La fusion : que déduire d'une mise en perspective historique ?

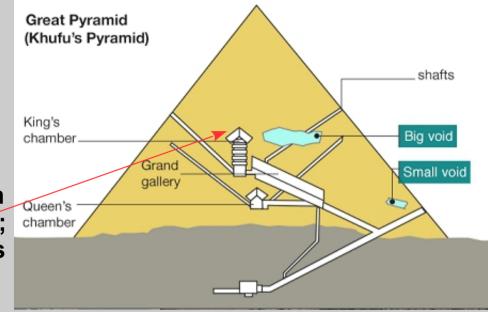
Yves Lenoir - Enfants de Tchernobyl Belarus (août 2021)

- 1. Introduction: tous pour, avec ou derrière ITER!
 - « Le Mythe de la Machine », de la Méga-machine
 - l'impasse de la compression, données actuelles
 - des Z-machines décevantes
- 2. Les origines, des étoiles à ZETA :
 - l'énergie des étoiles ; premières fusions en laboratoire
 - 1957, l'annonce officielle de fusions réussies par ZETA!
- 3. Fabriquer et confiner des plasmas ad-hoc
 - les conditions de l'ignition... rien à voir avec le Soleil!
 - quelques étapes historiques, sept décennies écoulées !
 - genèse des ITERs, un financement insuffisant...
- 4. La question des disruptions
 - un phénomène inévitable en l'état du savoir-faire
 - plus grande la machine, plus grands les dommages
 - pas de modèle... Cédric Villani à la rescousse...
 - on fait comme si... on trouverait à temps une solution
- 5. L'Histoire jugera : une escroquerie désirée ?

1. Introduction : tous pour, avec ou derrière ITER ! « Le Mythe de la Machine », de la Méga-machine

La première « Mégamachine » de l'Histoire

- But : préserver Pharaon vivant dans l'éternité ;
- Conception : les prêtres de Rê, le dieu Soleil, et les plus grands savants de l'empire ;
- Construction : 2600 à -2580 (20 ans) par
 ~ 100 000 ouvriers salariés ;
- Caractéristiques : dimensions 233 x 233 x 146 m masse : 6 Mt par blocs de 2,5 t (max : 70 t);
- Financement : les surplus agricoles et des taxes sur les échanges avec la Crête et la Nubie.



La « Mégamachine » du XXIème siècle

- But : fournir de l'énergie pour l'éternité ;
- Conception : le lobby des physiciens, faisant la promesse de créer un Soleil artificiel ;
- Construction: 1988 à 2025 ? (37 ans...) par
 ~ 40 000 ouvriers (50 000 \$/an, moyenne);
- Caractéristiques : volume 830 m³, 100 000 km de fil supra-conducteur, 18 bobines de 310 t, un électro-aimant de 1 kt, radier de 0,4 Mt;
- Financement : 20 Md \$ pris sur les budgets de R&D de l'énergie de 6 pays + UE.



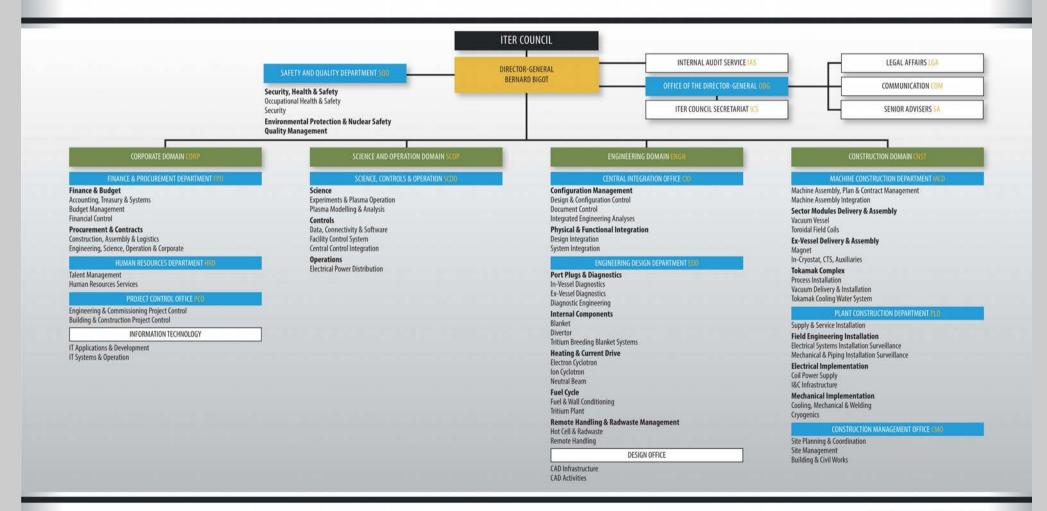
Dans les deux cas, en superstructure, une super Méga-machine de nature étatique.

La superstructure de la Méga-machine administrative d'ITER



ITER ORGANIZATION CENTRAL TEAM ORGANIGRAMME

January 2021





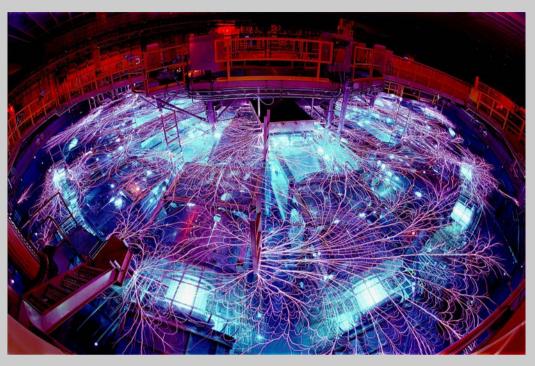




l'impasse de la compression par laser, données actuelles des Z-machines décevantes

Projet	Catégorie	Mise en service	Résultats	Diff cultés rencontrées	Commentaires		
CFS	Tokamak	2025	(projet en construction)	Diff builted refree intrees	Commentance		
ITER L'Europe assume la plus grande partie d u coût de construction de l'installation (45,6 %); la part restante est assumée de manière égale par la Chine, l'Inde, le Japon, la Corée, la Russie et les États- Unis (9,1 % chacun).		202538	N/A (projet en construction)	Délai de construction, budget dépassé13	Projet international (35 pays) qui s'inscrit dans une démarche à long terme visant à l'industrialisation de la fusion nucléaire, dont l'objectif est d'atteindre $Q = 10$ (dix fois plus d'énergie produite que consommée). Après la 1 ^{re} mise en service, la machine sera mise à l'arrêt le temps de préparer la phase suivante (plasmas à puissance nominale), puis à la phase nucléaire et à la production d'énergie à l'horizon 2035.		
JET	Tokamak	1989	Q=0,65 (aujourd'hui le meilleur rapport entre puissance produite et puissance induite par la fusion nucléaire).	N/A	Plus grand Tokamak fonctionnel existant, fruit d'une collaboration entre différents laboratoires nationaux européens. Depuis 2004, subit des travaux de mise à jour dans le but d'augmenter ses capacités pour participer au développement du projet ITER.		
MAST-U (en)	Tokamak sphérique	2019	record actuel du béta toroïdal à 38 %	N/A	Plus grand tokamak sphérique en fonctionnement aujourd'huiss, en attendant que le NSTX-U (en) soit réparé. Ses fonctions actuelles sont de tester des conf gurations du divertor pour ITER		
Wendelstein 7-X	Stellarator	2015	En phase de test - les premiers résultats montrent que les spécif cations du cahier des charges sont atteintes.	N/A	Première lumière le 10 décembre 2015 (plasma d'hélium). 3 février 2016, premiers tests concluants avec de l'hydrogène. Objectif : faire durer un plasma d'hydrogène trente secondes. Pourra bénéf cier des résultats d'ITER (points communs) et vice-versa.		
Z machine	Striction axiale	2010	Fusion réalisée en 201440. Température trois fois inférieure à celle d'ITER.	Taux de réaction 10 000 fois trop faible pour obteni un rendement <i>Q</i> >1	Programme privé américain développé par Lockheed Martin dans les laboratoires de sa f liale Sandia (soucis de conf dentialité). C'est un simulateur dont les expériences de fusion ne représentent qu'une partie de son utilité.		
CFR (en)	Piège magnétique	N/A	Avancées théoriques. Compacité potentielle du système.	Avancées f bues, pas de prototype fonctionnel	Programme privé américain. Lockheed Martin cherche à mettre au point un prototype à court terme.		
Laser Mégajoule	Confinement laser	2014	N/A	Financement	L'objectif premier est d'être un simulateur permettant de remplacer les essais nucléaires conventionnels. Produire de l'énergie n'est qu'un axe secondaire de recherche.		

Quelques autres Méga-machines



e crucial, es condi-Chambre de réaction L'énerfusion roduits gie e mégaont arrênatériau, erser des Faisceaux laser Arrivée des faisceaux

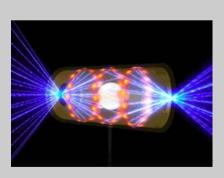
Un tir de Z-machine

20 MA

dans le liner

Aperçu d'une machine à compression-laser





Courbe de courant...

Problème générique : les <u>hétérogénéités</u>

Holraum cible comprimée

coût d'une cible : 1 M\$ rendement des lasers X << 1%

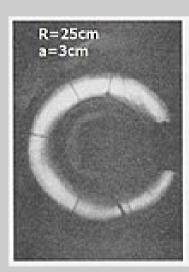
2. Les origines, des étoiles à ZETA :

- l'énergie des étoiles -- premières fusions en laboratoire
- années 1920 : on comprend que l'énergie des étoiles provient de fusions thermonucléaires ;
- 1928 : George Gamow démontre que des fusions peuvent avoir lieu par effet tunnel avec des énergies très inférieures à celles requises pour vaincre la répulsion électrostatique ;
- 1934 : premières fusions réussies avec un accélérateur de particules en lançant des noyaux de deutérium (D) sur des cibles contenant du D, Li ou autres éléments ;
- la fusion D + D est obtenue avec une énergie de 100 keV, qui correspond à une température de l'ordre du milliard de °K ;
- 1944 : Enrico Fermi calcule que, grâce à l'effet tunnel, la probabilité d'avoir assez de fusions pour entretenir le processus est atteinte à 50 M°K ; la fusion contrôlée apparaît à l'horizon des possibilités techniques ;
- 1950 : l'idée de base consiste à créer un courant plasma suffisamment intense pour que l'effet de pincement électromagnétique, le « pinch effect », confine le plasma suffisamment longtemps pour déclencher des fusions thermonucléaires ;
- 1952 : l'instabilité des plasmas lance un défi majeur avec des durée de vie de l'ordre de la μs ;

Diverses solutions sont alors étudiées. Une idée s'impose :

renforcer le pincement en répartissant des électro-aimants tout autour du tore où circule le courant plasma.

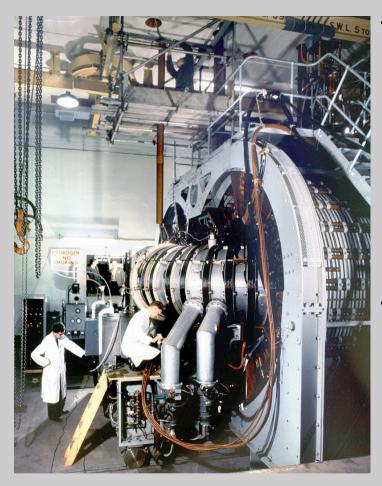
La conception de la machine ZETA commence à Harwell.





Déstabilisation du « pinch effect »

• 1957, l'annonce officielle de fusions réussies par ZETA!



- ZETA est la plus grosse machine à fusion mise en service à cette époque :
 - un tore de 3,2 m de diamètre externe pour 2 m, de diamètre interne ;
 - un électro-aimant d'induction de plus de 300 t, transférant une énergie de 500 000 J durant un flash de quelques ms;
 - grâce à ses bobines renforçant le confinement, la durée de stabilisation du plasma est accrue d'un facteur 1000, et se chiffre maintenant en ms;

- 30 août 1957:

- un flux de l'ordre de 1 million de neutrons est détecté lors d'une expérience où la température a atteint une valeur comprise entre 1 et 5 M°K; le modèle montre la possibilité de l'effet observé;
- le retentissement est mondial ; on promet une production industrielle d'électricité dans les 10 ans.
- partout des projets de dispositifs analogues à ZETA voient le jour et des machines sont mises en chantier... toujours plus grosses, toujours plus puissantes et plus coûteuses ;
- par exemple, la conception d'un ZETA II est lancée, capable de fournir 100 MJ au plasma!
- mars 1958 : deux nouvelles anéantissent tous les espoirs la résistance du plasma fait rapidement chuter son énergie interne et, pire, les neutrons observés provenaient de l'interaction du plasma avec la paroi du tore lors d'instabilités (cf. diapo précédente).
- jamais en manque d'imagination les physiciens russes I. Tamm et A. Sakharov imposent le concept de *tokamak* comme LE dispositif prometteur pour générer de l'énergie par fusion thermonucléaire. ZETA est abandonnée... et s'ouvre l'ère des *TOKAMAK*!

3. Fabriquer et confiner des plasmas ad-hoc

• les conditions de l'ignition... rien à voir avec le Soleil!

Nucléo-synthèse solaire*et dans les étoiles similaires								
Réactions	¥	V _e	e ⁺	Énergie (<u>MeV</u>)	Nucléo-synthèse			
¹ H + ¹ H → ² H + e ⁺ + v		1	1	0,42 (x 2)	² H			
e⁺+ e⁻ → 2 <u>γ</u>	2			1,022 (x 2)	<u>s. o.</u>			
² H + ¹ H → ³ He + γ	1			5,493 (x 2)	³He			
³ He + ³ He → ⁴ He + ¹ H + ¹ H				12,859	⁴He			
			Total	26,729				

Densité: 150 t/m³

Température : 15 M°K

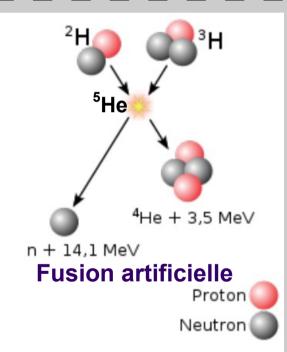
Probabilité de fusion :

~1 / Milliard d'années

Densité de puissance

du noyau: 30 W/m³

* Schéma pour 90% de l'énergie produite (+ 10% par le cycle Carbone-Azote-Oxygène)



Fusion nucléaire : un novau de

deutérium et un noyau de tritium

fusionnent en un noyau d'hélium.

Données pour ITER

Densité : ~6 x 10⁻⁶ kg/m³, soit 0,04 milliardième de celle régnant dans le noyau solaire ;

Température escomptée : 150 M°K, soit 10 fois celle régnant dans le noyau solaire ;

Densité de puissance escomptée : 0,6 MW/m³, soit 20 000 fois celle dans le noyau solaire ;

Puissance fournie aux auxiliaires : 50 MW, 10% de la puissance escomptée (au soleil : ZÉRO) ;

Mécanisme du transfert de l'énergie (radiatif dans le soleil) :

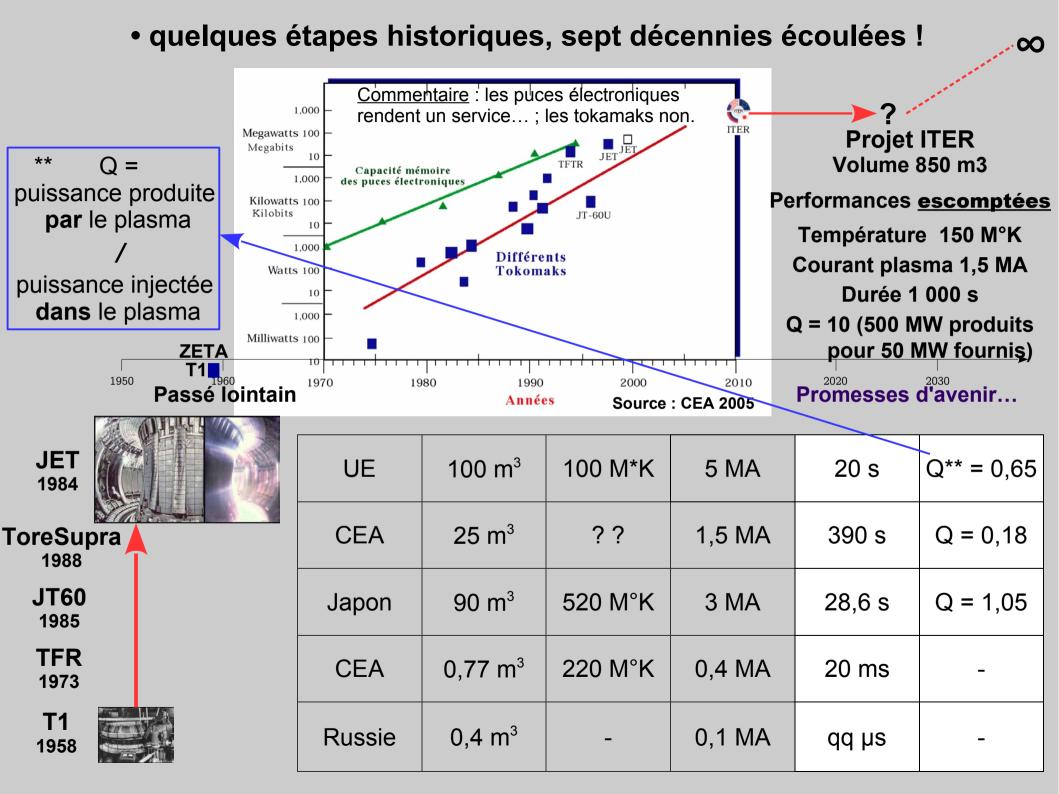
- celle de l'hélium maintient la température du plasma ;
- celle des neutrons est dissipée à l'extérieur du tore.

Régénération de ${}^{3}H$: ${}^{6}Li + n -> {}^{4}He + {}^{3}H + 4,8 \text{ MeV}$; ${}^{7}Li + n + 2,5 \text{ MeV} -> {}^{4}He + {}^{3}H$;

- "petit problème" : c'est insuffisant d'où le recours à 300 t

de Be (x de neutrons) dans les parois, sans garantie d'atteindre la complète régénération.

ITER = Soleil « man made » = propos de bonimenteur de foire...



• genèse des ITERs, un financement insuffisant... 2 substitué à 1... / 3

Calendrier détaillé à https://www.iter.org/fr/proj/itermilestones#1 >

- nov. 1985 : Gorbachov et Reagan tombe d'accord pour lancer le projet international d'un grand tokamak, démontrant la faisabilité de la production d 'énergie par fusion nucléaire. L'idée vient du physicien des plasmas E. Velikhov, ami et conseiller de Gorbachov.
- oct. 1986 : en marge du sommet USA-URSS de Rejkjavik, l'UE, l'URSS, les USA et le Japon décident de poursuivre les études d'un réacteur thermonucléaire international, ITER.
- avr. 1988 : début des études de conception au Max Planck Institut de Garching (RFA).
- déc. 1988 : début de campagnes expérimentales sur des machines existantes en vue de cerner les problèmes posés par les objectifs assignés à ITER (sur le T15 de Kurchatov).
- juil. 1992 : début des études d'ingénierie. Début du processus technocratique de distribution et de coordination des tâches.
- juin 1998 : le Conseil d'ITER avalise le design « définitif ».
- déc. 1998 : retrait des Etats-Unis au motif que le projet est hasardeux et trop cher. Mais quel projet ?
- juil. 2001 : « *Nouveau concept, nouvel élan* »...... Eh oui ! sans une seule ligne faisant référence aux dimensions et buts initiaux (1500 m³ et 1500 MW pour garantir Q = 10), la comm d'ITER se contente d'annoncer que le « *programme intègre des mesures de réduction des coûts* ». Le risque d'un échec scientifique est occulté : on proclame que l'engin réduit atteindra l'objectif assigné à une machine 2 fois plus grande : Q = 10 !
- 2003 : un financement est assuré, les opportunistes rappliquent, Corée du Sud, Chine ; les USA reviennent... la technarchie des physiciens respire : on a du boulot intéressant pour des dizaines d'années... et beaucoup d'argent. C'est bien l'essentiel !
- juin 2005 : la technarchie impose la suite : commencer les études de DEMO, un super-ITER conçu pour résoudre tous les problèmes de la production d'énergie par fusion. Un vrai exploit pour accroître encore plus l'accaparement de ressources publiques.

 COCORICO!! Contre les candidatures canadienne et japonaise, l'UE obtient Cadarache.
- nov. 2006 : accord signé. La joie inonde la technarchie. Tous les media partagent sa liesse.
- 2008 > 2021 : budget multiplié par 4... 10 ans de retard avant le début des essais, présenté comme « la mise en service » de l'installation. La saga continue... Alleluia !

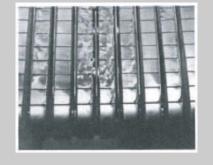
4. La question des disruptions

- un phénomène inévitable en l'état du savoir-faire
- l'origine des disruptions se trouve dans les phénomènes turbulents engendrés par l'instabilité intrinsèque du plasma ;
- description:
- « Les disruptions des plasmas de tokamak sont des phénomènes menant à la perte totale du confinement du plasma en quelques millisecondes. Elles peuvent provoquer des dégâts considérables sur les structures des machines, par des dépôts thermiques localisés, des forces de Laplace dans les structures et par la génération d'électrons de haute énergie dits découplés pouvant perforer les éléments internes. Leur évitement n'étant pas toujours possible, il apparaît nécessaire d'amoindrir leur conséquences, tout spécialement pour les futurs tokamaks dont la densité de puissance sera de un à deux ordres de grandeurs plus importante quand dans les machines actuelles. » (Introduction de la thèse de Cédric Reux Ecole Polytechnique-CEA, 2010)
- les pertes du confinement du plasma sont la cause de l'arrêt du fonctionnement du tokamak et, comme défini ci-dessus, si cette perte se produit inopinément et très rapidement, alors on a une disruption ;
- les disruptions et les dommages qu'elles sont susceptibles de provoquer mobilisent de nombreuses équipes de théoriciens et d'ingénieurs ; outre ces dommages, aurait-on la certitude d'en atténuer l'importance, ces disruptions rendraient intermittente la production d'énergie, un défaut majeur que l'on peut considérer comme rédhibitoire pour la viabilité économique d'une installation industrielle de grande puissance...

Ce défaut majeur est pudiquement passé sous silence par les « vendeurs » de la fusion aux décideurs politiques.

• plus grande la machine, plus grands les dommages

Dépôts thermiques localisés :



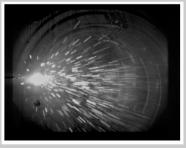
Fusion partielle d'un divertor en Beryllium de JET. (le Béryllium fond à 1 287 °C)

Action des forces de Laplace :



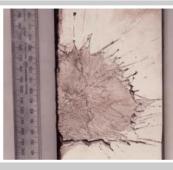
Déformation engendrée par courant induit : aiguille tordue d'un limiteur de Tore Supra.

Electrons de haute énergie :



Electrons découplés ; impact sur un Limiteur en carbone de Tore Supra

Dégâts

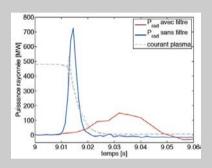


Limiteur interne de JET fondu par un faisceau d'électrons découplés

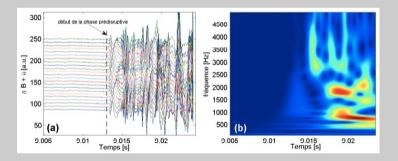
Les disruptions posent un défi impérieux... et obligent à un pari audacieux

• pas de modèle... Cédric Villani à la rescousse...

Les phénomènes à l'origine des disruptions sont complexes, hautement non linéaires, du fait de turbulences à plusieurs échelles de temps et d'espace. Ci-dessous, quelques exemples de mesures diverses caractérisant ces bifurcations catastrophiques du comportement du plasma.



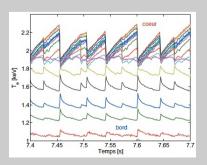
Puissance rayonnée durant la disruption, c'est-à-dire l'écroulement du courant dans le plasma. Noter la brièveté et la violence du phénomène moins de 10 ms avec un pic de 500 MW.



Analyse MHD d'une phase pré-disruptive du signal, enregistré dans les bobines poloïdales (autour du tore) :

- a) valeur initiale zéro et courbes décalées verticalement pour une meilleure lisibilité ;
- b) diagramme temps-fréquences correspondant.

Complément : oscillations de la température du plasma (noter les différences radiales).



Ces oscillations sont dues au mode de torsion des lignes de courant dans le plasma, un procédé magnétique imaginé pour compenser la source principale des instabilités : la forme torique du dispositif.

Les variations se mesurent en 0,1 keV, soit 1 000 000°K, ici dans Tore Supra.

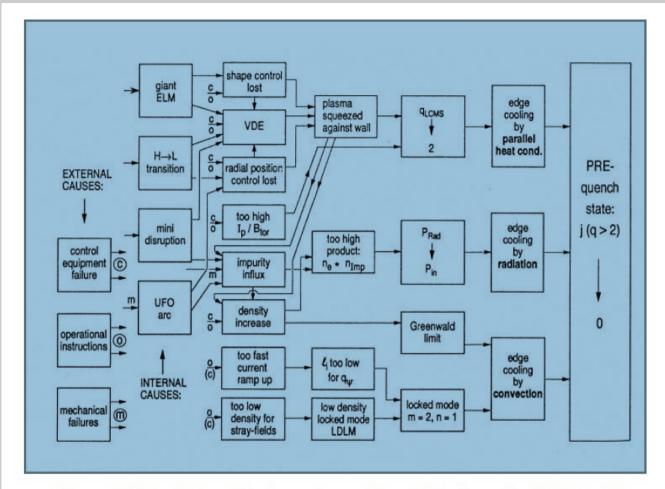


Figure 2.15 – Chaînes d'événements conduisant à la disruption.[Schuller 95]

Arbre des causalités à l'origine de la « trempe » (*Quench*) du plasma.

C'est une représentation d'ingénieur et cela n'a rien à voir avec un modèle théorique de nature physico-mathématique.

On ne peut pas contrôler la stabilité du plasma sans un modèle mathématique. D'où le recrutement de Cédric Villani, médaille Fields 2010.

Annonce en fanfare de l'embauche du génie par ITER Org. https://www.iter.org/newsline/144/388 ITER NEWSLINE 144

03 SEP, 2010

Print Return to Newsline #144

"MATH NOBEL" AT EXTREME THEORETICAL END OF ITER

Depuis : silence radio assourdissant sur l'apport de C. Villani.

• on fait comme si... on trouverait à temps une solution

De multiples types d'injection de gaz ont été expérimentés pour étaler la trempe du plasma dans le temp. Ces injections sont à réaliser préventivement dès que le premier signe précurseur d'une disruption est détecté. Quelques résultats ci-dessous.

Tokamak	a/R [m]	\mathbf{B}_{t} [T]	I_p [MA]	${\rm n}_e~[10^{19}m^{-3}]$	config.	P_{aux} [MW]	$\mathrm{E}_{th}/\mathrm{E}_{mag}[\mathrm{MJ}]$	Vanne	Espèces	N_{inj} [10 ²¹ at.]
JT-60U	0,9/3,3	3,5 - 3,7	0,85	3	divertor	0	0,3/≈ 3	Injecton lente	Ar, Kr, Xe, (+H ₂)	0,11 - 1,1
JET	1,25/2,96	3	1,5	?	limiteur, divertor	0	5/18	Injection lente	He,Ne,Ar	9,1
T-10	0,3/1,5	2,5	0,08 - 0,25	2,5 - 4,5	limiteur	0	?/<0,15	glaçons	KCl, Ti	0,005
JT-60	1/3,32	3,1 - 3,3	1,6 - 1,7	?	divertor	0	0,6/3,7	glaçons	Ne	0,5 - 2,1 (x3)
DIII-D	0,6/1,7	2,1	1,5	?	divertor	?	?/?	glaçons	Ne, Ar, $D_2+2\%$ Ne	0.28 - 0.68
ASDEX- Upgrade	0,5/1,6	?	0,4 - 0,8	?	divertor	0-9	0,05 - 0,5/≈ 1,5	glaçons	Ne, PE+60%Si, PE+72%Ti	0,17 - 0,9
TEXTOR	0,46/1,75	2,25	0,35	2	limiteur	0	0,04/0,3	vanne rapide	$\begin{array}{c} {\rm He,D_2,Ar,} \\ {\rm D_2+Ar} \end{array}$	0,8 - 20
Tore Supra	0,72/2,37	3,85	1,2	3	limiteur	0	0,3/3,3	vanne rapide	He	200
ASDEX- Upgrade	0,5/1,6	?	0,8 - 1	6 -10	divertor	2,6 - 20	0,2-0,8/1- 1,6	vanne rapide, vanne in-vessel	$\begin{array}{c} \text{He, Ne, Ar,} \\ \text{Ne+D}_2, \\ \text{Ar+D}_2 \end{array}$	<80
Alcator C-Mod	0,21/0,67	5,4	1	15-30	divertor	>0	0,11/065	vanne rapide	He, Ne, Ar, Kr	50-100
DIII-D	0,6/1,7	2,1	1,5	8	divertor	2-6	0,9/≈ 3	vanne rapide, vannes "Medusa"	H ₂ , D ₂ , Ne, Ar, He, 98%H ₂ + 2%Ar	< 40

Tableau 2.1 – Résumé des principales expériences d'injection massive de matière réalisées dans le monde. Les valeurs non connues sont indiquées par un point d'interrogation. Les expériences d'injection de gaz sur Tore Supra et JET qui seront décrites plus tard dans le présent manuscrit ne sont pas incluses dans le tableau.

Section 2.5 : Amortissement des disruptio

Il faut entretenir l'illusion qu'on progresse vraiment vers la solution

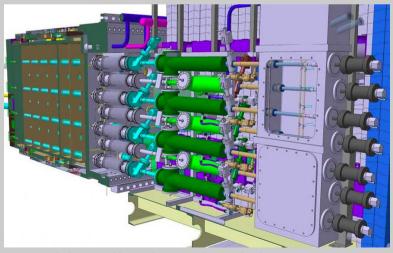
Plutôt que d'injecter du gaz, ce qui prend un peu de temps, on va tirer des capsules de glace dans le tore. Considéré comme un progrès majeur, l'expérience a fait l'objet d'une annonce en fanfare (l'article ne cite pas C. Villani....; la *Task Force* se passe de lui).

A task force to face the challenge

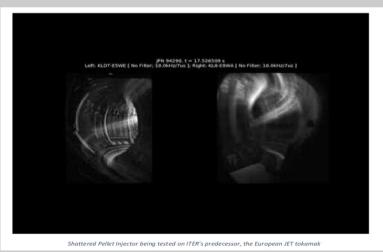
ITER Science Division

When operating tokamaks of the size of ITER, one of the key systems to ensuring reliable and successful operation from the very first campaign onward is the disruption mitigation system.

Preliminary layout of eight injectors in one-third of an equatorial port plug. The installation includes (from right to left) the propellant gas valve, the pellet cryostat, a pellet integrity monitor, the primary vacuum gate valve, and a bellows at the closure plate of the port plug for mechanical decoupling from the vacuum vessel. At the end of the flight tube inside the port plug, a bend will ensure breaking the pellet into fragments for better assimilation inside the plasma.



Vue d'artiste des injecteurs



Injection d'un glaçon de ²H dans JET

5. L'Histoire jugera : une escroquerie désirée ?

Aucun responsable politique digne de ce nom ne saurait mettre en cause ITER et le consortium international qui porte le programme. Il est possible que, sous-dimensionné, ITER n'atteigne pas ses objectifs. Ce sera une affaire de présentation. Faisons confiance à la technarchie : elle fera valoir mille bonne raisons de poursuivre l'aventure en raison des connaissance fantastiques apportées par ITER. Les problèmes non vraiment résolus avec les prédécesseurs d'ITER n'ont pas empêché de lancer le programme alors que la discipline balbutiait ses gammes. DEMO est déjà sur toutes les lèvres, dans tous les Esprits et décrit dans de luxieuses brochures promettant la Lune.

La convergence des soutiens renforce d'idée reçue qu'on va réussir. La fusion sera une ressource d'avenir, comme les surgénérateurs dans les années 1960-1980...

Un scénario « fin de Superphénix » est possible, mais peu probable car la matière est si complexe et les promesses si alléchantes qu'obtenir un débat rationnel, même après dix ans d'échecs, relève de l'illusion, de la pense magique.

Ci-dessous, la phrase conclusive d'un FAQ d'ITER Organisation, une sorte d'oxymore en regard du temps minimum requis pour produire efficacement de l'énergie à partir de la fusion (sous l'hypothèse optimiste de la faisabilité). Ce qui est « durable » : la demande de financement public pour continuer à faire joujou.

L'énergie est l'une des préoccupations majeures du 21ème siècle. Toute source d'énergie potentiellement durable doit être développée le plus rapidement possible.

http://www.itercad.org/question_12.php

Annexe : extraits d'une contribution des sciences sociales éclairées

Maîtriser la fusion nucléaire ? Le dossier scientif que et technique, aperçus.

Pour atteindre ses objectifs, l'ITER sera deux fois plus grand que le plus grand tokamak existant – JET [faux, il est presque 9 fois plus grand, NDA], le tore européen installé au Royaume-Uni – et il est prévu que ses capacités de fusion soient plusieurs fois supérieures. L'ITER sera capable de générer 500 millions de Watts (500 MW) de puissance de fusion, en continu pendant 10 minutes. Il sera trente fois plus puissant que JET et très proche de la taille des futurs réacteurs commerciaux.

(...)

En conclusion, la collaboration internationale a permis de démontrer la faisabilité des hypothèses théoriques sur la fusion thermonucléaire contrôlée magnétiquement. Mais il reste à accomplir de très importantes avancées scientif ques et techniques pour atteindre la mise en exploitation industrielle d'un premier réacteur et en démontrer l'intérêt économique. Avant de le réaliser, les recherches tant fondamentales que technologiques qui devront être développées nécessiteront des moyens humains et f nanciers considérables. Ceci ne peut se concevoir que dans le cadre d'une coopération internationale de longue haleine capable de faire de la fusion atomique une source d'énergie de base, durable et à grande échelle. [plus que jamais, « l'ineptie c'est de conclure... », G. Flaubert, NDA]

Commentaire:

le mot <u>disruption</u> n'apparaît pas dans ce texte d'une universitaire respectable : la preuve de l'intoxication générale des élites par la technarchie des physiciens. Le fait qu'ITER soit en fait sous-dimensionné a échappé aux recherches documentaires des auteures.

Publié le 08/02/2013

Auteures : Sylviane Tabarly, professeure agrégée de géographie, responsable éditoriale de Géoconf luences de 2002 à 2012 - Dgesco et École normale supérieure de Lyon, avec la collaboration de : Catherine Simand Vernin

http://geoconf luences.ens-lyon.fr/doc/territ/FranceMut/popup/lter1.htm

Quelques références utiles pour suivre le dossier

- 1. Roger Raynal, Les voies de la fusion, Revue d'Exobiologie, 2005, http://www.exobiologie.info/articles/page10/page10.html> pour comprendre les bases ;
- 2. Cédric Reux, *Etude d'une méthode d'amortissement des disruptions d'un plasma de tokamak*, Ecole Polytechnique, 2010,
 - https://pastel.archives-ouvertes.fr/file/index/docid/599210/filename/Manuscrit Reux final.pdf;
- 3. Andrew Thornton, *The impact of transient mitigation schemes on the MAST edge plasma*, University of York, Department of Physics, 2011, https://www.semanticscholar.org/paper/The-impact-of-transient-mitigation-schemes-on-the-Thornton/e9369fa7baef03d0348074d8724195f5d7f6824f;
- 4. ITER Organisation, "Math Nobel" at Extreme Theoretical End of ITER, 09/2010, https://www.iter.org/fr/newsline/144/388 annonce du recrutement du génie français (résultat ?...);
- 5. Wikipedia, Fusion nucléaire, https://fr.wikipedia.org/wiki/Fusion_nucléaire, voir notamment le tableau au chapitre « Etat d'avancement des projets », antidote contre les rêves ; et https://fr.wikipedia.org/wiki/Tokamak, comprendre comment le dispositif limite l'instabilité ;
- 6. Daniel Oberhaus, *Que sont devenus nos projets de fusion nucléaire* ?, Motherboard Tech by VICE, 2017,
 - https://www.vice.com/fr/article/7x4w7y/que-sont-devenus-nos-projets-de-fusion-nucleaire, un article représentatif de la propagande du lobby des physiciens par un journaliste scientiste (l'intérêt tient au récit des visites dans les principales installations, et aux déclarations des chefs de projet);
- 7. Tamás Szabolics, One of the key technologies for the first power plant-sized fusion reactor to be tested at the Centre for Energy Research, 2020, https://www.ek-cer.hu/en/2020/11/27/one-of-the-key-technologies-for-the-first-power-plant-sized-fusion-reactor-to-be-tested-at-the-centre-for-energy-research/, un bricolage anti-disruption de +.
- 8. The ITER ORGANISATION, <www.iter.org/org >, la communication de la « Mégamachine ».