

Le Soleil Artificiel Une Clé Pour L'Enjeu Énergétique :

NOM & Prénom
Identifiant CNC : FS*M**
Filière : MP



Professeur encadrant : M.BENCHEKROUN Mohammed

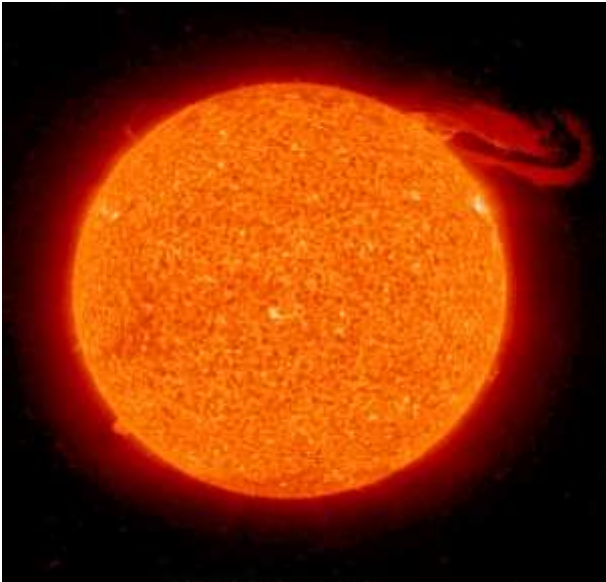


Plan

- Introduction.
- Les grandes principes de la fusion nucléaire sur la terre.
- Le projet ITER et le paramètre dimensionnel comme facteur influant sur l'efficacité du Tokamak.
- Un peu d'informatique.
- Conclusion.

Introduction

SOLEIL ARTIFICIEL

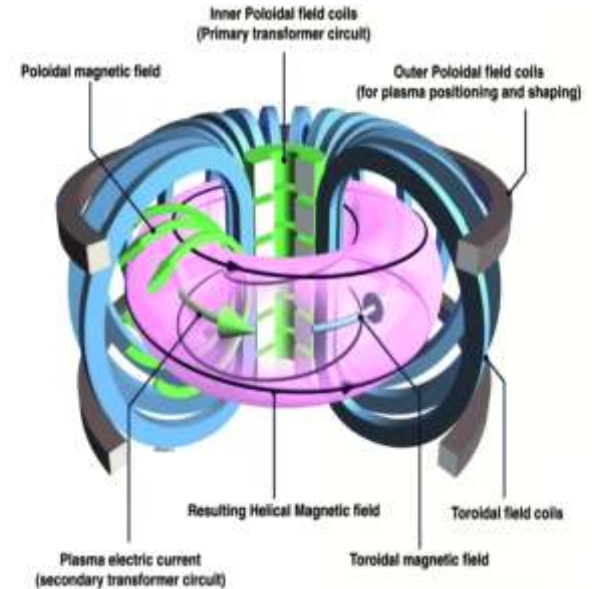


https://fr.wikipedia.org/wiki/Soleil#/media/Fichier:Solar_prominence_from_STEREO_spacecraft_September_29,_2008.jpg

==

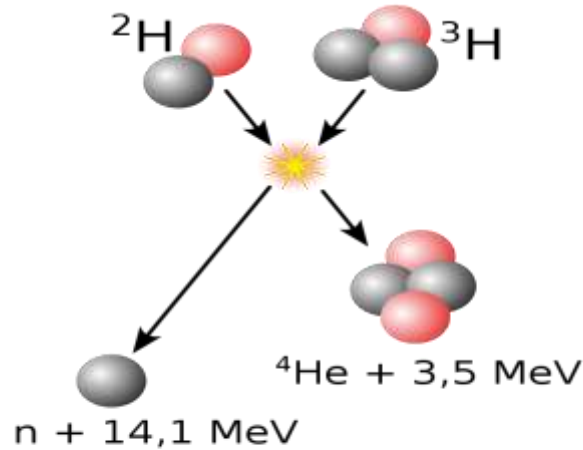
==



TOKAMAK



<https://www.electronique-mixte.fr/cest-quoi-un-tokamak>

Les grandes principes de la fusion nucléaire sur la terre

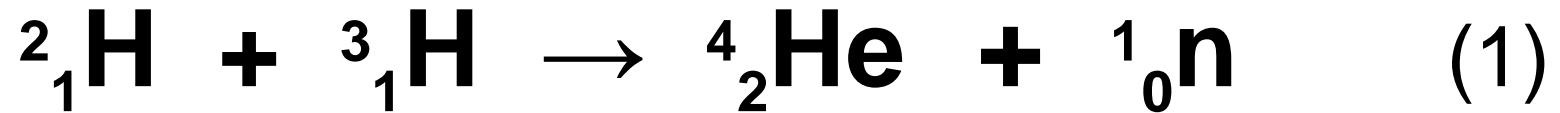


Proton 
Neutron 

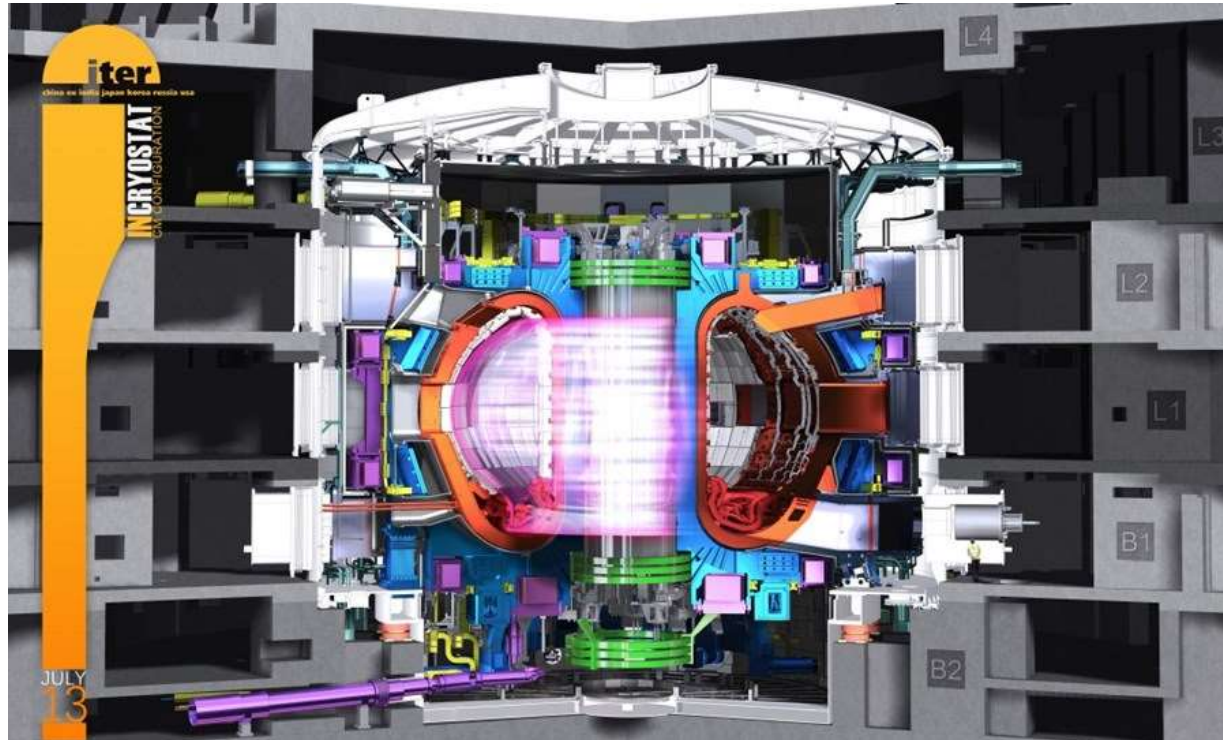
https://media/Fichier:Deuterium tritium_fusion.svg/fr.wikipedia.org/wiki/Fusion_nucl%C3%A9aire#/

Réaction de fusion nucléaire la plus avantageuse :

La réaction D-T



Le projet ITER et le paramètre dimensionnel comme facteur influant sur l'efficacité du Tokamak



<https://www.iter.org/fr/proj/inafewlines>



Le projet ITER :

ITER est l'un des projets les plus ambitieux au monde dans le domaine de l'énergie.

En France, 35 pays sont engagés dans la construction du plus grand tokamak jamais conçu, une machine qui doit démontrer que la fusion peut être utilisée comme source d'énergie à grande échelle, non émettrice de CO₂, pour produire de l'électricité.



Critère de LAWSON :

La condition de réalisation d'un plasma thermonucléaire peut être ramenée à une relation entre la densité (n), la température (T) et le temps de vie de l'énergie (τ_e), ou de façon approchée par une condition sur le triple produit $n \cdot \tau_e \cdot T$. C'est le critère de Lawson.

Ce critère :

$$P_{\alpha} > P_{\text{pertes}} \quad (2)$$

C'est-à-dire:

$$\frac{1}{4} \overline{n^2} k > \frac{3n\overline{T}}{\tau_e}$$

C'est-à-dire:

$$n\tau_e > \frac{12T}{k}$$

Avec $T \approx 100/200$ °C , On a :

$$nT\tau_e > 3 \times 10^{21} m^{-3}.keV.s \quad (2)^*$$

Plasma chaud confiné

Sources :

P_{α} : puissance due aux particules
alpha

P_{ext} : puissance extérieure
couplée au plasma

Pertes : P_{pertes}

Puissance perdue à cause du freinage
des électrons, des impuretés,
du transport de la chaleur
et des particules.

Puissance
investie pour
créer et
entretenir le
plasma



Puissance
récupérée



Avec : $P_{\text{exter}} + P_{\text{investie}} = P_{\text{chauffage}}$

$$P_{\alpha} + P_{\text{neutron}} = P_{\text{fusion}}$$



Le facteur d'amplification de la puissance Q :

$$Q = P_{\text{fusion}} / P_{\text{chauffage}} \quad (3)$$

Avec : P_{fusion} : La puissance dégagée par les réactions de fusion.

$P_{\text{chauffage}}$: La puissance de chauffage qui a dû être consommée pour porter le plasma à une température suffisante.

● ITER pour quoi faire ?

Q ≥ 10

TOKAMAK

Année

Pays

Q

TORE SUPRA

1988

France

Q = 0

JET

1991

Royaume-Uni

Q = 0,66

ITER

2025

France
(Membres d'ITER — L'Union
européenne, le Royaume-Uni, l'Inde, la
Russie, la Chine, la Corée du Sud, le
Japon, les États-Unis et la Suisse.)

Q = 10

DEMO

20XX

???

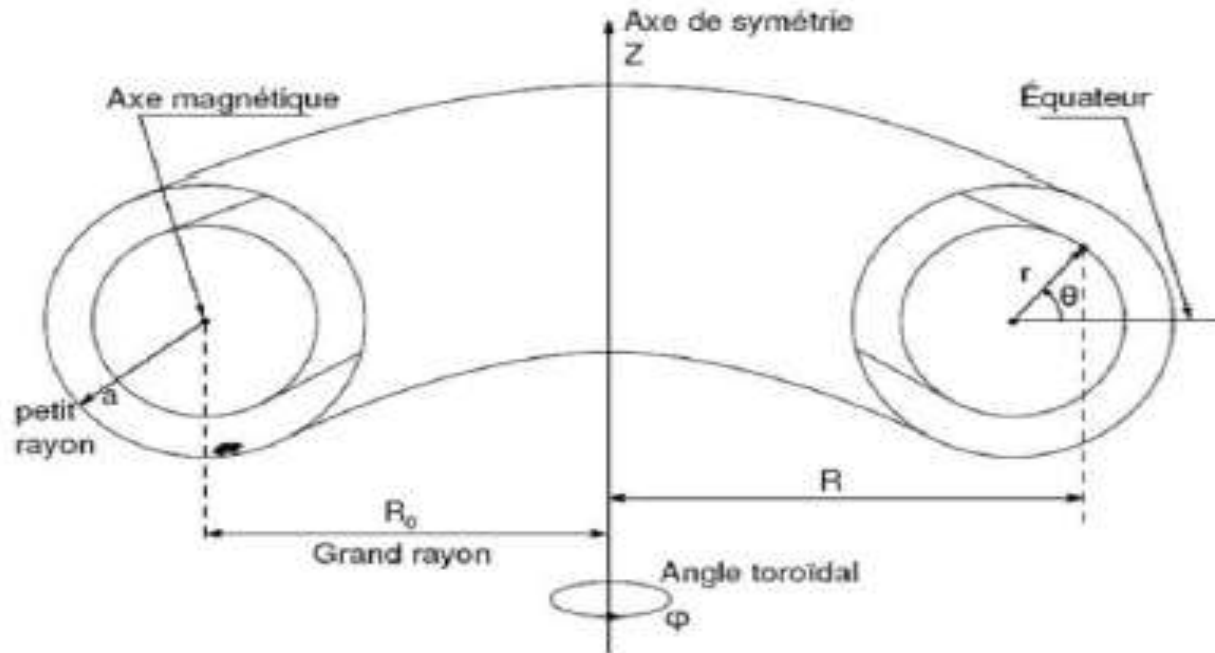
Q = 30-50

les paramètres influant sur l'efficacité du Tokamak :



- L'intensité du champ magnétique (T)
- L'intensité du courant électrique induit (MA)
- **La dimension du plasma (m^3)**

● le paramètre dimensionnel:



On admet : $\tau_e^{89} \propto R^{1,5} I_p^{0,85} n^{0,1} B^{0,2} P^{-0,5}$ (4)

R le grand rayon du tore, **I_p** est le courant total traversant le plasma, **B** le champ magnétique toroïdal, **n** la densité électronique linéique moyenne, et **P** = **P**_{pertes} .

Analyse : Pour **I_p**, **B**, **P** bien précis ,
et **T_e** bien déterminé pour avoir une valeur de **Q** donnée :
On obtient la valeur de **R** .

Synthèse : On vérifie que cette valeur de **R** est réalisable .

Tokamaks d'hier et de demain



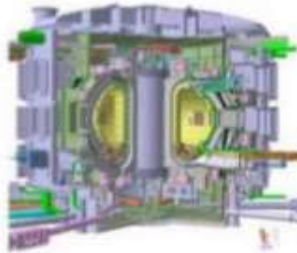
Tore Supra

25 m³
~ 0 MW_{th}



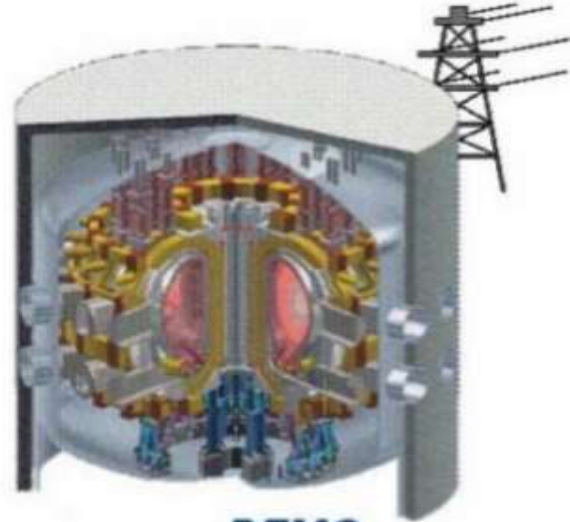
JET

80 m³
~16 MW_{th}



ITER

800 m³
~ 500 MW_{th}



DEMO

~ 1000 - 3500 m³
~ 2000 - 4000 MW_{th}

<https://fr.slideshare.net/MayeulMollaret/soutenance-pfe-mm-66648133>

Un peu d'informatique

Notre base de donnée :

	TORE SUPRA	JET	ITER
Grand rayon	2,40 m	2,96 m	6,20 m
Petit rayon	0,72 m	1,25 m	2/3,40 m
Volume du plasma	25 m ³	100 m ³	830 m ³
Champ toroïdal	3,85 T	3.85 T	5,3 T
Courant plasma	1,5 MA	max 4,8 MA	max 15 MA
Valeur de Q trouvée/attendue	0	0,66 ≈ 1	10

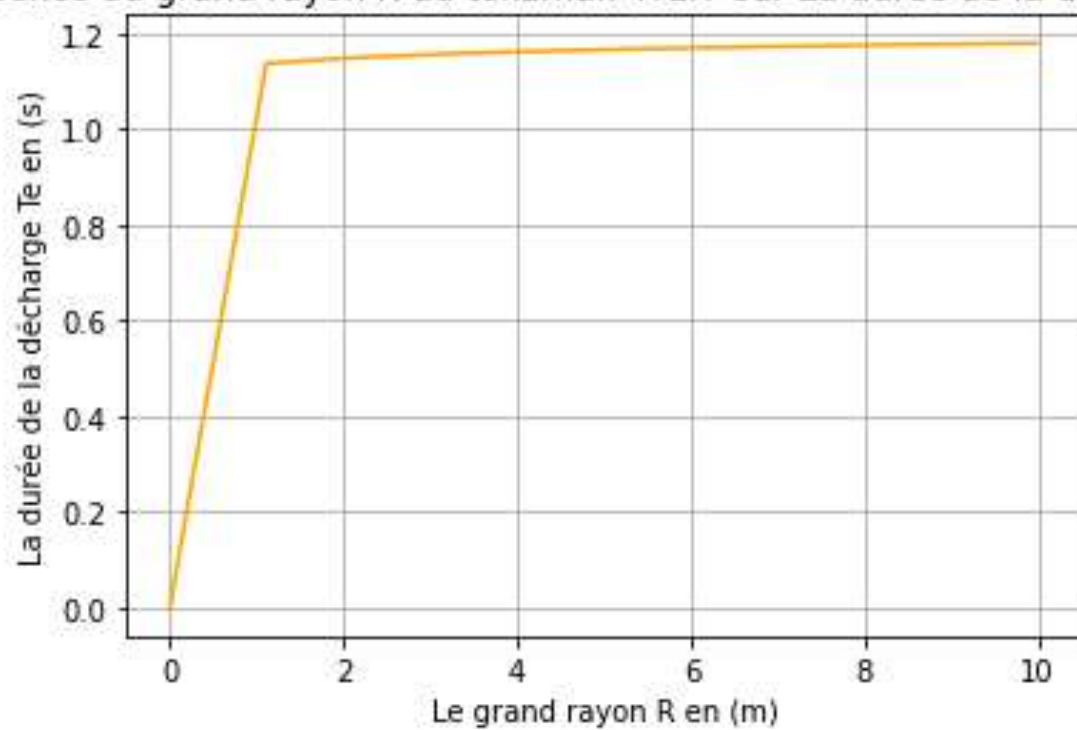
<https://pastel.archives-ouvertes.fr/pastel-00599210>

```

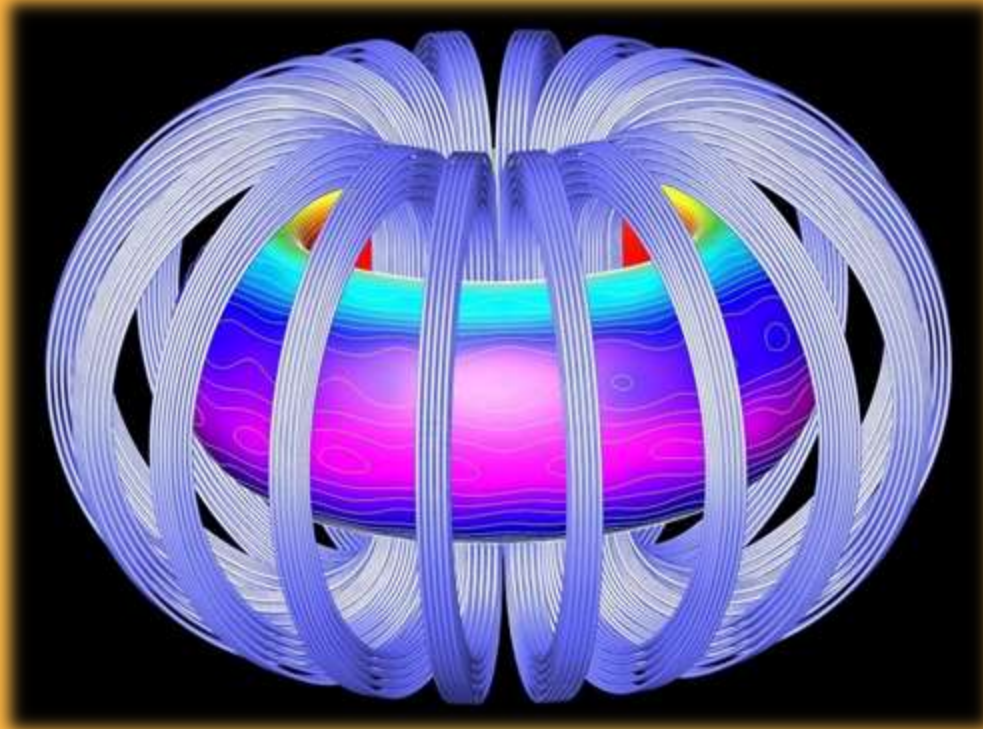
1  # -*- coding: utf-8 -*-
2
3  import numpy as np
4  import matplotlib.pyplot as plt
5
6  ▼ def Tau_E(Ip,B,P,R):
7      a=R**(1.5)
8      b=Ip**(0.85)
9      c=B**(0.2)
10     d=10**(20*0.1)
11     e=P**(0.5)
12     f=(a*b*c*d)/e
13     return f**(1/89)
14
15     #Pour ITER, on a : Ip = 15 MA, B = 5.3 T et P = 5 MW .
16
17     L=np.linspace(0,10,10)
18     y=Tau_E(15000000,5.3,5000000,L)
19     plt.plot(L,y,color="orange")
20     plt.xlabel("Le grand rayon R en (m)")
21     plt.ylabel("La durée de la décharge Te en (s)")
22     plt.title("Influence du grand rayon R du tokamak 'ITER' sur La durée de la décharge Te:")
23     plt.grid()
24     plt.show()
25

```

Influence du grand rayon R du tokamak 'ITER' sur La durée de la décharge T_e :



Conclusion



<https://www.gralon.net/articles/commerce-et-societe/industrie/article-l-energie-de-fusion-est-enfin-prete-a-briller-11830.htm>