



CONCOURS 2009

Astronomie en Picardie pour Collégiens et Lycéens



© esa



1^{er} prix : télescope
2^e et 3^e prix : lunette
et beaucoup d'autres lots

Questions sur l'astronomie *pour tous*

Renseignements et inscriptions :

<http://www.ama2009-physique.u-picardie.fr>





πλάσμα

*Voyage au Centre du Plasma :
le 4ème état de la Matière*

en Hommage à Irving Langmuir

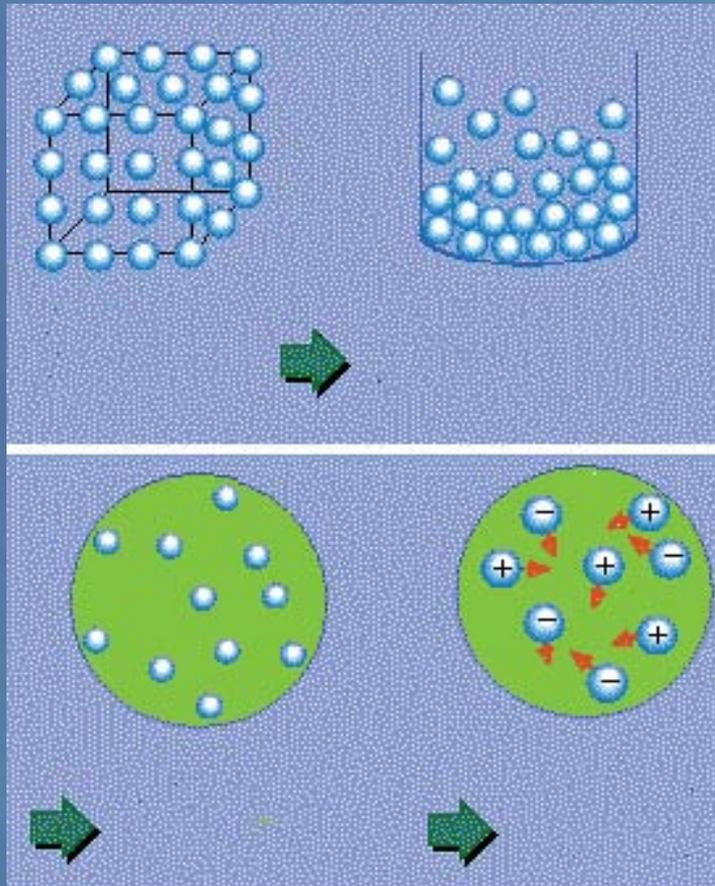
*Pierre Barroy
pierre.barroy@physics.org*

L'état Plasma

- 4 principaux états stables de la matière:
Solide > Liquide > Gaz > Plasma
- Pour passer d'un état à un autre, il faut une augmentation de la densité d'énergie par unité de volume.
- Cette augmentation d'énergie peut être apportée sous toute forme : mécanique (chocs), chimique, électrique, réaction nucléaire, ou autre ...

Etats de la matière & Etat Plasma

> Solide (glace)



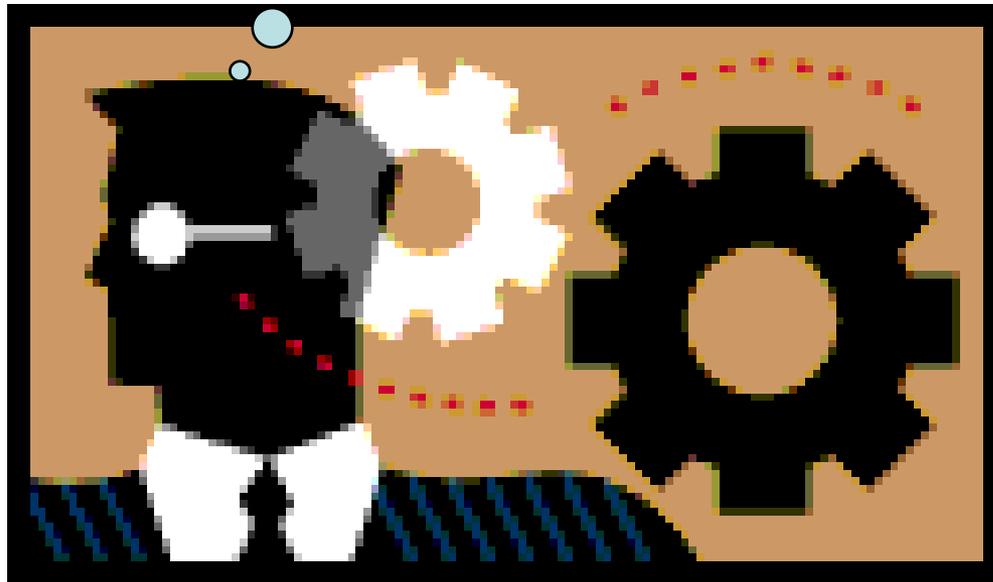
> Liquide (eau)

> Gaz (vapeur)

> Plasma
(ions & électro)

- *Plasma = milieu quasi-neutre électriquement MAIS dans lequel les particules chargées électriques ont des comportements quasi - indépendants*

Mais est-ce que la matière est souvent dans cet état Plasma ???



PLASMA \approx 99% de l'Univers !!!

Plasmas « naturels »

- Toutes étoiles, nébuleuses, quasars, pulsars, ...
- Vent solaire
- Ionosphère
- Aurores boréales
- Eclairs

+ les plasmas « industriels »

- « Décharges électriques » (disjoncteurs, lampes ...)
- Plasmas de traitement de surfaces, pour le dépôt, la gravure, le dopage- de couches minces (ordinateurs, carrosseries ...)
- Ecrans à Plasma
- Propulsion par plasmas
- Fusion nucléaire (Tokamak, inertiel, Z-Pinch ...)
- Stérilisations (lampes UV, ioniseurs ...)
- + nombreuses autres applications encore en laboratoires ou prototypes (amélioration de la combustion, traitement de déchets, 'bistouris' ...)

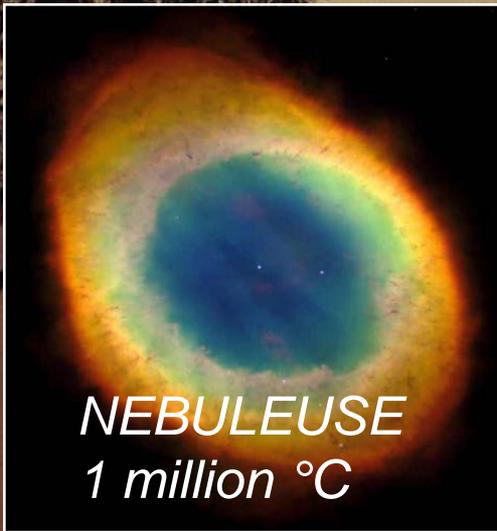


Quels intérêts des plasmas pour nos activités humaines ???

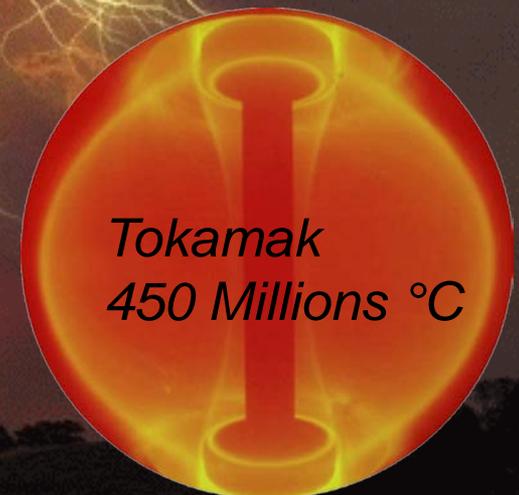
- Réservoir de photons (sources de lumière) [Soleil, Lampes à économie d'énergie, lasers, stérilisation UV ... !!!]
- Milieu électromagnétique particulier [propagation des ondes RADIO à longue distance par l'ionosphère... !!!]
- Réservoir d'énergie cinétique (création & accélération d'espèces chargées (électrons, ions)) [analyses ou modifications des matériaux, accélérateurs, propulseurs satellites... !!!]
- Réservoir de réactivité chimique (radicaux réactifs fournis par les collisions de molécules avec des électrons chauds) [création de nouveaux matériaux peu accessibles autrement, diamant, ... !!!]
- Réservoir d'énergie thermique [source énergétique renouvelable, fusion thermonucléaire contrôlée... ?]

Et beaucoup d'autres intérêts !!!

Plasmas

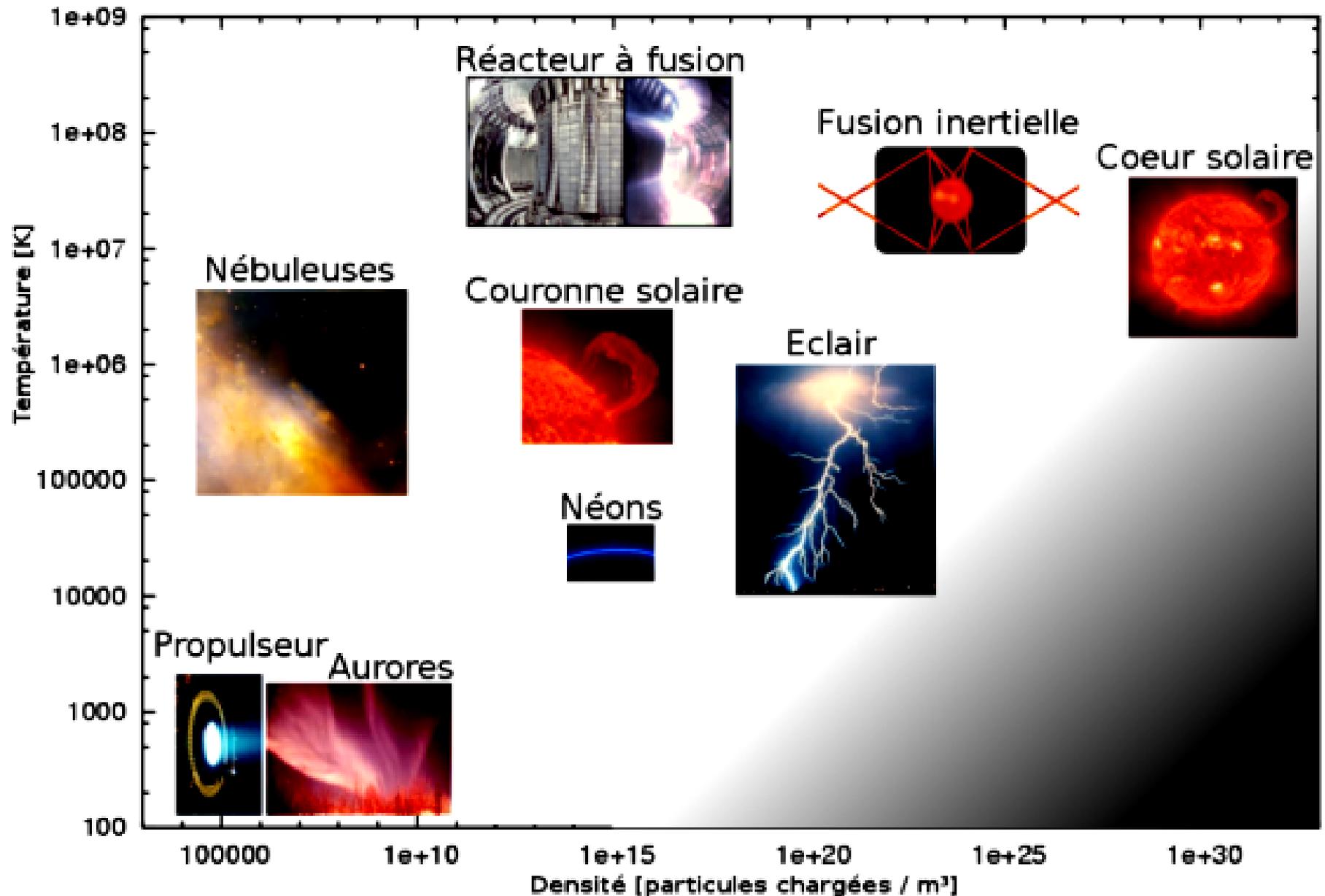


ECLAIR 30.000 °C



SOLEIL
15 millions / 5.800 °C

Caractérisation des différents plasmas



 Zone solide, liquide, gazeuse pour laquelle aucun plasma classique n'existe.

PLASMA \approx 99% de l'Univers !!!

Plasmas « naturels »

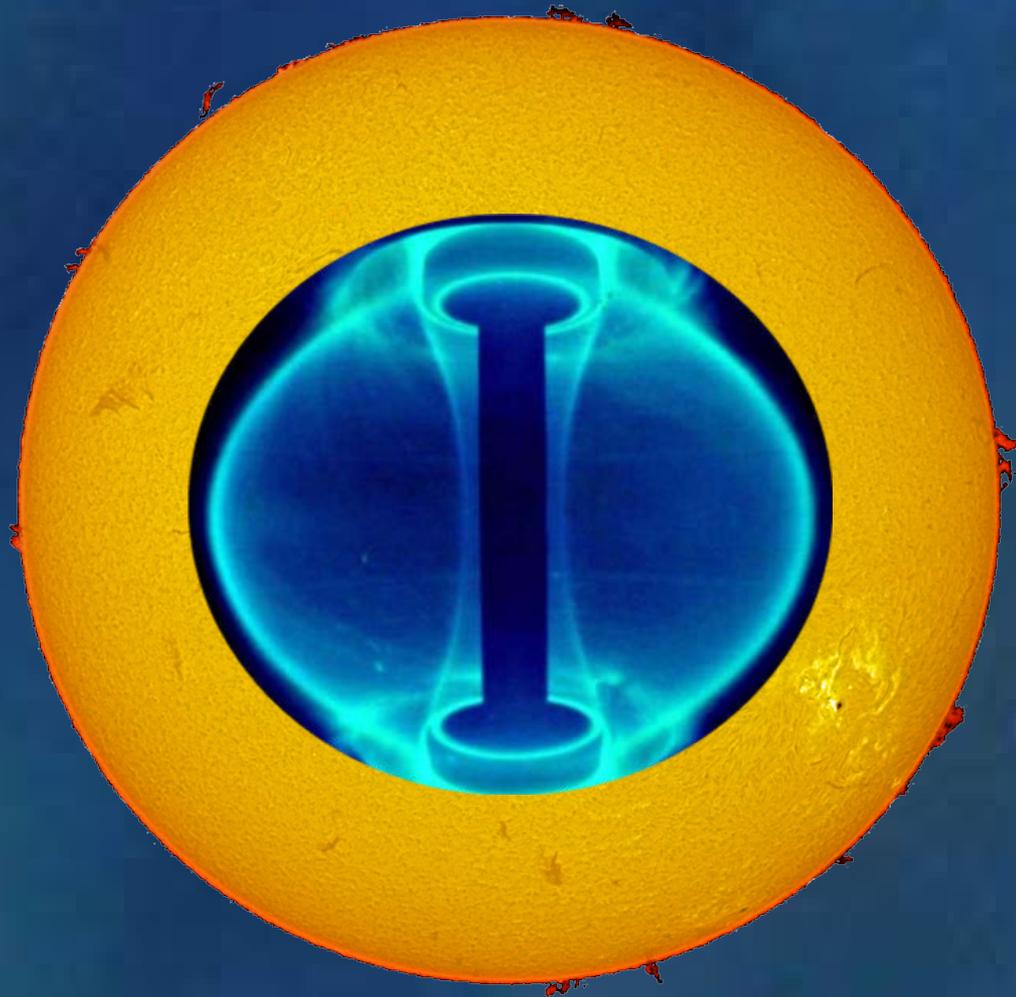
- **Toutes étoiles**, nébuleuses, quasars, pulsars, ...
- Vent solaire
- Ionosphère
- Aurores boréales
- Eclairs

+ les plasmas « industriels »

- « Décharges électriques » (disjoncteurs, lampes ...)
- Plasmas de traitement de surfaces, pour le dépôt, la gravure, le dopage- de couches minces (ordinateurs, carrosseries ...)
- Ecrans à Plasma
- Propulsion par plasmas
- Fusion nucléaire (Tokamak, inertiel, Z-Pinch ...)
- Stérilisations (lampes UV, ioniseurs ...)
- + *nombreuses autres applications encore en laboratoires ou prototypes* (amélioration de la combustion, traitement de déchets, 'bistouris' ...)



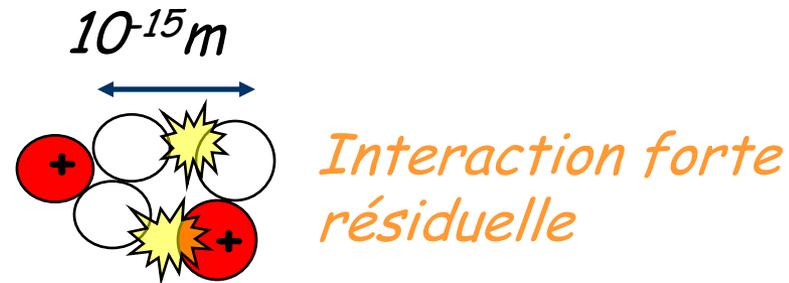
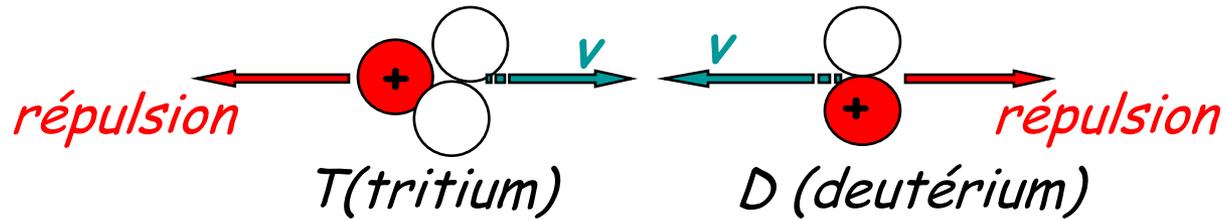
*Plasma de Fusion
l'énergie des étoiles en héritage?*



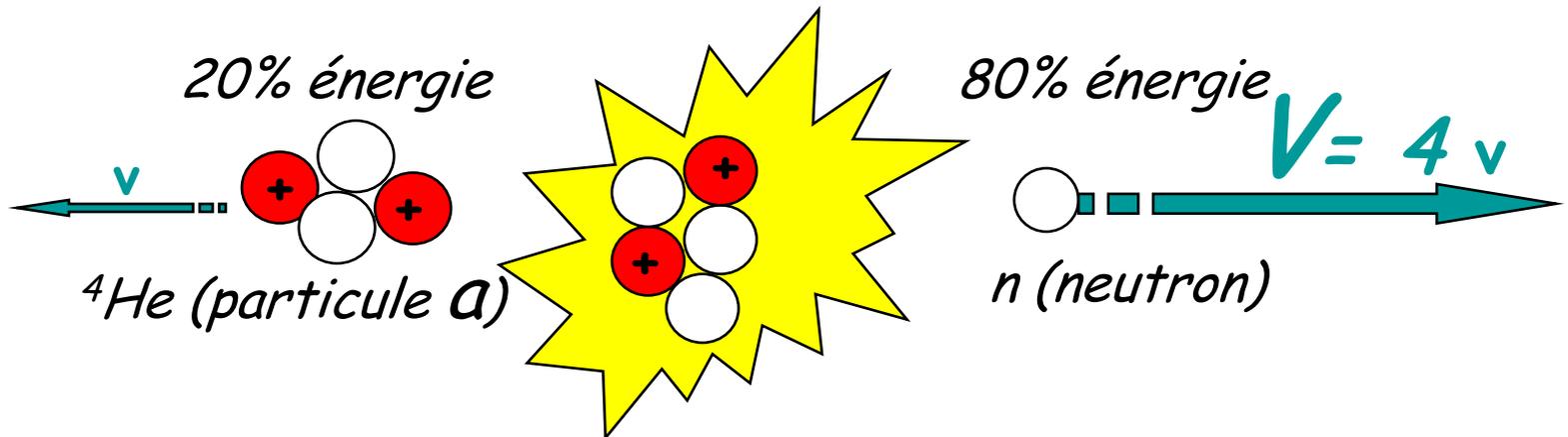
*Le Soleil :
une fusion thermonucléaire
non-contrôlée mais bien utile !*



Principe de la fusion Deutérium-Tritium



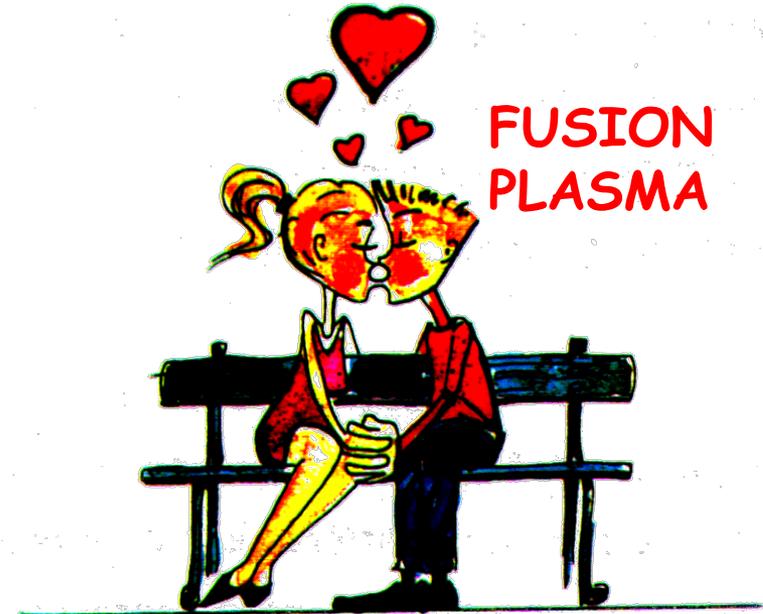
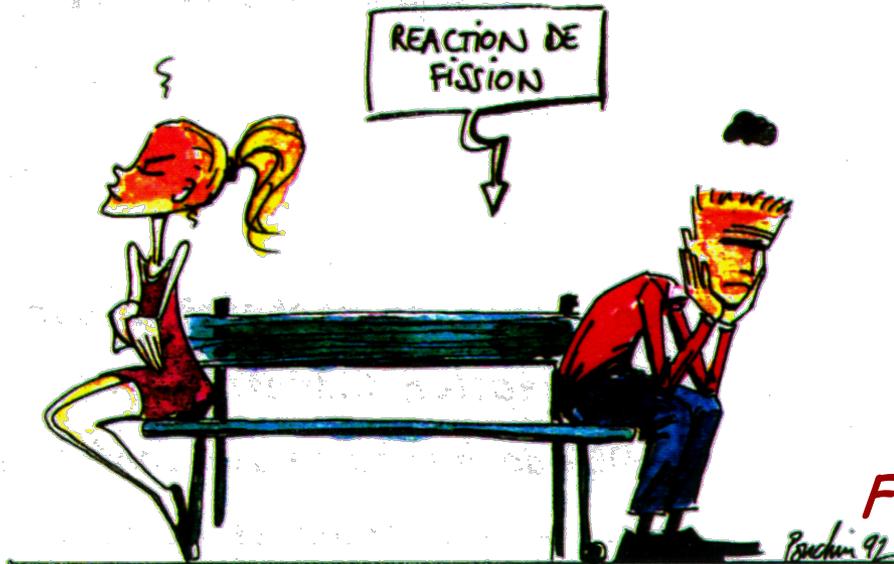
150 millions de degrés



Energies nucléaires civiles: différence entre Fission et Fusion

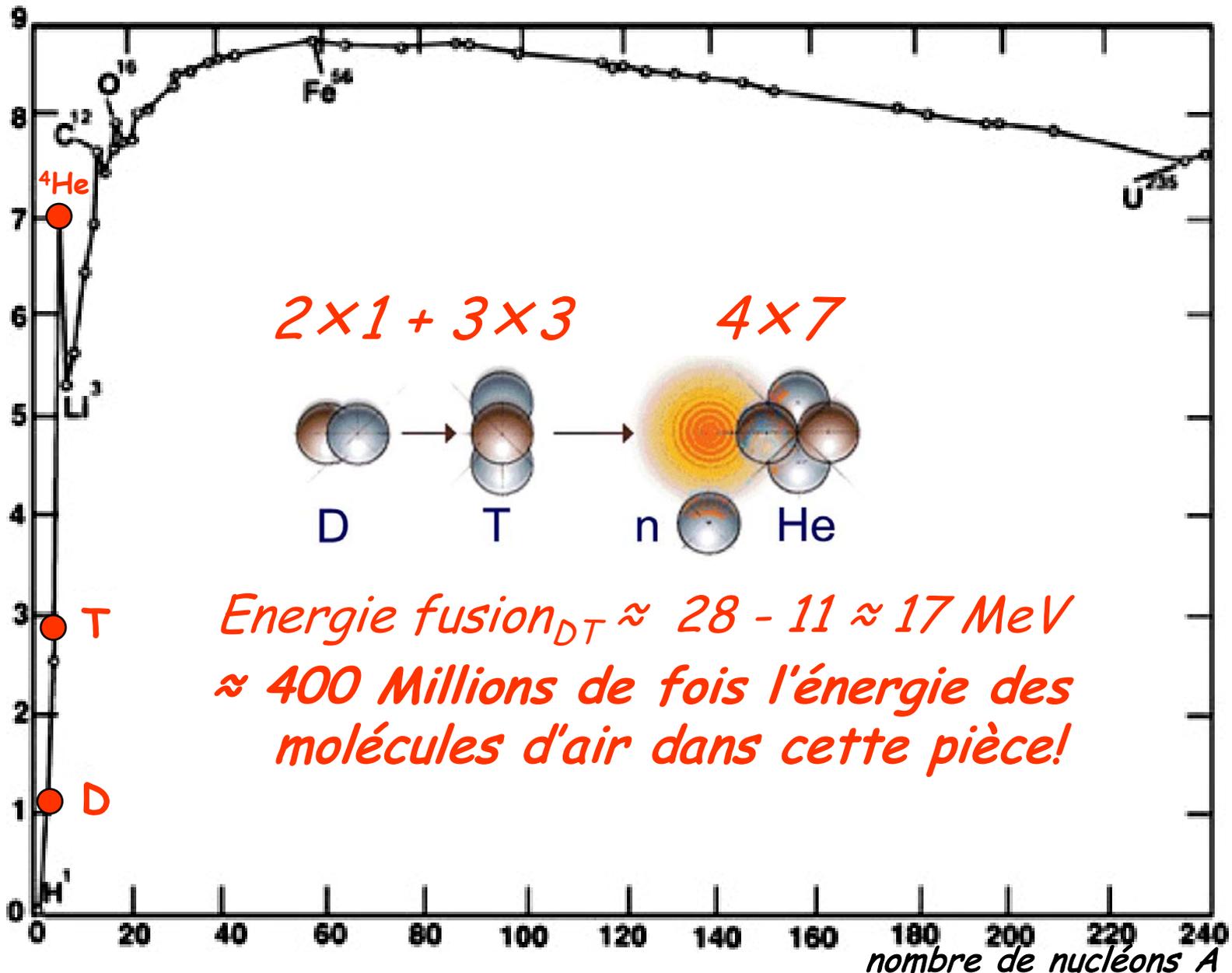
Fission

(réacteurs nucléaires actuels)
réactions en chaîne,
il faut éviter la divergence,
qui est un phénomène destructeur ...



*Fusion (recherche, projet ITER...)
chaud, très chaud, fragile,
ça a tendance à refroidir,
s'arrête à la moindre perturbation...*

Energie de liaison par nucléons (MeV)



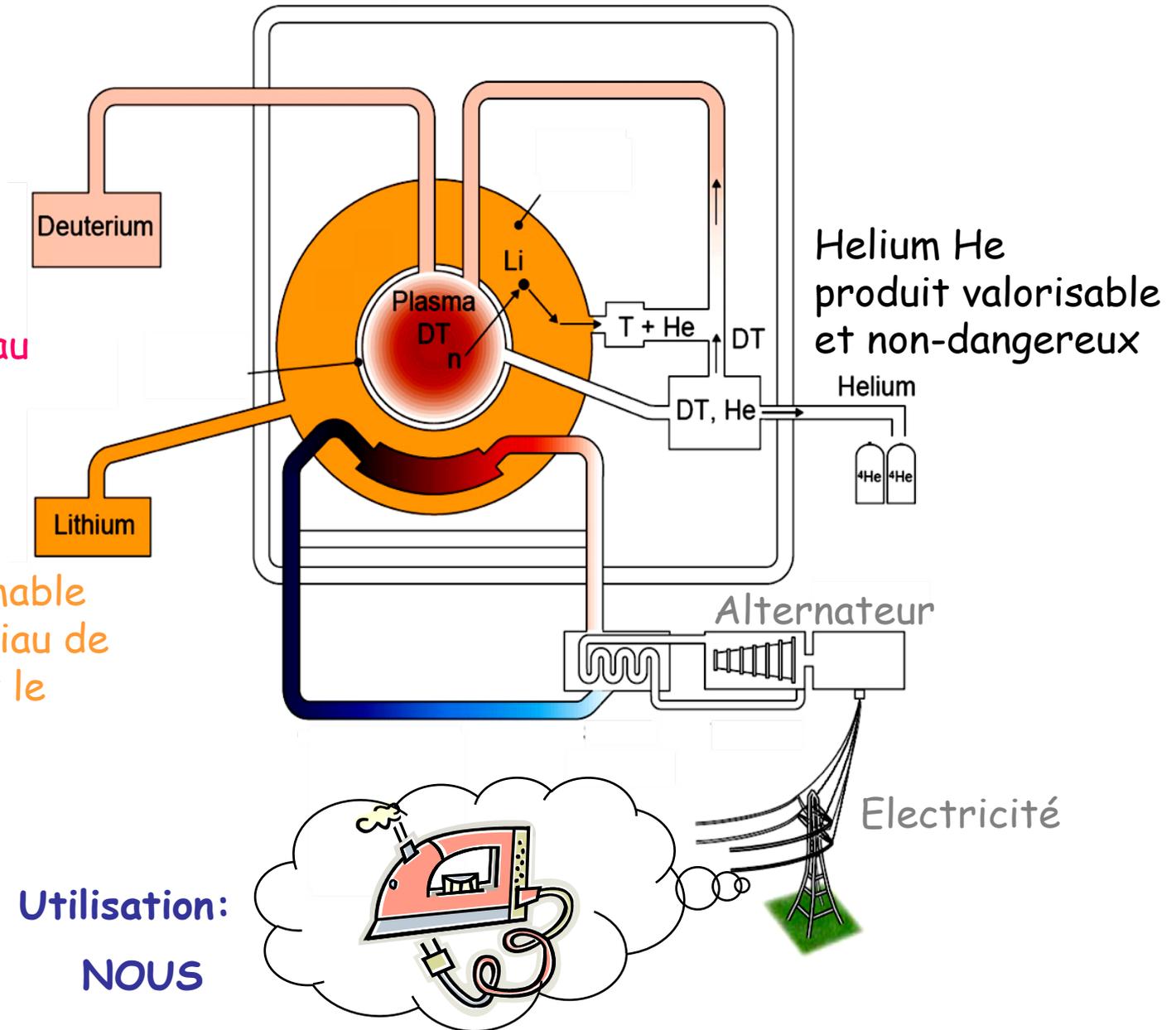
*Energie fusion $D_T \approx 28 - 11 \approx 17 \text{ MeV}$
 ≈ 400 Millions de fois l'énergie des
 molécules d'air dans cette pièce!*

1 MeV (Million d'Electron-Volt) ≈ 11 Milliard de degrés $^{\circ}C$

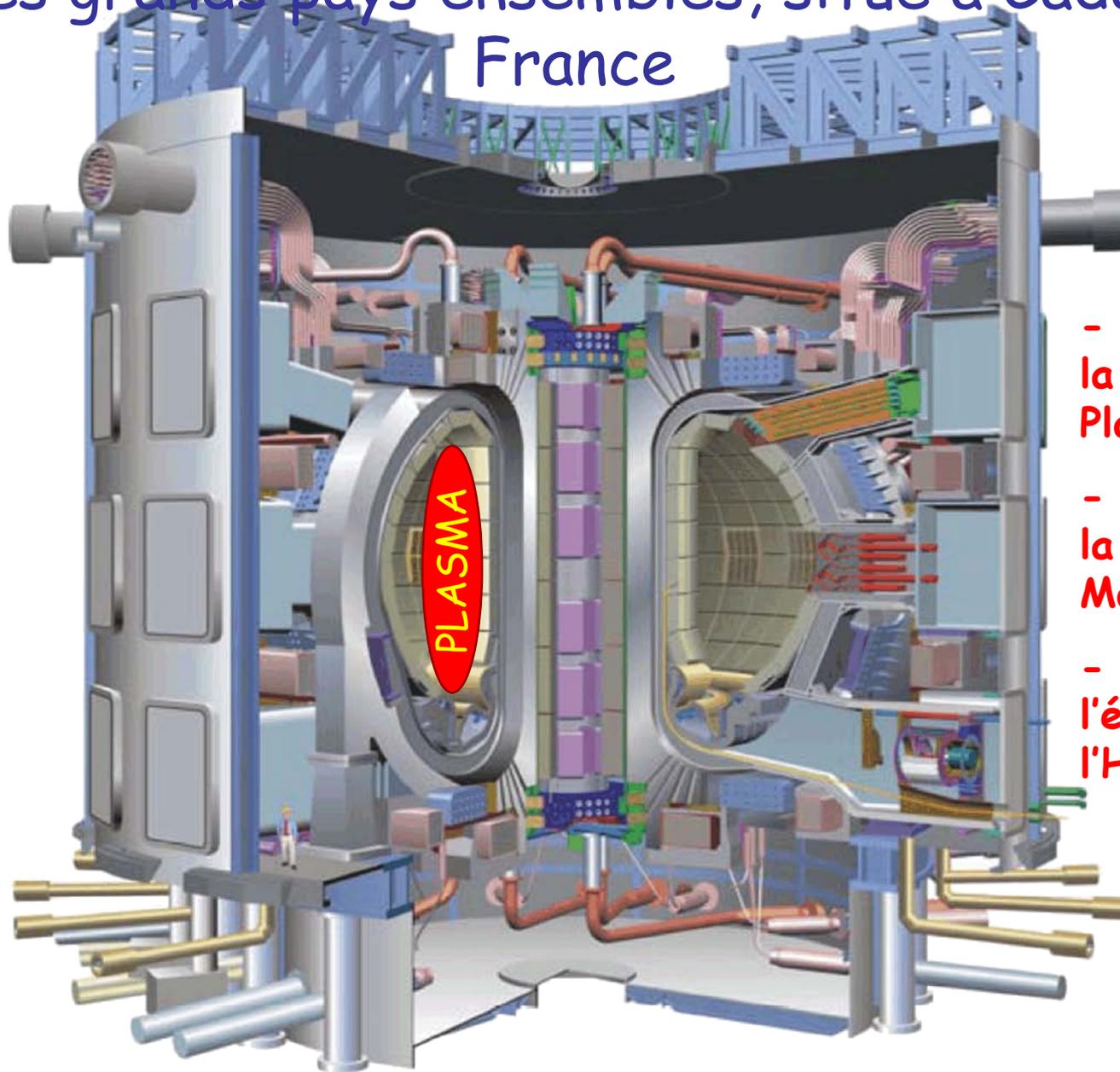
Principes d'un réacteur de fusion D-T

Deuterium D
combustible
abondant, déjà
présent dans l'eau

Lithium consommable
abondant: matériau de
la paroi donnant le
Tritium T

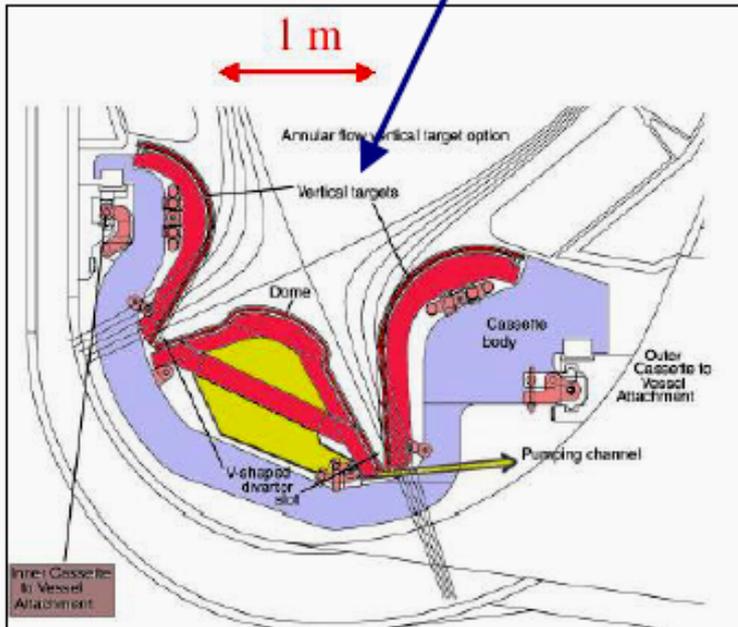
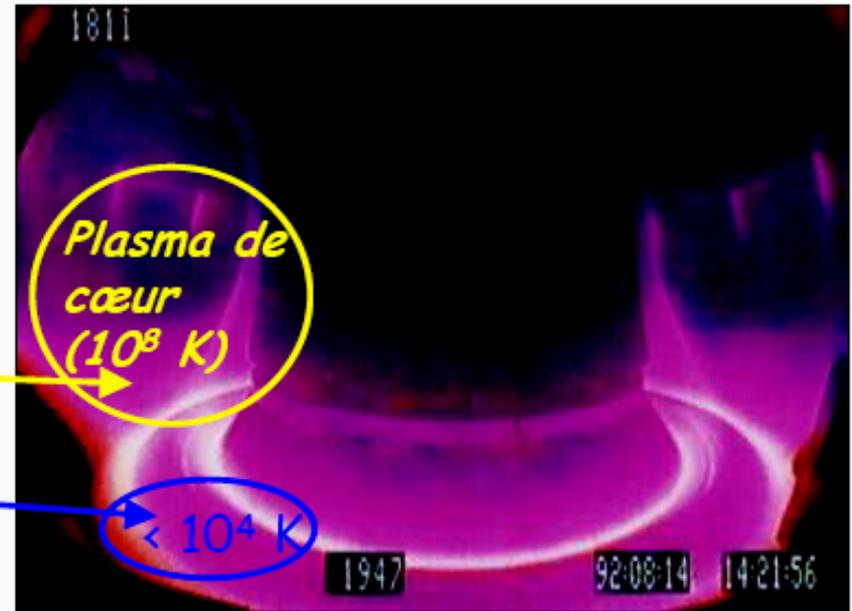
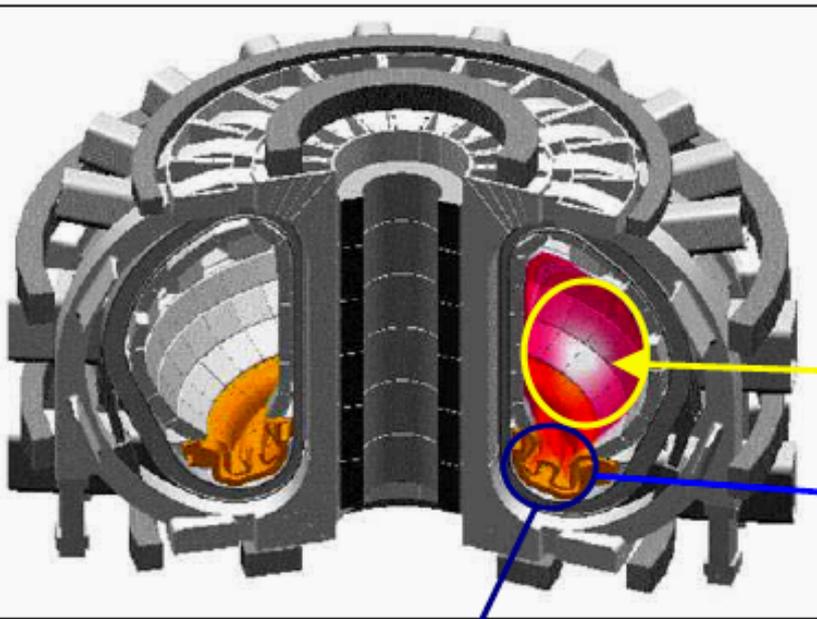


Prototype ITER: 15 ans à construire, recherche de tous les grands pays ensemble, situé à Cadarache, France



- Un défi dans la science des Plasmas
- Un défi dans la science des Matériaux
- Un défi pour l'énergie de l'Humanité

L'interaction plasma-paroi solide: rude défi



«Plasma de bord» ($T < 10\ 000\ ^\circ\text{C}$)
au contact d'un «**Divertor**»

Rôles du divertor:

- Amélioration du confinement
- Pompage "cendres" (He) et impuretés

PLASMA \approx 99% de l'Univers !!!

Plasmas « naturels »

- Toutes étoiles, nébuleuses, quasars, pulsars, ...
- Vent solaire
- Ionosphère
- Aurores boréales
- Eclairs

+ les plasmas « industriels »

- « Décharges électriques » (disjoncteurs, lampes ...)
- Plasmas de traitement de surfaces, pour le dépôt, la gravure, le dopage- de couches minces (ordinateurs, carrosseries ...)
- **Ecrans à Plasma**
- Propulsion par plasmas
- Fusion nucléaire (Tokamak, inertiel, Z-Pinch ...)
- Stérilisations (lampes UV, ioniseurs ...)
- + nombreuses autres applications encore en laboratoires ou prototypes (amélioration de la combustion, traitement de déchets, 'bistouris' ...)



Ecrans à Plasma

1966 Inventé par Donald Bitzer et Gene Slottow (Université de l'Illinois)

1980 - Première production industrielle limit limitée à des écrans monochromes

1993-Fujitsu lance le premier écran couleur couleur à plasma (PDP) plasma (PDP)

2004 2004 --Écrans plasmas 52 crans plasmas 52' et 60' (130 ou 150 cm de diagonale)

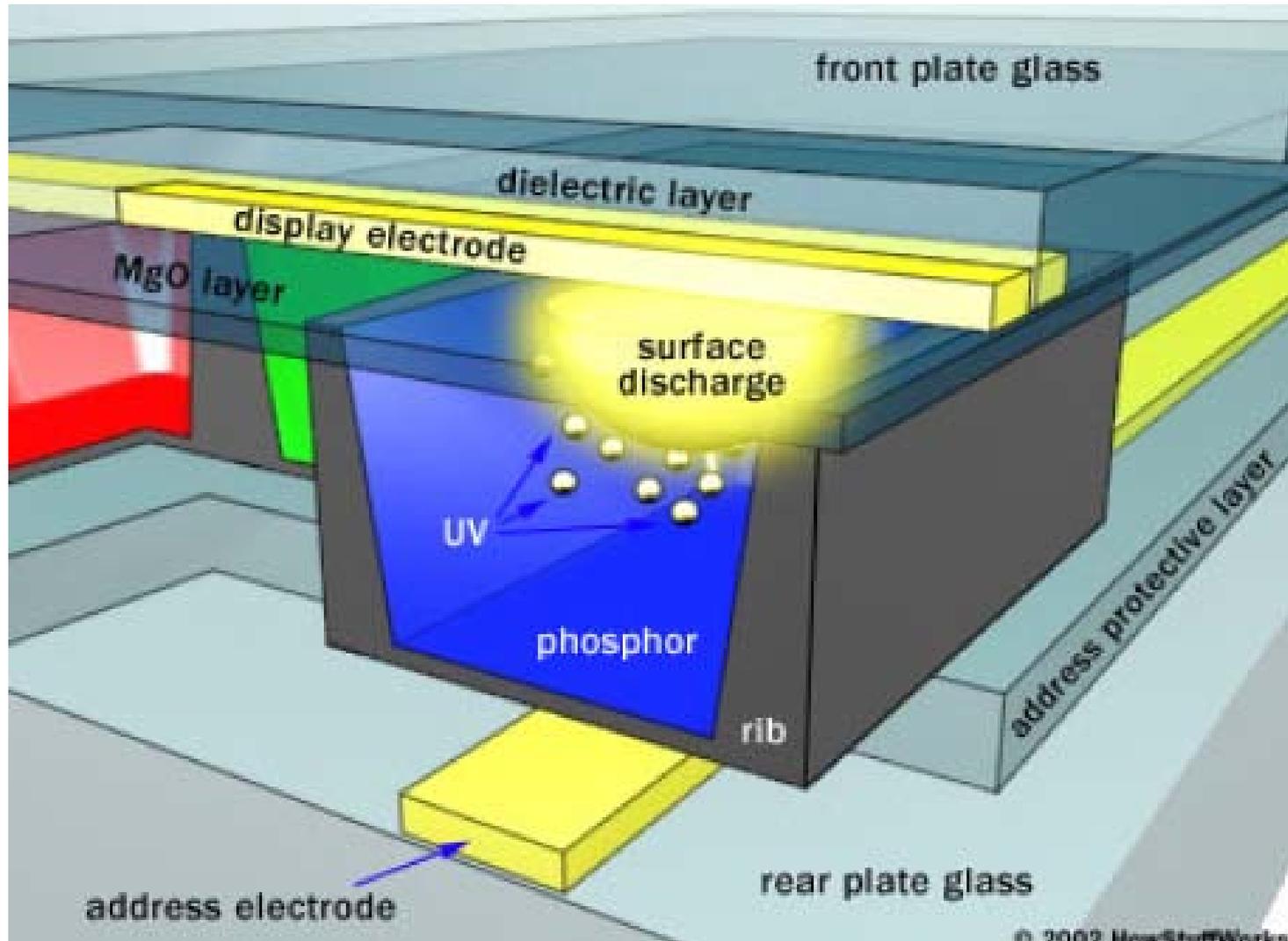


Principe d'un pixel d'écran à plasma:

Plasma dans un mélange He-Ne, Xe-Ne ou Ne-Ar émettant des UV (145-180nm)

Les phosphores excités par les UV réémettent dans le visible.

Chaque sous-pixel est une cellule individuelle (bleu, vert, rouge)



PLASMA \approx 99% de l'Univers !!!

Plasmas « naturels »

- Toutes étoiles, nébuleuses, quasars, pulsars, ...
- Vent solaire
- Ionosphère
- Aurores boréales
- Eclairs

+ les plasmas « industriels »

- « Décharges électriques » (disjoncteurs, lampes ...)
- **Plasmas de traitement de surfaces, pour le dépôt, la gravure, le dopage- de couches minces (ordinateurs, carrosseries ...)**
- Ecrans à Plasma
- Propulsion par plasmas
- Fusion nucléaire (Tokamak, inertiel, Z-Pinch ...)
- Stérilisations (lampes UV, ioniseurs ...)
- + nombreuses autres applications encore en laboratoires ou prototypes (amélioration de la combustion, traitement de déchets, 'bistouris' ...)



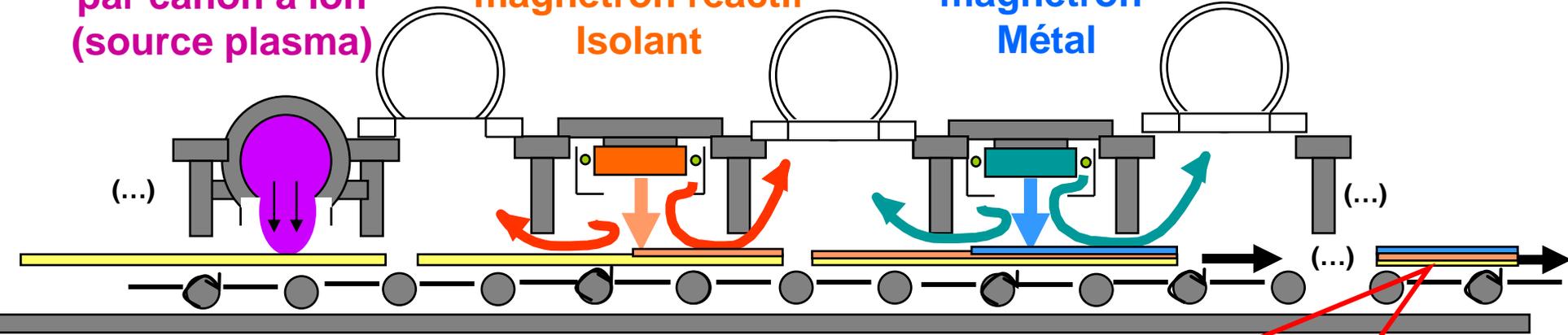
AUTRE PLASMA: le Plasma pour les couches minces

Crée de nouvelles fonctions avec des matériaux usuels !

Traitement surface
par canon à ion
(source plasma)

PLASMA
magnetron réactif
Isolant

PLASMA
magnetron
Métal



Résultat = **nouvelles fonctions électro-optiques**

(filtre solaire, «autonettoyant» (photocatalyste), anti-reflet, électrochrome, photovoltaïque...)

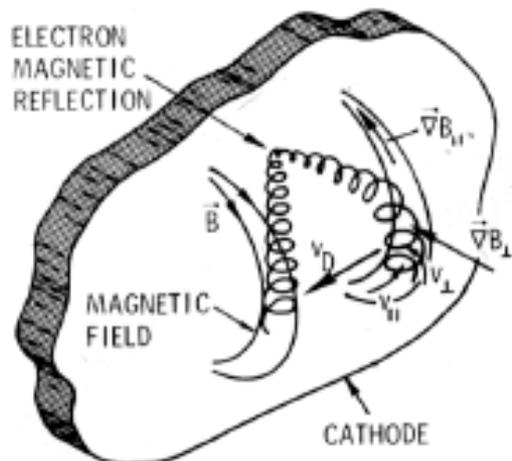
Au cœur d'un plasma pour couches minces...

- Beaucoup d'électrons, très chauds ($T_e \sim 30\,000\text{ °C}$!!)
- ♥ Mais aussi beaucoup d'ions, froids ($T_i \sim 100\text{ °C}$!!)
- ♥ Et beaucoup de photons (lumière)

- ⇒ un plasma « froid », mais *très efficace*
- ⇒ modifie les matériaux (dépôt, gravure, ...)
- ⇒ ou éclaire, en consommant peu d'énergie !!!

Science > Procédés > Dispositifs > Applications

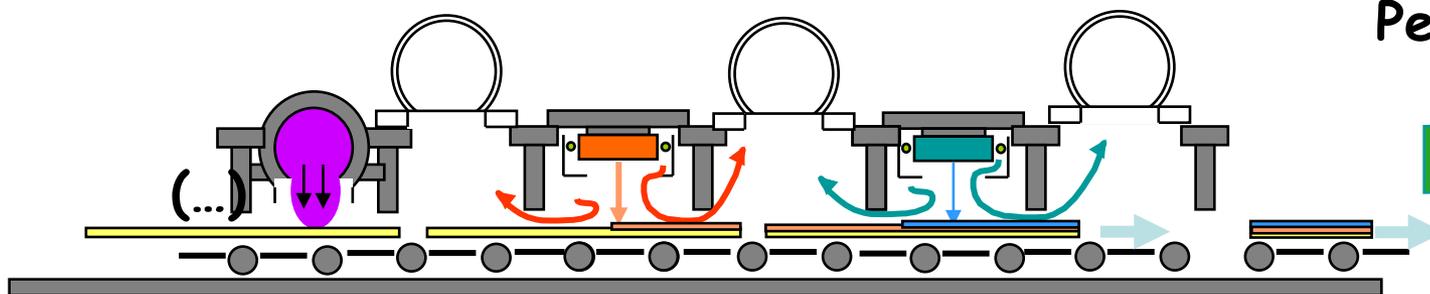
Questions ?



Application:
bâtiment solaire

Compréhension, science
Ici plasma magnetron

Permet



Permet

Procédé plasma magnetron de dépôt en couches minces,
sur grandes surfaces, économique

Le plasma pour les couches minces, il voit loin !



Machine de polymérisation siliciée par Plasma permettant de créer une couche dure et transparente sur des «verres» de lunettes en plastique



Le plasma pour les couches minces permet les cellules solaires du futur !

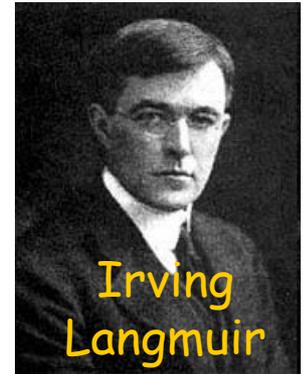


Cellules solaires flexibles déposées par procédés *plasmas*



Quelques avancées et grands de la science des plasmas

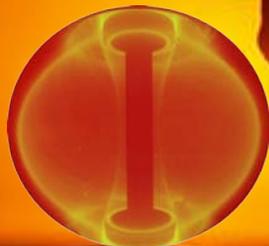
- 2008 **MAINTENANT : PLASMAS OMNIPRESENTS DANS NOTRE VIE**
- 2000 Premiers écrans plasmas
- 1990.. Premières études systématiques des « plasmas poussiéreux » (André Bouchoule ...)
- 1990.. Premières lampes plasmas grand-public (fluo-compactes)
- **Dès 1960 Emergence des procédés plasma qui permettent microélectronique, optique, optoélectronique puis spintronique modernes**
- 1970.. Premiers propulseurs plasma pour satellites (URSS)
- 1960.. Etude des plasmas introduite en France (J L Delcroix...)
- 1950.. **Igor Tamm & Andreï Sakharov** (Nobel Paix) prouvent les Tokamak (fusion contrôlée)
- 1958 **James Van Allen** (Nobel Physique) découvre les ceintures de radiation autour de la Terre et décrit plasmas stellaires
- 1955 **William Schumann** découvre les résonances Terre-Ionosphère
- 1952 La fusion thermonucléaire est prouvée (bombe H) (Edward Teller, S Ulam ...)
- 1950 **Hannes Alfvén** (Nobel Physique) fonde la magnetoHydrodynamique
- 1933 **Edward Victor Appleton** (Nobel Physique) explique les réflexions des ondes radio sur le plasma ionosphérique
- **1928 Irving Langmuir (Nobel Chimie) donne le nom Plasma à ce 4e état de la matière en en réalisant sa différence !!!**
- 1900 **Heinrich Hertz & Guglielmo Marconi** la communication radio (réflexion des ondes sur l'ionosphère)
- 1900 **Kristian Birkeland** montre que la Terre est protégée du vent solaire par son champ magnétique
- 1897 **Joseph John Thomson** découvre l'électron et confirme Crookes
- 1889 **Friederich Paschen** explique les condition de création d'un plasma
- 1879 **Williams Crookes** prouve l'existence d'un 4e état de la matière
- 1857 **Werner Von Siemens** développe le 1er ozonifler, 1ère application des plasmas industriels
- 1820 **Michael Faraday** envisage un 4e état de la matière
- ~1780 **Benjamin Franklin** étudie les éclairs
- 1700 Des boules plasma rudimentaires amusent déjà les aristocrates anglais, notamment grâce aux premières pompes à vide réalisées par Denis Papin au Royaume-Uni



♥ Découvreuse de demain
en science des plasmas ?
Comme Vous ?

♥ Astronome avisée ?
Comme Vous ?

♥ Simplement (mais déjà !) un
soutien à la science de demain ?
Comme Vous ?



Merci de votre attention

Pour aller + loin :

cours de Physique des Plasmas, Université de Picardie Jules-Verne

Bibliographie sommaire

- Plasmas Froids Volumes 1 à 4 (F Massines éd.) Presse Univ St Etienne 2004
- Physique des Plasmas J L Delcroix, A Bers CNRS editions 1995
- Dusty Plasmas A Bouchoule CRC Press, 2000
- Principles of Plasma Discharges and Materials Processing (2nd edition) MA Lieberman, AJ Lichtenberg, Wiley Science 2000
- Plasma phenomena in Gas Discharges R Franklin, IoP 1975
- Thin Film Processes Vossen L, Kern K éditeurs, Academic Press, 1991
- Gas Discharge Physics YP Raizer Springer Verlag 1991
- Industrial Plasma Engineering J Reece Roth IoP 2001
- Kinetics of Non-Equilibrium Low-Temperature Plasmas Biberman L.M., Vorob'ev V.S., Yakubov I.T. 'Consultants Bureau' 1987
- Plasma Kinetics Theory D R Nicholson Wiley 1983
- Glow Discharge Processes B Chapman Wiley 1980
- Electrical Probes for Plasma Diagnostics JD Swift, MJR Schwar, Ilife 1970
- Plasma Sources Science & Technologie journal de Institute of Physics
- Plasma Physics journal de American Institute of Physics

Remerciements: ESA, The Open University, CEA (JM Ané), Wikipedia, Beyro Sarl, Réseau Plasmas Froids, B Equer



CONCOURS 2009

Astronomie en Picardie pour Collégiens et Lycéens



© esa



1^{er} prix : télescope
2^e et 3^e prix : lunette
et beaucoup d'autres lots

Questions sur l'astronomie *pour tous*

Renseignements et inscriptions :

<http://www.ama2009-physique.u-picardie.fr>

