

## Axe de réflexion sur la compréhension du phénomène initiateur du craquage dans le réacteur Pentone

Salut à tous

Comme on ne se connaît pas, je suis un ingénieur en mécanique et système fluide INSA Toulouse 97. Je construis des avions. Ça fait vivre ma famille.

Il y a trois semaines si on m'avait posé la question qui est Mr Pentone, je lui aurais répondu un carrossier préparateur de voiture. Bertone quoi !!

Tout ça pour vous dire que je n'ai jamais de près ou de loin vu un réacteur Pentone et que pour le moment j'essaie d'assimiler le maximum d'infos, d'observation afin d'analyser pour comprendre ou aider à comprendre tout ça.

Justement, je vous propose un premier axe de réflexion sur la compréhension du « phénomène ». Et comme toutes les idées sont bonnes, pourquoi pas celle là!!

Notre ami André a constaté que le réacteur Pentone ne fonctionne plus si on lui envoie de la vapeur d'eau surchauffée (vapeur d'eau à  $T^{\circ} > 100^{\circ}\text{C}$ ).

Je pense que cette observation peut nous en apprendre beaucoup et peut être le point de départ de tout.

Si on analyse les théories de la thermodynamique et les courbes de MOLLIER de la vapeur d'eau, il apparaît que pour de la vapeur surchauffée (vapeur sèche en état gazeux) la courbe d'enthalpie est quasi verticale en condition isobare. L'enthalpie caractérisant la capacité d'absorption de chaleur de la phase, cela signifie que notre vapeur surchauffée va absorber la chaleur fournie par les gaz d'échappement sans changement d'état. Car

si on est quasi vertical sur les courbes de Mollier c'est que la variation d'entropie est faible ou nulle d'où à la sortie du réacteur de la vapeur d'eau très chaude (observé par André je crois ??). Et c'est pas ce que l'on veut faire chauffer de la vapeur d'eau ??

### Il faut éviter la vapeur sèche

Nous ce que l'on cherche c'est foutre le bordel autrement dit on cherche augmenter entropie car chaque changement d'état de la matière passe une augmentation de l'entropie. C'est pas moi qui l'ai dit. C'est les scientifiques.

Par exemple, lorsque le fluide devient gaz, il y a augmentation de l'entropie et les molécules se désorganisent, s'agitent, s'écartent, se rentre dedans, c'est du gaz.

L'entropie caractérise la dé-organisation de la matière.

Dans le cas, de la vapeur humide (vapeur d'eau saturée ou partiellement saturée dont la température est inférieure à 100°C), nous sommes encore dans les conditions de changement d'état et donc de variation entropie. Dans la vapeur humide, il reste encore des microgoutellettes d'où une capacité à pouvoir évoluer encore vers l'état de vapeur sèche si on continu à chauffer.

Avec la vapeur humide si on fait un apport supplémentaire de chaleur il va se passer des choses.

Ca c'est intéressant !

Que va t-il se passer c'est là que réside sûrement le secret du Pentone.

Utiliser un état de matière susceptible d'évoluer par apport de chaleur

L'évolution que peut avoir cette vapeur humide par apport de chaleur va se traduire par des micro-ébullitions des microgoutelletes jusqu'à obtenir de la vapeur sèche.

Mais c'est pas ce que l'on veut. Donc il doit se passer quelque chose d'autre, une rupture. Ce que l'on appelle une non-linéarité du phénomène telle que peut l'être le passage du mur du son par exemple.

C'est là que je vais entrer dans le domaine de l'hypothétique car je ne ai pas tout vérifié encore.

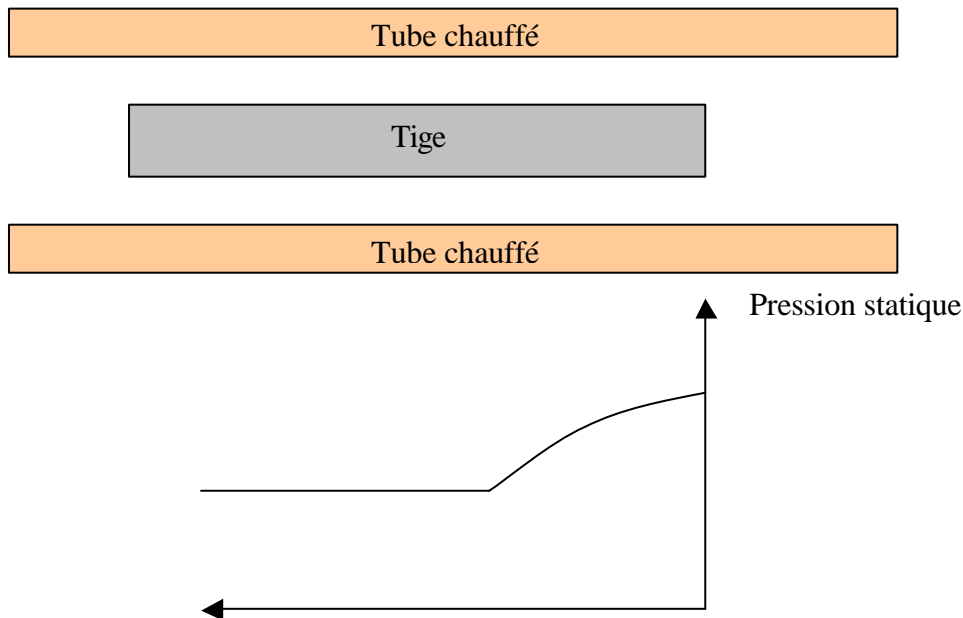
On a donc de la vapeur avec des micro-goutelletes et du gaz qui entre dans un tube de réacteur chaud, espace confiné avec une accélération importante pour atteindre des vitesses importantes.

Pour moi le seul changement d'état qui peut se produire encore doit être le facteur déclenchant de la nonlinéarité que l'on cherche. Et ce changement d'état c'est la vaporisation rapide des microgoutelletes présentent dans la vapeur humide.

On sait que la vaporisation est un phénomène qui dépend de la température et de la pression.

### Variation de pression dans le réacteur :

Du fait de la vitesse la pression statique dans réacteur va diminuer plus ça avance dans le cœur du réacteur jusqu'à une valeur de régime établi

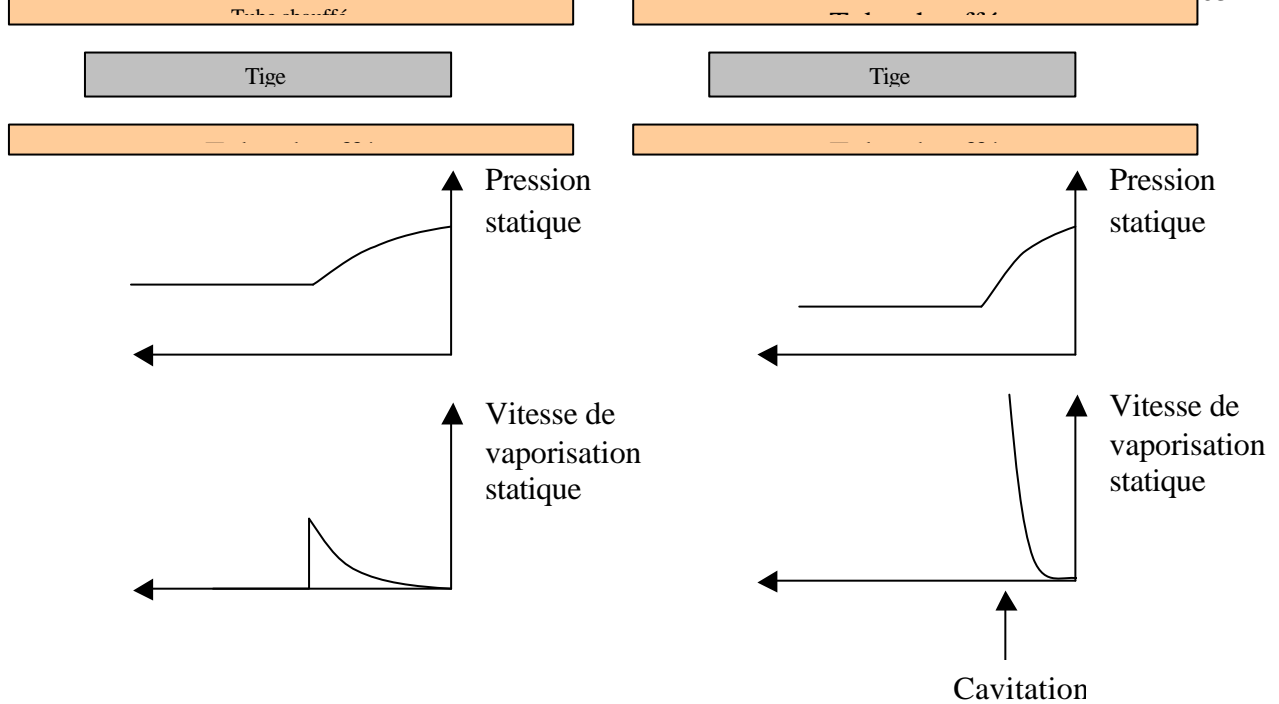


### Vaporisation :

Comme le phénomène de vaporisation augmente si la pression diminue, la vitesse de vaporisation va augmenter en fonction de la baisse de pression statique.

A mon avis la valeur de la variation de pression est la dérivée de la vitesse de vaporisation.

Plus vite la pression baisse, plus vite la vaporisation se produit. Si la variation de pression est parabolique, la vitesse de vaporisation est hyperbolique. Et la ça s'emballe. Au bout d'un moment, la vitesse de vaporisation atteint un seuil au-delà du quel ça ne peut plus augmenter. Il se produit alors un phénomène très connu qui tend à maintenir la valeur de la pression à la valeur de la pression tensorielle du fluide. Des cavités de vite partiel ou total se créent. C'est la cavitation.



On a donc des poches de gaz soumis à un vide partiel qui par frottements importants s'arrache des électrons.

La, on n'est pas loin des conditions d'initiation d'un plasma froid !!! J'y connais rien en plasma. C'est peut être des conneries

Je connais très bien le phénomène de cavitation qui détériore les pompes hydrauliques (des avions entre autres) si la ligne d'aspiration est mal dimensionnée sur les circuits hydrauliques. Des micro- bulles de vide se créent quand localement la valeur de la pression est inférieure à la valeur de la pression tensorielle du fluide.

Ce phénomène pourrait être l'initiateur de la création du plasma ou des micro-plasmas dans lequel ou lesquels les molécules seraient cassées.

**Hypothèse : la micro-cavitation initialise la casse moléculaire ou la création d'un plasma**

**A vérifier maintenant !!**

**Les axes qui me viennent à première vue :**

- **Chercher des sujets de recherche ou thèses sur les vaporisations rapides**
- **vérifier la théorie sur la création de micro-cavitation ou vide partiel par vaporisation rapide**
- **influence du vide ou vide partiel (très faible pression) sur la création d'un plasma froid d'ionisation (a priori la création des plasmas dépend de la température et de la pression)**

## Rappel sur l'Ébullition

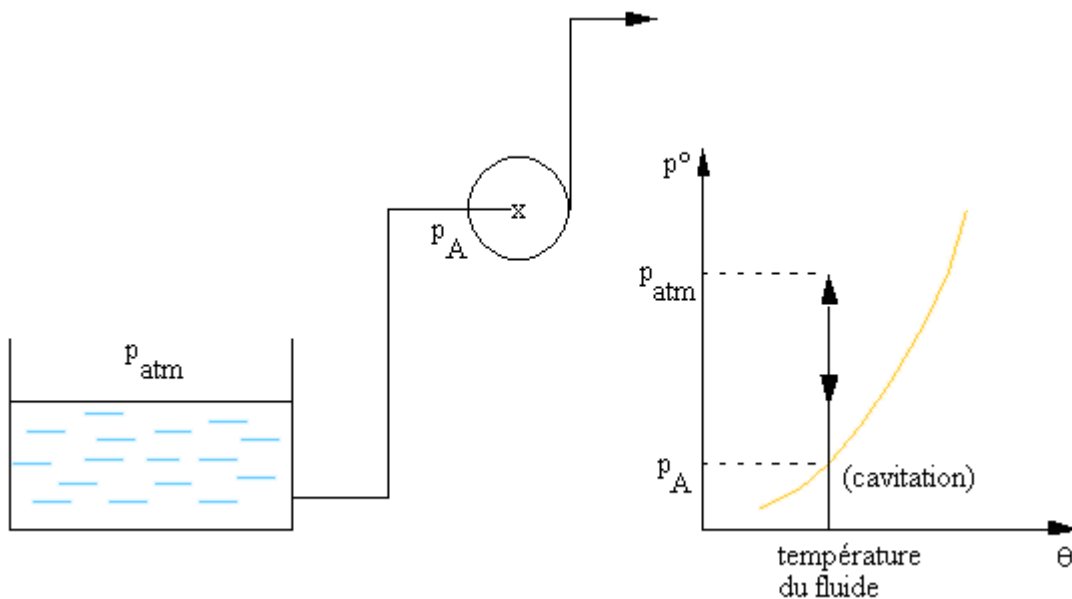
Pour bien comprendre le phénomène d'ébullition, il faut retenir la *propriété* suivante des *liquides*.

Un liquide se met à bouillir lorsque la pression qui le surmonte est égale à sa pression de vapeur saturante.

**Conséquence :**

**La courbe de tension de vapeur donne également la correspondance pression-température d'ébullition.**

Considérons par **exemple** une cuve ouverte à l'atmosphère et contenant un liquide. Le liquide est aspiré par une pompe dont l'axe est situé au-dessus de la surface libre du liquide.



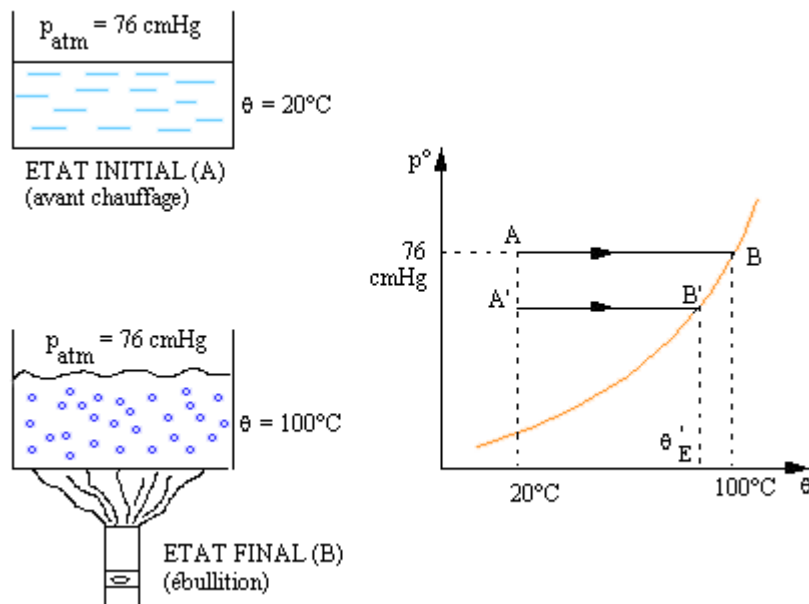
On montre, en Mécanique des Fluides, que la pression  $p_A$  à l'orifice d'aspiration de la pompe est bien inférieure à la pression atmosphérique.

Elle peut même atteindre dans certaines conditions la tension de vapeur du liquide provoquant ainsi une vaporisation partielle et la formation de bulles de vapeur.

*La pompe cavite* et peut être détériorée.

Une autre manière d'atteindre la courbe de vaporisation consiste à élever la température du liquide.

Chauffons par exemple, à pression constante, de l'eau dans un récipient :



Le point représentatif de l'état de l'eau se déplace ainsi sur une horizontale ( $p = 76 \text{ cm}$  de mercure) au fur et à mesure que la température de l'eau augmente. Il arrive un moment où le point représentatif atteint la courbe de tension de vapeur. Il se produit alors une vaporisation rapide de l'eau avec formation de bulles de vapeur au sein du liquide : **c'est l'ébullition**.

Recommençons l'expérience au sommet d'une montagne, où la pression atmosphérique est inférieure à 76 cm de mercure.

On part de A' pour aboutir au point B' qui correspond à une température d'ébullition  $TE'$  inférieure à  $100^\circ\text{C}$ .

Ainsi l'eau bout à une température d'autant plus basse que l'altitude est plus élevée. Au sommet du Mont-Blanc, où la pression est voisine de **45 cm de mercure**, l'eau bout vers  **$85^\circ\text{C}$**  Inversement, sous une pression de **100 bars**, l'eau bout à  **$310^\circ\text{C}$** .

Applications :

**Chauffage d'un liquide en vase clos Autoclave**

Un autoclave est un récipient métallique hermétiquement clos et à parois très résistantes.

Lorsqu'on chauffe un liquide dans un autoclave, la pression à l'intérieur est égale à la pression de vapeur saturante du liquide augmentée de la pression de l'air enfermé. La pression supportée par le liquide est donc toujours supérieure à la pression maximale de vapeur. **Par suite, l'ébullition du liquide est impossible.**

Or, la pression de la vapeur saturante augmente très rapidement avec la température.

Si on continuait à chauffer en maintenant le récipient fermé, il ne tarderait pas à exploser. Pour écarter ce danger, les autoclaves sont toujours munis d'une soupape de sûreté qui limite la pression intérieure

**Générateur de vapeur**



Dans un générateur de vapeur, le liquide est en équilibre avec sa vapeur saturée de pression  $p^{\circ}$ . La température étant maintenue constante, l'ébullition ne peut avoir lieu que si l'on prélève de la vapeur : il se vaporise ainsi une quantité d'eau telle que la pression reste constante. La vaporisation s'arrête dès que le prélèvement est stoppé.

Si la température a tendance à augmenter progressivement, malgré un prélèvement de vapeur, la pression a également tendance à croître et même à atteindre une limite dangereuse.

Dans le cas où le mélange eau et vapeur saturée se trouve dans une enceinte où la température n'est pas uniforme, il se produit une circulation de vapeur allant des parties chaudes vers les parties froides, d'où une certaine condensation. C'est le cas par exemple lors du refroidissement d'un générateur de vapeur, ou du remplissage en eau de certains tubes de vapeur, en particulier lorsque les registres d'air ou de fumée sont mal fermés (refroidissement venant de l'extérieur).

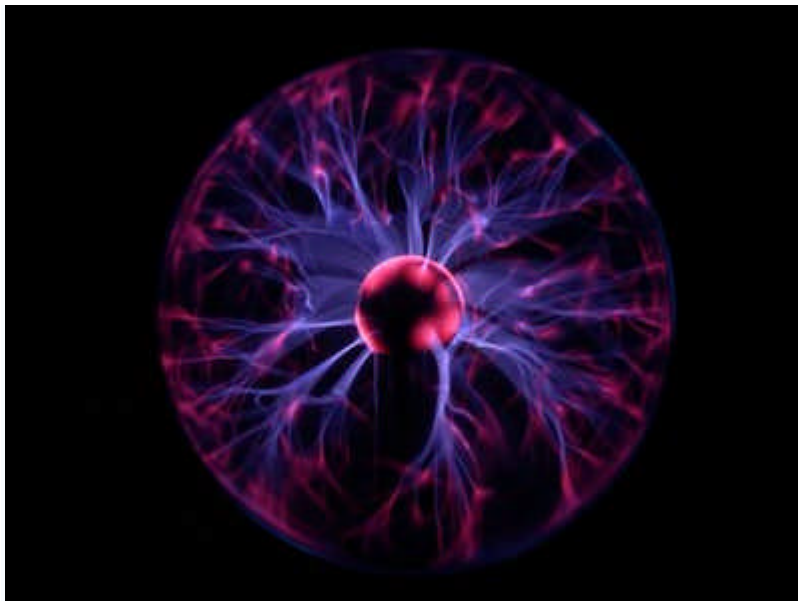
# PHYSIQUE DES PLASMAS

Issu d'une [racine grecque](#) signifiant « chose qui ne sert à rien » (même racine que le mot *plastique*), le mot **plasma** a différentes définitions, selon les domaines de la science dans lesquels il est utilisé.

[\[modifier\]](#)

## Physique

---



Lampe Plasma Photo Luc Viatour

En physique, le **plasma** décrit un des états de la matière (autre que [solide](#), [liquide](#), [gaz](#), [condensat de Bose-Einstein](#), [condensat fermionique](#)). C'est un milieu constitué de particules neutres, d'[ions](#) et d'[électrons](#).

La transformation de gaz vers plasma (gaz ionisé) ne s'effectue pas à [température](#) constante pour une [pression](#) donnée, avec une [chaleur latente](#) de changement d'état, comme pour les autres états, mais il s'agit d'une transformation progressive.

Lorsqu'on chauffe un gaz suffisamment, les [électrons](#) des couches extérieures peuvent être arrachés lors des collisions entre particules, ce qui forme le plasma.

Globalement neutre, la présence de particules chargées donne naissance à des comportements inexistant dans les fluides, en présence d'un [champ](#)

[électromagnétique](#) par exemple. Un plasma peut également se former à basse température si la source d'ionisation lui est extérieure. C'est le cas de l'[ionosphère](#), cette couche élevée de l'atmosphère terrestre qui, bien que froide, subit en permanence un intense bombardement ionisant de particules venant du soleil. Les [aurores polaires](#) sont l'une des manifestations de ce plasma.

Cet état est le plus représenté dans l'[univers](#), dans les [étoiles](#), le [milieu interstellaire](#) et aussi l'[ionosphère](#) terrestre (99%). À une autre échelle, on trouve également des plasmas dans les tubes fluorescents (improprement appelés néons), les [propulseurs spatiaux](#) et ils sont couramment utilisés dans l'industrie notamment en micro-électronique.

## Physique des plasmas

Un article de Wikipédia, l'encyclopédie libre.



Cet article concernant la [science](#) fait partie de la série [physique](#)

*Bases*

[Histoire](#) - [Théorie](#)

## Introduction

La **physique des plasmas** est une branche particulière de la physique qui étudie les propriétés, la dynamique des plasmas et leurs applications. Ce n'est pas à proprement parler un domaine de la physique à part entière. La physique des

plasmas s'inspire et approfondit les concepts fondamentaux des autres disciplines ([physique atomique](#), [physique quantique](#), [physique statistique](#)...) pour l'adapter au problème compliqué par nature de l'étude d'une assemblée disparate de particules chargées ou non : un plasma.

[\[modifier\]](#)

## Qu'est ce qu'un plasma ?

---

Le plasma est un gaz (ou un solide) qui a été soumis à la quantité d'énergie suffisante pour dissocier les [électrons](#) de leurs [atomes](#) (phénomène d'[ionisation](#)). Comme ces particules sont chargées, le plasma se comporte de manière différente d'un gaz (ou d'un solide) neutre en présence de champs électriques et/ou magnétiques. Les plasmas peuvent être de nature très différente, leurs propriétés également, ainsi que les théories et les modèles décrivant chaque nature de plasmas.

Le plasma est aussi nommé « quatrième état de la matière » (avec les états solide, liquide et gazeux). Historiquement le terme « plasma » a été utilisé en physique pour la première fois par le physicien américain [Irving Langmuir](#) en 1928 en analogie au [plasma sanguin](#) auquel le phénomène ressemblait visuellement. À l'origine un plasma désignait un gaz entièrement ionisé globalement neutre. Puis, on a étendu la définition aux plasmas partiellement ionisés, dans lesquels les proportions de particules chargées sont suffisantes pour que leur comportement diffère d'un gaz neutre. Puis, la physique des plasmas s'est intéressée à la dynamique des faisceaux d'électrons, de [protons](#), d'[ions](#) lourds : des plasmas non neutres. Aujourd'hui, on parle de plasma lorsque la matière que l'on observe contient beaucoup de particules disparates qui peuvent interagir entre elles et avec l'environnement de milliers de façons : c'est une soupe d'électrons, cations, anions, atomes neutres, clusters, agrégats. Les théoriciens s'intéressent même aux plasmas de [quarks](#).

[\[modifier\]](#)

## Exemples

---

Les plasmas sont extrêmement répandus dans l'univers puisqu'ils constituent plus de 99% de la matière connue. Par contre dans notre environnement proche : « la

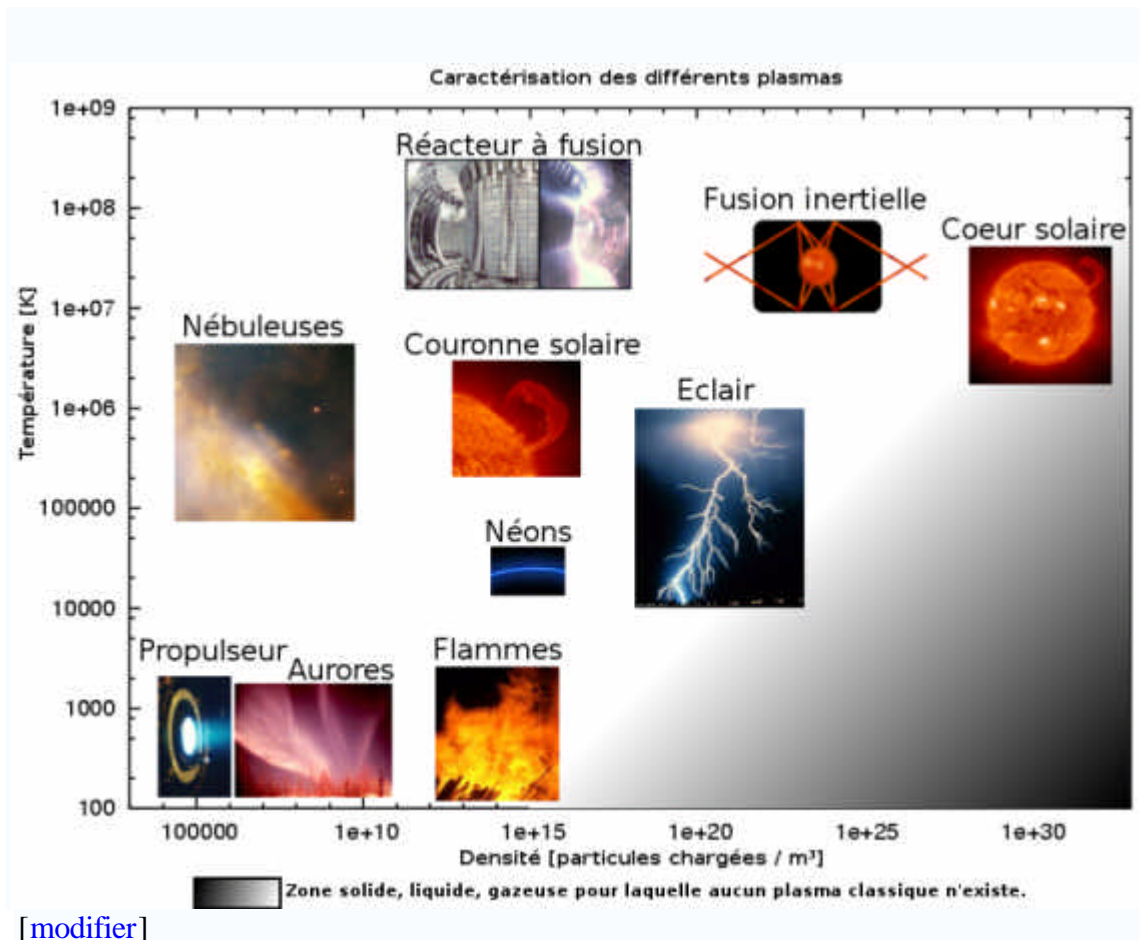
Terre » ils passent presque inaperçus puisque leurs conditions d'apparition sont très éloignées des conditions nécessaires aux besoins de la vie terrestre.

Ainsi on distingue les plasmas naturels :

- les [étoiles](#), nébuleuses gazeuses, quasar, pulsar ;
- les [aurores boréales](#) ;
- les [éclair](#) ;
- l'[ioniosphère](#) ;
- le [vent solaire](#)

et les plasmas industriels :

- les [décharges](#), ou tube à décharges (lampes, écrans, torche de découpe, production de rayon X) ;
- les plasmas de traitement pour dépôt, gravure, modification de surface ou dopage par implantation ionique ;
- la [propulsion par plasmas](#) ;
- la [fusion nucléaire](#) (voir aussi [Tokamak](#)) ;
- et de nombreuses autres applications qui ne sont encore que des expériences de laboratoire ou des prototypes ([radar](#), amélioration de combustion, traitement des [déchets](#), stérilisation etc.).



## La physique

Comme un plasma est une assemblée de particules différentes en interaction, il est de manière générale difficile de le caractériser. Supposons que le plasma contienne X espèces, incluant les différents états de charge d'un même [atome](#) (ou molécule ou agrégat ...), il faut pour complètement le décrire, étudier l'évolution de la [densité](#), de la [température](#), de la fonction de distribution dans l'espace et en vitesse de chaque espèce, au cours de toutes les réactions [chimiques](#), [nucléaires](#), ou [collisions](#) qui peuvent avoir lieu. C'est une tâche quasiment impossible, car même si on peut écrire des équations reliant toutes ces données, il est souvent impossible de les résoudre, même numériquement avec les moyens informatiques actuels.

Pour simplifier, dès le départ, le(s) problème(s), on répartit les plasmas en plusieurs catégories. Dans chaque catégorie les plasmas vont avoir un certain type de comportement propre. Pour construire ces catégories, il faut définir différents paramètres comme suit.

[\[modifier\]](#)

### Température des espèces

---

Un plasma, du fait qu'il contient des espèces ionisées, contient aussi des [électrons](#) (par neutralité globale du plasma, exception faite des faisceaux de particules). Les électrons ont une masse 2000 fois plus faible que les [ions](#) (le rapport masse du [proton](#) ou du [neutron](#) sur masse de l'[électron](#) vaut plus exactement 1836), ils ont donc moins d'[inertie](#) et sont plus « réactifs ». Il est donc plus facile de donner de l'énergie aux électrons qu'aux espèces plus lourdes : les ions. On va différencier alors les plasmas dans lesquels :

- seulement les électrons ont acquis assez d'énergie pour effectuer des réactions (essentiellement chimiques). Ce sont les « plasmas froids ».
- les ions sont également énergétiques pour influencer le comportement du plasma. Ce sont les « plasmas chauds ».

Pourquoi cette dénomination ? En physique des plasmas, on mesure l'[énergie cinétique](#) des électrons ou des ions par leur [température](#) (comme en [physique](#)

statistique :  $E \sim k_B T$ , où  $k_B$  est la constante de Boltzmann). Cette dénomination fait référence à l'énergie des ions.

- Dans le cas des « plasmas froids », la température (l'énergie) des électrons est très supérieure à celle des ions  $T_i \ll T_e$ . Les ions sont considérés comme « froids », non réactifs.
- Dans les plasmas chauds, les ions sont « chauds », réactifs.

Cette différenciation scientifique est également culturelle :

- les plasmas froids peuvent être étudiés en laboratoire. Les scientifiques ont alors construit un savoir-faire expérimental, actuellement largement appliqué dans les industries (gravure, dépôt...).
- les plasmas chauds demandent plus d'énergie pour leur création, et donc les installations qui les produisent sont moins nombreuses (car plus coûteuses...) et donc moins accessibles. Le savoir-faire qui s'est développé est essentiellement théorique, donc plus fondamental.

[[modifier](#)]

## Autres caractérisations

Pour caractériser les plasmas et les phénomènes liés on utilise différentes notions :

- Le degré d'ionisation  $\alpha$  :

$$\alpha = \frac{n_e}{n_e + n_n} \text{ avec } n_e \text{ densité électronique et } n_n \text{ densité de neutre.}$$

Si  $\alpha \ll 1$  alors le plasma sera dit « faiblement » ionisé et si  $\alpha \approx 1$  alors il est dit « fortement » ionisé.

Si on rapproche le degré d'ionisation des interactions particulières on pourra aussi classifier selon les mêmes catégories :

Un gaz faiblement ionisé a des fréquences de collision électron-neutre supérieures aux fréquences de collision électron-ion ou électron-électron.

On utilisera la notation usuelle :  $\nu_{e0} \gg \nu_{ee}, \nu_{ei}$

Pour un gaz fortement ionisé on aura alors :  $\nu_{e0} < \nu_{ee}, \nu_{ei}$

- Le paramètre plasma  $\Gamma$  :

$$\Gamma \approx \frac{\langle E_p \rangle}{\langle E_c \rangle} \approx \frac{e^2 n^{\frac{1}{3}}}{\epsilon_0 k T}$$

$\langle E_p \rangle$  représente l'énergie potentielle moyenne liée aux interactions coulombiennes

$\langle E_c \rangle$  représente l'énergie cinétique moyenne liée à l'agitation thermique

si  $\Gamma < 1$  le plasma est faiblement corrélé : il est dit « cinétique »

si  $G > 1$  le plasma est fortement corrélé.

[\[modifier\]](#)

## Concepts fondamentaux

---

- La notion de *quasi-neutralité*

Un plasma sous l'effet des forces de [Coulomb](#) ( $F=qE$ ) et de [Laplace](#) ( $F = qv \times B$ ), comme tout système dynamique, tend vers une position d'[équilibre](#) en minimisant ses forces. On voit rapidement qu'une égalité  $Zn_i + n_e = 0$  permet d'atteindre cette stabilité. Seulement cette équation prise tel quelle ne permet pas de résoudre les [équations de Maxwell](#) correctement.

$$\frac{n_e - Zn_i}{n_e + Zn_i} \ll 1$$

On considérera alors par exemple le rapport  $\frac{n_e - Zn_i}{n_e + Zn_i}$ . En fait les études sur les plasmas portent souvent sur des perturbations d'une grandeurs moyenne. Par exemple si on considère la densité moyenne d'électron  $\bar{n}_e$ . Une perturbation de cette densité sera  $n_e$  alors le plasma sera caractérisé par une densité électronique  $\bar{n}_e + n_e$ . On posera souvent comme hypothèse  $\bar{n}_e \gg n_e$ .

- L'écrantage électrique, notion de gaine et frontière d'un plasma

Pour se représenter une gaine on va étudier un plasma un peu particulier :

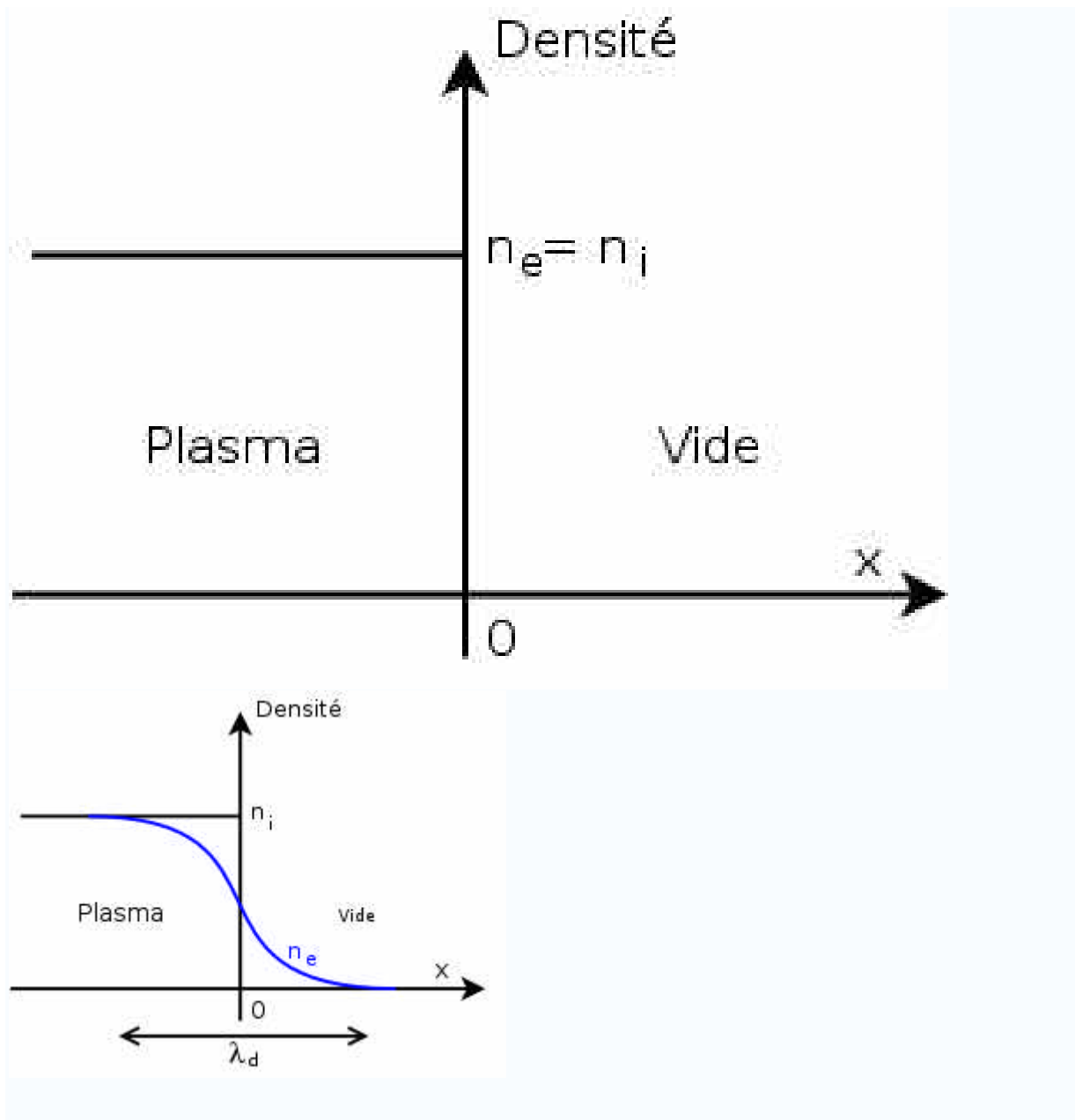
- il sera monodimensionnel (selon x);
- à l'instant  $t=0$ , pour les  $x < 0$  on a un plasma à l'équilibre  $n_e = n_i$
- pour les  $x > 0$  on aura le vide.

La frontière « vide-plasma » est donc un [plan perpendiculaire](#) à l'axe (Ox).

Pour  $t > 0$  la situation va évoluer via l'agitation thermique des électrons (dans de nombreux cas on considère les mouvements des ions négligeables devant ceux des électrons, on supposera alors les ions comme fixes).

L'agitation thermique tend à étaler la distribution d'électrons mais elle est contre-balançée par les forces [électrostatiques](#) qui tendent à la neutralité. On va donc obtenir une distribution électronique approchant la courbe bleu sur le second schéma. Cette distribution est appelée gaine électronique et on peut démontrer qu'elle a une taille de l'ordre de la [longueur de Debye](#)  $\lambda_D$ .





- La [longueur de Debye](#)

L'écrantage électrique défini précédemment nous permet d'identifier la longueur de Debye : c'est l'échelle de longueur au dessous de laquelle il peut y avoir une séparation de charge et au dessus de laquelle le plasma retrouve sa neutralité.

$$\lambda_D = \sqrt{\frac{\epsilon_0 k T}{n e^2}}$$

- Perturbation d'un plasma

- La [fréquence de Langmuir](#) ou fréquence plasma

Quand on perturbe un plasma à l'équilibre, les électrons vont se mettre à osciller avec

$$\omega_p = \sqrt{\frac{n_0 e^2}{\epsilon_0 m_e}}$$

une certaine fréquence :

[\[modifier\]](#)

## Les ordres de grandeurs

Les différents plasmas		
Dénomination	Densité électronique[en $m^{-3}$ ]	Température électronique [K]
Faiblement ionisé		
Ionosphère (couche basse)	$10^{-3}$	$10^{2.5}$
Décharge dans les gaz	$10^5 - 10^9$	$10^4 - 10^5$
Fortement ionisé		
Ionosphère (couche haute)	1	$10^3$
Couronne solaire	$10^1$	$10^{6.5}$
<a href="#">Fusion magnétique</a>	$10^8$	$10^7$
<a href="#">Fusion inertielle</a>	$10^{13}$	$10^5$
Dense		
Cœur d'étoile	$10^{21}$	$10^{7.5}$
Naine blanche	$10^{26}$	$10^7$

[\[modifier\]](#)

## Traitement mathématiques

Un traitement liquide commun des plasmas vient d'une combinaison de [équations de Navier-Stokes](#) de la [dynamique des fluides](#) et les [équations de Maxwell](#) de l'[électromagnétisme](#). De l'ensemble des équations résulte ce que l'on appelle la [magnétohydrodynamique](#) (ou MHD).

[\[modifier\]](#)

## Les champs de recherche et d'applications

- Équilibre et stabilité des plasmas

C'est un problème majeur notamment pour toutes les recherches où un confinement est nécessaire comme pour la fusion.

- Diagnostic & Simulation

Les diagnostics expérimentaux et la simulation numérique sont deux outils indispensables aux plasmiciens. La simulation numérique des plasmas est très gourmande en puissance machine de par la complexité des interactions à traiter. Actuellement les codes de calcul sont essentiellement des codes 1D ou 2D particuliers, 2D et 3D fluides. De nombreux codes sont des codes hybrides.

- [Fusion nucléaire](#) :
  - [Fusion par confinement magnétique](#) ;
  - [Fusion par confinement inertiel](#).
- [Source de plasma](#) :
  - Plasmas de décharges ;
  - Plasma CCP ;
  - Plasma [ICP \(analyse chimique par torche à plasma\)](#) ;
  - Source ECR ;
  - Source Hélicon.
- Interactions du plasma avec les ondes et les faisceaux :
  - Interaction laser-plasmas.
- [Plasmas industriels](#) :
  - Plasma de dépôt et gravure ;

Actuellement c'est le domaine le plus développé du point de vue industriel. Les plasmas sont utilisés pour la gravure des microprocesseurs et autres composants. Le dépôt intervient lui aussi en microélectronique associé étroitement à la gravure. Mais il est utilisé aussi dans des technologies liées aux couches minces, dans d'autres domaines comme l'optique ou pour l'ajout de couches de protections en métallurgie. (miroir, etc.)

- - Plasma pour implantation ionique ;

Utilisés en microélectronique, ces traitements permettent de modifier la surface de cibles immergées dans le plasma afin de rendre les matériaux biocompatibles, résistants à la corrosion ou d'une plus grande dureté selon le traitement mais surtout de réaliser des dopages pour jonction de surface (ultra-shallow doping) dans l'industrie des semi-conducteurs.

- - Traitement des déchets.
- Physique des plasmas naturels
  - [Astrophysique](#) :

La physique des plasmas est importante en astrophysique car de nombreux objets astronomiques comme les [étoiles](#), les [disques d'accrétion](#), les [nébuleuses](#), et le [milieu interstellaire](#) sont composés de plasma.

- - Environnement planétaire: La [magnétosphère](#) est dense en plasma