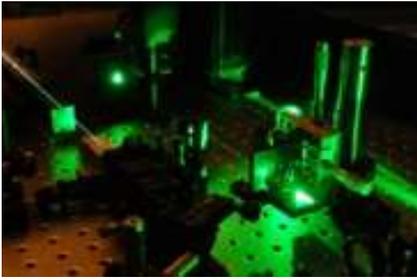
Recherche

Centre technologique



cnrs

université
de BORDEAUX



INSTITUT
LASERS ET PLASMAS

ALPhA NOV
Centre Technologique Optique et Lasers

SEML
ROUTE DES LASERS



Unicité de lieu :
Institut d'Optique d'Aquitaine



1. Introduction
2. Le LMJ et la dissuasion nucléaire
3. Le LMJ en Aquitaine
4. Principes de base du LMJ
5. L'expérience fusion qui dimensionne le LMJ
6. Bâtiment et construction
7. Description du fonctionnement, animations, illustrations
8. Le Laser PETAL
9. Politique industrielle
10. Déroulement du programme
11. L'ouverture des grands lasers
12. La filière optique et laser en Aquitaine
- 13. Conclusion**
14. La première expérience

Conclusion

Le LMJ (+ PETAL) est un très grand instrument de recherche pour porter une petite quantité de matière dans des conditions extrêmes de température et de pression

- Pour la dissuasion
- Pour la recherche
- Pour l'énergie de demain (plutôt après-demain !)

- Plus gros chantier franco-français de ces 30 dernières années

- Booster pour l'économie locale bordelaise et aquitaine
- Booster pour l'industrie française
- Le phare d'un nouveau pôle de compétitivité

Un investissement que peut se permettre un pays riche pour les générations futures

1. Introduction
2. Le LMJ et la dissuasion nucléaire
3. Le LMJ en Aquitaine
4. Principes de base du LMJ
5. L'expérience fusion qui dimensionne le LMJ
6. Bâtiment et construction
7. Description du fonctionnement, animations, illustrations
8. Le Laser PETAL
9. Politique industrielle
10. Déroulement du programme
11. L'ouverture des grands lasers
12. La filière optique et laser en Aquitaine
13. Conclusion
- 14. La première expérience**



**17 octobre,
notre vrai
jalon**



Merci de votre attention