

LE NOUVEAU DÉFI DES OVNI

HYPOTHÈSES ET RÉPONSES DES SCIENTIFIQUES

par Jean-Pierre Petit, chercheur au CNRS

NOTE DE LECTURE

Le livre « Le Nouveau Défi des OVNI » de J.C. Bourret, initialement paru aux éditions France-Empire en 1976 (aujourd'hui épuisé), a été rédigé par différents auteurs et est composé de deux parties :

– *Première partie* : « *Les rapports des gendarmes* »

– *Deuxième partie* : « *Hypothèses et première réponses des scientifiques* »

Dans cette seconde partie, J.P. Petit a rédigé un chapitre de vulgarisation sur la propulsion magnétohydrodynamique (MHD) suivi d'une annexe scientifique, présentés ici au lecteur.

Ce document a été rédigé en 1976 et ne comporte donc pas la description de certaines idées et avancées ultérieures dans le domaine.

Prologue

Quatre professeurs étaient un jour réunis. La conversation portait sur les OVNI.

Dogmaticus ouvrit le débat :

— N'en déplaise à Mordicus, qui prône l'avis contraire, je soutiens que les OVNI n'existent pas, et que ce sont des hallucinations collectives. Tout le prouve. Tenez, par exemple : ces engins, nous dit-on, peuvent croiser dans les basses couches de l'atmosphère à des vitesses folles, à 5, 10, 20 000 kilomètres à l'heure, et ceci dans un silence absolu. Tout ceci est du dernier ridicule, une véritable offense à la raison. Lorsqu'un objet volant se déplace dans l'air à vitesse supersonique, il est bien connu qu'il crée une puissante onde de choc, qui ne saurait passer inaperçue !

Mordicus haussa les épaules.

— Vous êtes médiéval, mon cher. Que sont nos misérables connaissances scientifiques au regard des « leurs » ? Qui vous dit qu'« ils » n'utilisent pas une « autre physique » ? Le fait que notre planète soit visitée depuis longtemps est pour moi une évidence indiscutable. Tout le prouve. Comment voulez-vous que nous, pauvres hommes du vingtième siècle, soyons à même de percer le secret de « leur » technique et de comprendre « leurs » motivations. Mon cher, tout ceci nous dépasse de cent coudées.

Pendant cet affrontement, Dialectus avait gardé le regard fixé vers un point de la carte céleste, de la constellation des Poissons, comme s'il attendait à voir émerger de ce champ d'étoiles quelque signe susceptible de l'éclairer. Il intervint à son tour :

— Les OVNI, très chers collègues, ils sont en nous. Le Soleil, la Lune, sont des disques célestes. Depuis l'aube de l'humanité ces formes sommeillent dans la pénombre de notre inconscient collectif. Nous vivons de plus une crise de

civilisation. Notre époque est comparable à l'an mille. Face à une crise économique, sociale, démographique, écologique, que fait l'homme ? Il guette les signes salvateurs venant du ciel. Il les guette, il les souhaite ardemment, et il les redoute également, sans en être vraiment conscient. Au dixième siècle les gens auraient vu des anges, les épées flamboyantes du jugement dernier. Nous, nous voyons des soucoupes. Les OVNI sont un habillage archétypique des angoisses humaines.

Alors Pragmaticus dit:

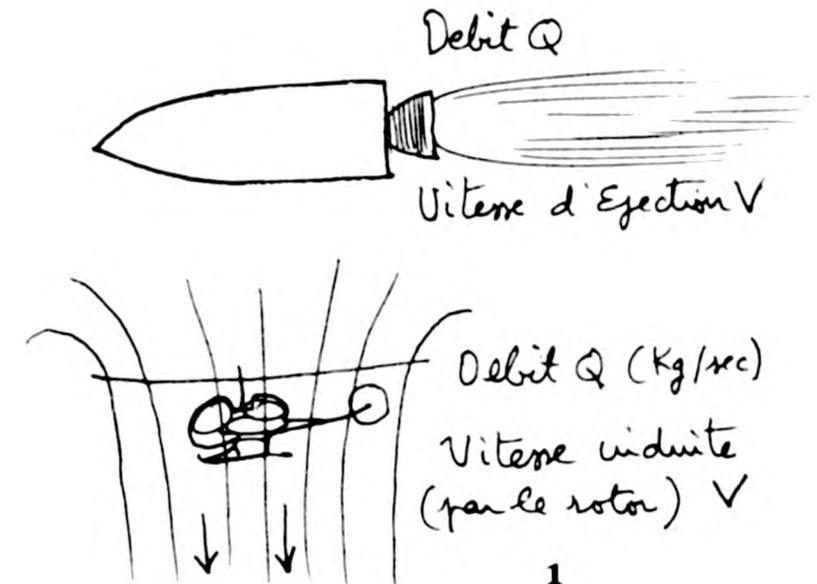
— Les roues à rayons sont peut-être des symboles solaires, mais si on en fixe deux suivant leur axe sur un cadre tubulaire, cela finit par faire un véhicule assez commode, somme toute. Remettons, voulez-vous, cette polémique à plus tard. Que diriez-vous de mettre nos modestes connaissances en commun afin de voir, par exemple, si on ne pourrait pas imaginer des véhicules pouvant se déplacer à vitesse supersonique sans créer d'onde de choc.

Dogmaticus haussa les épaules. Mordicus décréta que de toute façon, il était fallacieux d'essayer de comprendre. Dialecticus décréta que c'était un très joli fantasme, sans trouver toutefois un lien suffisamment évident avec les théories de Freud et Young. Alors Pragmaticus prit son crayon et se mit à réfléchir.

La magnétohydrodynamique.

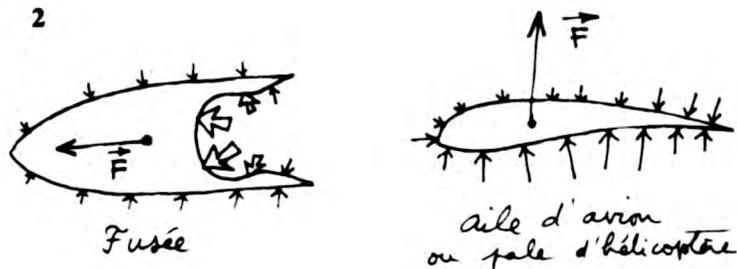
Nous allons étudier, dans ce qui va suivre, des machines volantes qui seront basées exclusivement sur les principes de la mécanique classique. Les engins volants : avion, hélicoptère, fusée, se meuvent, se sustentent, parce qu'ils impriment continuellement un mouvement à une masse fluide, que cette masse soit défléchie par l'aile de l'avion, brassée par le rotor de l'hélicoptère ou éjectée par la tuyère de la fusée. Quel que

soit le système en question, à chaque seconde, une masse Q de gaz se trouve accélérée à une vitesse V , ou plus exactement acquiert une quantité de vitesse V . Q est le débit-masse de fluide. Dans le cas de la fusée c'est le débit du gaz qui sort de la tuyère, accéléré à la vitesse V . Dans le cas de l'hélicoptère, c'est la masse d'air qui, à chaque seconde, traverse le disque du rotor. Voir illustration 1.



Le principe de l'action et de la réaction nous dit que l'engin doit subir en contrepartie une force, égale et opposée à l'impulsion qu'il communique au fluide. Le débit étant Q , la vitesse induite V , cette force est tout simplement $Q \times V$. Comment cette force va-t-elle se concrétiser ? Dans le cas de la fusée, ou de l'aile de l'avion, ou de la pale de l'hélicoptère, ce sera très simple: un certain champ de pression règne sur toute la surface de l'appareil en contact avec le fluide, et la

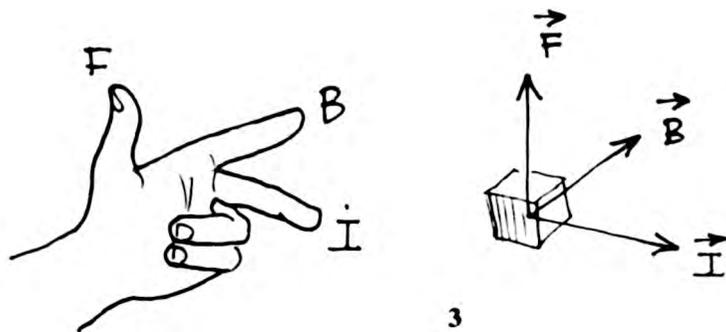
résultante de ces forces de pression F , n'est pas nulle. Cette résultante s'appelle la poussée. Voir illustration 2.



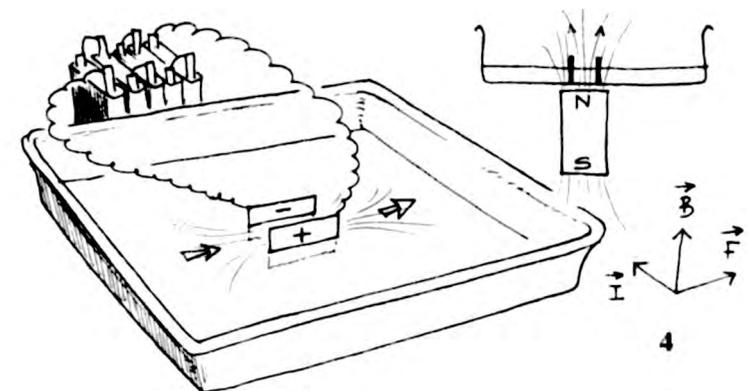
La composante verticale de cette force s'appellera la portance. Si celle-ci est supérieure au poids de l'appareil, le vol deviendra possible.

Nous allons envisager d'agir sur le fluide ambiant par voie électromagnétique, ceci en utilisant les forces de Lorentz.

Supposons qu'un élément de fluide soit traversé par un courant électrique I et que les lignes de ce courant électrique soient perpendiculaires aux lignes de force d'un champ magnétique B . Les lois de l'électrodynamique nous disent que cet élément fluide subira alors une force F , égale en intensité au produit $I \times B$, telle que l'ensemble des trois vecteurs I , B , F obéisse à ce qu'on appelle la règle des trois doigts. Voir illustration 3.

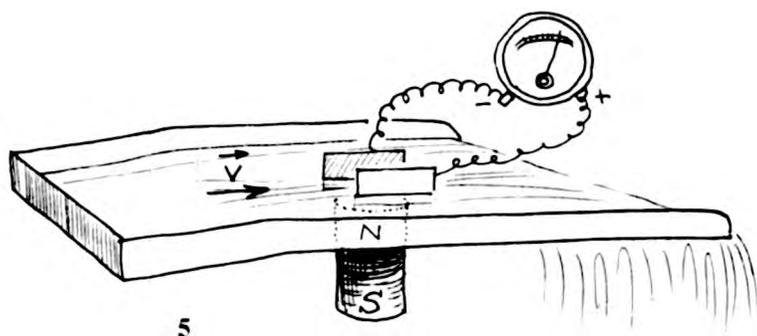


Je vous suggère de faire l'expérience suivante : prenez une cuvette en plastique contenant un peu d'eau salée ou acidulée (ceci pour la rendre plus conductrice du courant électrique). Sous la cuvette disposez un barreau aimanté de manière à créer un champ magnétique vertical en un point du liquide. La hauteur d'eau étant de l'ordre du centimètre, disposez deux petites plaquettes métalliques, en les fixant au fond de la cuvette, de manière qu'elles soient parallèles et qu'il subsiste entre elles une distance de l'ordre du centimètre. Voyez l'illustration numéro 4. Connectez maintenant ces plaquettes à un générateur de courant continu donnant une vingtaine de volts (par exemple un ensemble de quatre piles de lampe de poche montées en série). Un courant électrique va circuler dans l'eau, allant d'une électrode à l'autre. Suivant cette règle des trois doigts, les forces de Lorentz vont pomper l'eau de la cuvette. Vous pourrez visualiser cet écoulement facilement, en mettant une matière quelconque en suspension dans l'eau, un colorant par exemple. Vous aurez réalisé ainsi un accélérateur magnétohydrodynamique.



Vous savez qu'un moteur électrique, qui produit une force en consommant du courant, peut inversement se transformer

en générateur, c'est-à-dire transformer de l'énergie mécanique en énergie électrique. Ainsi, si vous faites maintenant s'écouler l'eau entre les électrodes, en maintenant en position votre aimant, vous pourrez, en branchant un galvanomètre aux bornes des électrodes, constater le passage d'un courant. Si V est la vitesse d'écoulement du fluide et B l'intensité du champ magnétique, la force électromotrice de ce générateur « MHD » d'électricité sera tout simplement $V \times B$. Voir illustration 5.



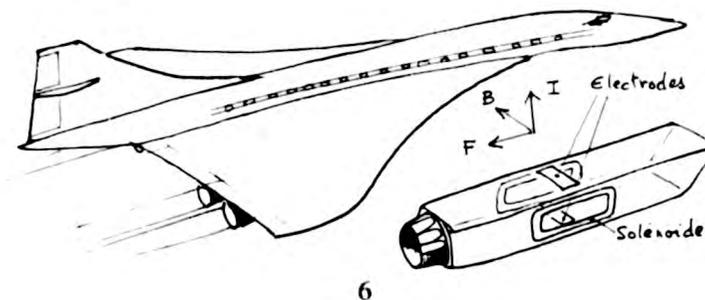
C'est Faraday qui fit le premier cette expérience. Il utilisa comme fluide conducteur le mouvement d'eau saumâtre qui accompagnait la marée dans l'estuaire d'un fleuve. Le champ magnétique était tout simplement le champ terrestre.

Avec ces deux idées de base : production de courant électrique à partir du mouvement et production d'un mouvement à partir de courant nous allons faire ensemble de la magnétohydrodynamique.

Un « Concorde » électrique.

Les réacteurs du Concorde totalisent une poussée de quelques 20 tonnes, ce qui fait $20\ 000 \times 10 = 20\ 0000$ newtons. Les gaz éjectés sont accélérés à une vitesse de quelque 1 000 mètres

par seconde. La puissance correspondante est donc de $F \times V = 20\ 0000 \times 1\ 000 = 200\ 000\ 000$ watts ou 200 mégawatts. L'équivalent de cent mille radiateurs d'appartement. Pourrait-on faire voler Concorde à l'électricité ? Oui, si on disposait d'un moteur produisant autant d'énergie qu'une centrale thermique, mais dont le poids ne dépasserait pas quelques dizaines de tonnes. Il suffirait alors d'enlever les réacteurs et de les remplacer par des ensembles de bobinages et d'électrodes. Les solénoïdes, que l'on plaquerait de chaque côté des fuseaux moteurs, vidés de leur contenu, devraient créer un champ magnétique transversal de quelques dizaines de milliers de gauss. Il faudrait une tension de 20 000 volts pour faire passer un courant de l'ordre du millier d'ampères à travers le gaz transitant dans l'accélérateur. Et Concorde volerait, sans pollution. Voir illustration 6.

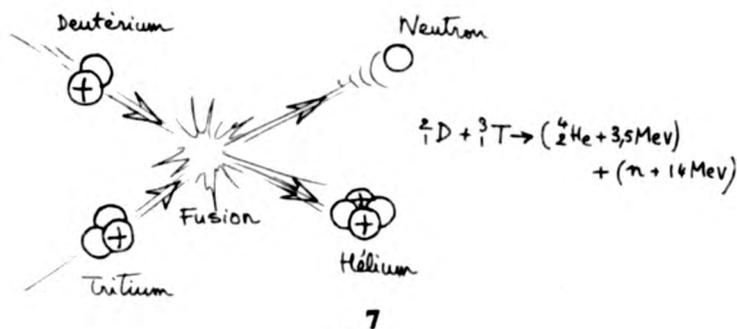


Au fond, avec de l'électricité et un peu de savoir-faire, on pourrait faire voler n'importe quoi : un fer à repasser ou un piano à queue. Mais cette électricité, comment la produire ?

La fusion contrôlée.

Depuis pas mal d'années une armée de chercheurs tente, de par le monde, de réaliser un des plus importants rêves

humains : créer une source généreuse et inépuisable d'énergie. L'idée, on la connaît. Lorsqu'on comprime et que l'on chauffe très fortement de l'hydrogène lourd, deutérium ou tritium, les atomes, du fait de la violente agitation thermique, peuvent fusionner et donner de l'hélium. La réaction de fusion la plus « payante » s'effectue entre un atome de deutérium et un atome de tritium. Le schéma de la réaction est décrit sur la figure 7.

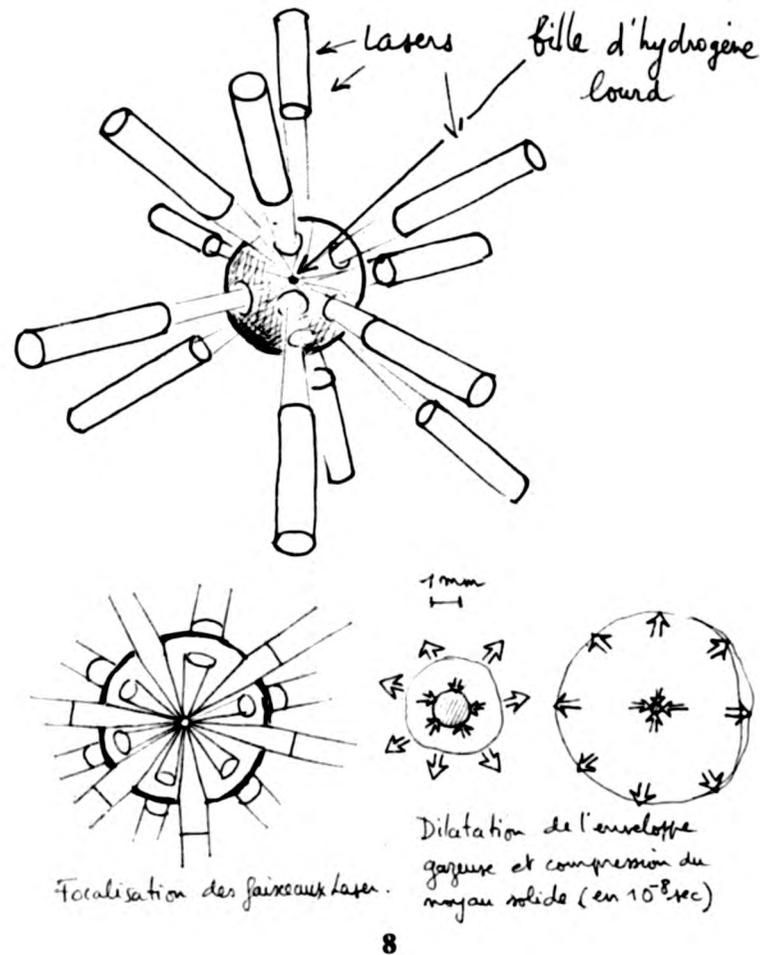


La température de ce mélange d'hydrogène lourd doit atteindre un seuil critique de cent millions de degrés Kelvin pour que puissent s'amorcer les premières réactions. Cette température n'est pas le seul paramètre dont dépend le succès. On montre que la fusion ne peut apparaître que si le produit de la densité d'atomes par le temps de confinement (temps pendant lequel on parvient à maintenir le mélange dans cet état très chaud et très dense) est au moins égal au « nombre de Lawson ». Si cette densité est exprimée en nombre d'atomes par centimètre cube et ce temps en secondes, le nombre de Lawson vaut 10^{14} .

La première expérience de fusion réussie, vous la connaissez, c'est la bombe H. Dans ce cas c'est une bombe A qui fournit l'énergie de départ. Ainsi, jusqu'à présent, cette belle énergie

va se perdre dans l'atmosphère. Vis-à-vis de la fusion, nous sommes dans la situation de gens qui auraient commencé par inventer les explosifs avant d'inventer le feu. Depuis des dizaines d'années, donc, on cherche à faire brûler calmement cette dynamite qu'est l'hydrogène lourd. La forte température est un écueil considérable. Impossible de contenir une telle substance dans un récipient matériel. On utilise pour ce faire des « bouteilles magnétiques », où l'on tente d'emprisonner des atomes, chauffés par le passage d'un très fort courant électrique, de l'ordre du million d'ampères. Dans les machines de ce genre les plus perfectionnées, les Tokamak, le temps de confinement doit atteindre une seconde. Bien que cette formule soit prometteuse, le temps de confinement obtenu actuellement dans les Tokamak les plus performants est inférieur d'un facteur 30 au seuil, tandis que la température est inférieure d'un facteur 10 à la température d'ignition.

Il existe une deuxième façon, assez originale, d'approcher les conditions de la fusion, c'est le confinement inertiel. Imaginez une enceinte sphérique où on a fait le vide. Par un orifice supérieur tombe une petite bille d'hydrogène lourd à l'état solide, c'est-à-dire à très basse température. Lorsque la bille, dont le diamètre n'excède pas un millimètre, parvient au centre géométrique du système, elle reçoit l'énergie délivrée par douze lasers extrêmement puissants. Cette énergie est appliquée en deux temps. D'abord ce flux d'énergie crée autour de la bille une petite atmosphère d'hydrogène lourd gazeux. Puis l'essentiel de la puissance des lasers est donné, ce qui correspond à 10^{10} à 10^{11} watts. Cette énergie lumineuse est captée par cette atmosphère gazeuse, entourant la bille solide. Celle-ci se détend alors très violemment, à la fois vers l'extérieur et vers l'intérieur. Voir figure 8.



La petite sphère solide se trouve ainsi comprimée à une pression fantastique : 10^{12} atmosphères : un million de millions de fois la pression atmosphérique. Cet artifice permet de

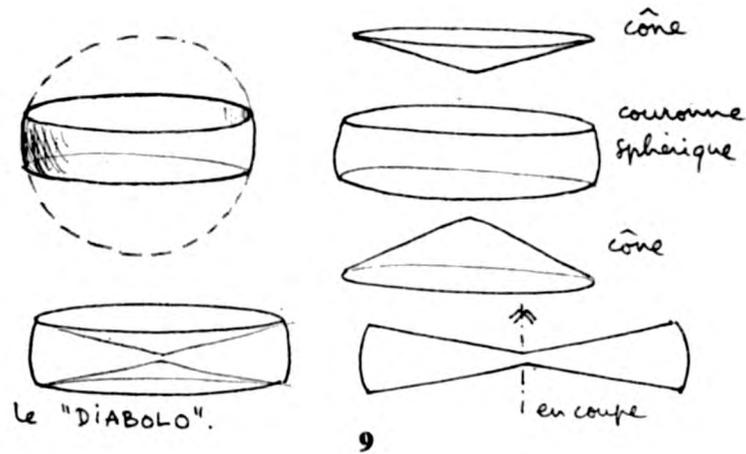
réduire les dimensions de la bille d'un facteur 10, donc de multiplier par mille la densité d'atomes qui passe à 10^{26} par centimètre cube. Dans les machines du genre Tokamak cette densité n'est que de 10^{14} atomes par centimètre cube. Pour une même température de cent millions de degrés, nécessaire pour assurer l'ignition, on voit, en appliquant le critère de Lawson, que le temps de confinement, au lieu d'être d'une seconde, ne doit plus être que de 10^{-12} seconde. D'après les calculs, effectués sur ordinateur, les atomes d'hydrogène lourd de ce noyau central devraient rester dans cet état supercomprimé, par simple effet d'inertie, pendant un temps suffisamment long pour que les réactions de fusion démarrent. En somme, c'est une véritable petite bombe H en miniature que l'on fait exploser dans cette machine. Pour plus de détails je renvoie les lecteurs intéressés à l'article de Emmett, Nuckolls et Wood, paru en 1974 dans *Scientific American*. En provoquant ainsi la fusion d'une centaine de petites billes à chaque seconde, on pense obtenir une puissance produite de l'ordre de 1 000 mégawatts.

La fusion MHD ?

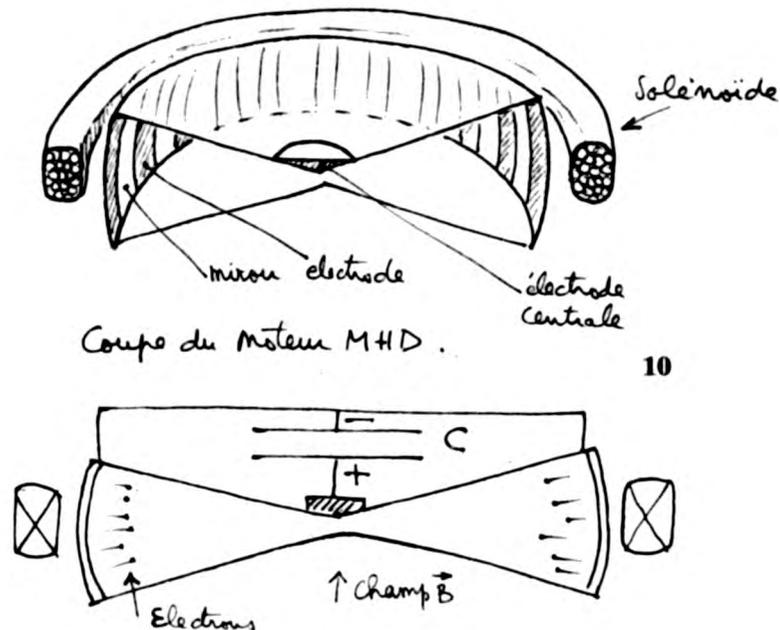
Nous allons présenter ici une variante de ce procédé de fusion par confinement inertiel. Il s'agit d'une idée qui est encore très grossière, et qui nécessiterait des études théoriques et des calculs très poussés sur ordinateur.

Notre moteur aura la forme d'un « Diabolo ». La première paroi est une couronne sphérique. Elle est complétée par deux cônes, disposés en opposition. Tout ceci est représenté sur l'illustration 9.

Sur la face interne de la couronne sphérique on dispose une alternance de miroirs et d'électrodes. Au sommet de l'un des cônes se trouve une autre électrode plot.

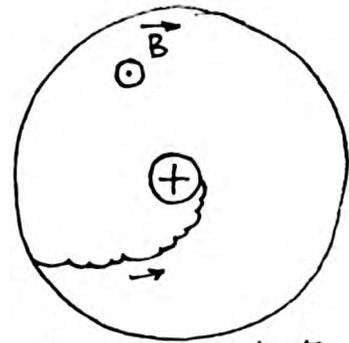


L'ensemble de l'appareil est ceinturé par un solénoïde créant un fort champ magnétique axial. Voir figure 10.



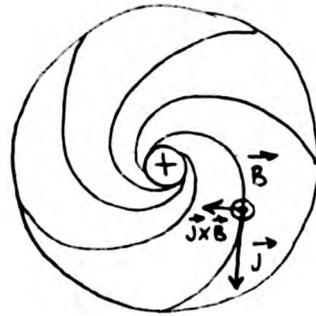
L'électrode centrale et les électrodes de la couronne sont reliées à un condensateur C pouvant supporter une tension de plusieurs centaines de milliers de volts. La cavité-diabolo est emplie du mélange deutérium-tritium, sous une pression subatmosphérique. Diamètre d'un tel moteur : un mètre, épaisseur : une vingtaine de centimètres. Les polarités sont indiquées sur le schéma 10. On commence donc par créer une décharge électrique dans le mélange. Les électrons vont cheminer à l'inverse du courant, c'est-à-dire des cathodes de la couronne vers l'anode centrale. Or ce cheminement s'effectue en présence d'un fort champ magnétique transversal B, qui est ici dirigé suivant l'axe du système. Les électrons vont donc prendre une trajectoire en forme de spirale. Mais ces électrons entrent très fréquemment en collision avec les atomes du mélange. En moyenne, chaque collision annule pratiquement le mouvement de progression des électrons, dans le champ électrique de quelques centaines de milliers de volts par mètre. L'électron est de nouveau accéléré puis subit un nouveau choc, et ainsi de suite. Il existe une trajectoire moyenne. Indiquée sur l'illustration 11, et qui a aussi une forme de spirale :

Ceci s'appelle l'effet Hall, bien connu des spécialistes de la physique des plasmas, c'est-à-dire des gaz ionisés. Sur la figure 11 nous avons supposé que le champ magnétique était dirigé vers le lecteur. Reprenons notre règle des trois doigts. Le vecteur courant électrique est tangent à la spirale qui matérialise cette trajectoire moyenne des électrons. Le champ magnétique est axial. On voit que la force de Lorentz, si cet effet Hall est accentué, est proche de la direction radiale, et qu'elle est centripète. Le passage du courant va donc créer une compression du gaz vers le centre du système. Des calculs de dégrossissage conduisent à des valeurs du champ magnétique de l'ordre de cent mille à un million de gauss. Le courant pourrait être de plusieurs centaines de milliers d'ampères.

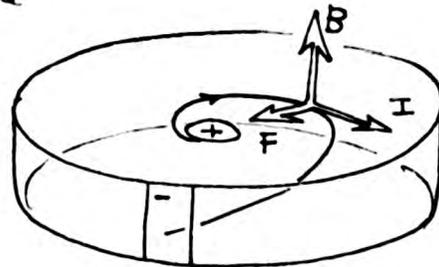


trajectoire schématique de l'électron, de la cathode à l'anode

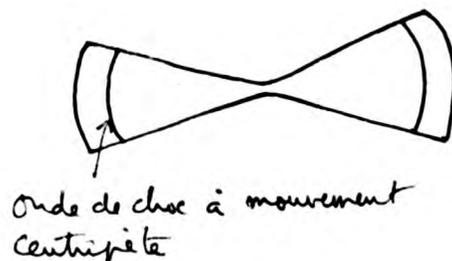
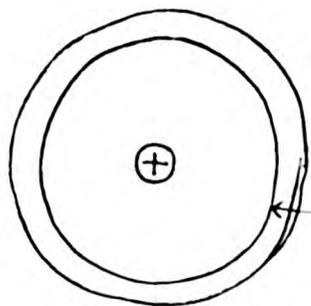
champ B
Courant I et
Force de Lorentz F



11



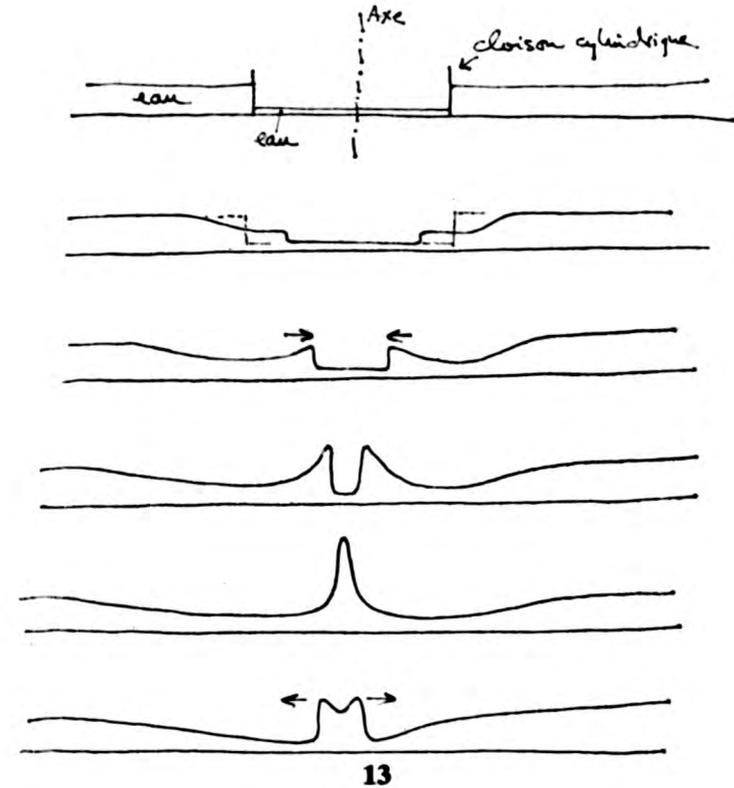
Ces valeurs conduisent à des forces de compression très grandes, suffisantes pour créer une onde de choc à forme sphérique, qui prendrait naissance à la paroi de la couronne sphérique. Cette onde de choc chemine alors vers le centre géométrique du système, en mettant le fluide en mouvement dans cette direction. Voir figure 12.



onde de choc à mouvement centripète

12

Le courant et le champ magnétique ne seraient appliqués que pendant une microseconde (un millionième de seconde). L'énergie accumulée dans l'onde de choc se focaliserait ensuite au centre du système, au fur et à mesure de sa progression, en un demi-millième de seconde. On peut utiliser une analogie hydraulique pour suggérer ce que peut être l'effet d'une onde de choc d'implosion. Voir illustration 13.



13

Dans un bassin supposons que nous ayons une hauteur d'eau de 10 centimètres. Quelque part, plaçons une cloison cylindrique, et pompons l'eau qui se trouve à l'intérieur de

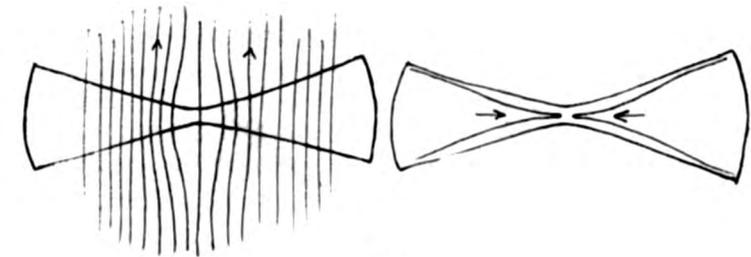
ce muret jusqu'à ce que la hauteur d'eau ne soit plus que d'un centimètre. Enlevons brutalement la cloison, en la relevant. Il va se produire une vague déferlante, sorte de raz de marée miniature, qui est l'analogie mathématique d'une onde de choc. Comme on peut le voir, cette onde se renforce au fur et à mesure qu'elle s'approche du centre. Puis elle se réfléchit sur elle-même, en faisant jaillir l'eau assez haut, et se dirige alors de façon centrifuge. Ceci suggère qu'une onde de choc implosive peut être un bon moyen de créer une zone à la fois très chaude et très comprimée dans un gaz. Il faudrait faire des calculs très complexes, sur ordinateur, pour évaluer la densité et la température que l'on pourrait obtenir par un tel moyen. Je ne pense pas que ce phénomène, à lui seul, puisse permettre d'obtenir les conditions favorables à la fusion. Mais nous allons invoquer maintenant un deuxième phénomène. On peut évaluer que près de 90 % de l'énergie électrique injectée dans le mélange sont passés sous forme d'énergie interne. Qu'est-ce que cela veut dire ? Eh bien, que 10 % de l'énergie a été utilisée à mettre le fluide en mouvement et à créer par réflexion de l'onde cette petite zone chaude et dense, et que le reste a excité les molécules et les atomes du gaz de façon diverse, excitation rotationnelle, vibrationnelle, électronique. Beaucoup d'atomes du gaz sont alors des petits réservoirs d'énergie, qui peuvent contenir au total 10^4 ou 10^5 joules.

Nous avons donc une chambre emplie de gaz dont les éléments sont pleins à craquer d'énergie. Cette chambre est tapissée de miroirs (sur la face interne de la couronne). Avec un peu de chance on pourrait avoir là un fantastique laser. Lorsque ce laser se déclenche, soit spontanément, soit de façon stimulée, l'énergie se trouve automatiquement focalisée sur le centre géométrique du système, précisément là où se trouve cette petite boule de gaz très chaud et très dense. Énergie qui se trouverait délivrée en 10^{-9} seconde. Comme il serait tentant de

penser que cet apport supplémentaire d'énergie pourrait créer les conditions de la fusion.

Mais, me direz-vous, et l'action des parois ?

Il est possible qu'intervienne un phénomène assez inattendu. Lorsque le courant passe en spirale dans l'enceinte, il crée son propre champ magnétique b . Et ce champ vient s'opposer au champ magnétique inducteur B . Il est clair, étant donné la géométrie de la chose, que le champ total $B - b$ est minimum au centre du système. On aurait donc un heureux effet d'autoconfinement du plasma dans cette région. Comment chiffrer ce confinement ? Eh bien la pression magnétique a pour valeur $B^2/2\mu_0$. C'est cette pression magnétique, qui pourrait atteindre de 100 à 1 000 kilos par centimètre carré, qui contiendrait le plasma loin de la paroi, en lui évitant ainsi de se refroidir. Voir illustration 14.

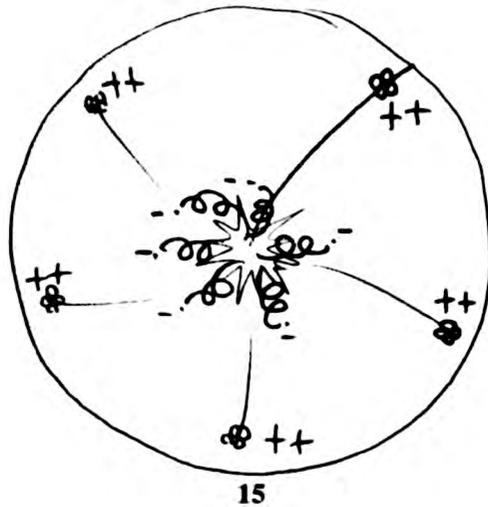


14

Distorsion des lignes de champ magnétique avec effet d'autoconfinement dû au champ induit.

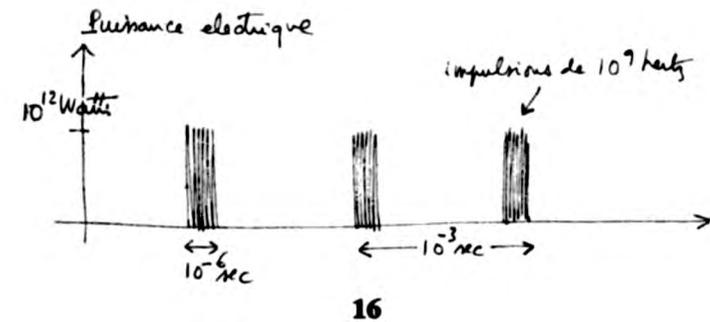
Nous voici donc à l'instant de cette situation hyperdense, atteinte en 10^{-8} seconde après la décharge laser. Je reprends alors les schémas classiques de la fusion laser. Des neutrons sont émis, ayant une énergie de quatorze millions d'électrons-volts, ainsi que des noyaux d'hélium, munis de deux charges positives, et charriant une énergie de 1,5 millions d'électrons-volts. Bien sûr, ces noyaux sont accompagnés d'électrons,

en nombre égal à celui des charges positives. Ce mélange de noyaux d'hélium et d'électrons constitue un milieu totalement ionisé, un plasma. En l'absence de champ magnétique, ce plasma resterait spatialement neutre. Mais le champ B intervient. Nous avons dit que ce champ était pulsé. Il atteint ainsi sa valeur de crête de 10^6 gauss au moment de la création de l'onde de choc implosive, pendant une microseconde. Maintenant, pendant cette phase d'émission due à la fusion, il doit retrouver cette valeur de crête. Ce champ agit alors sur les trajectoires des particules chargées. C'est exactement comme dans une chambre à bulle, ou dans un cyclotron. Les trajectoires des particules chargées s'incurvent, et ceci d'autant plus que ces particules sont légères. Les électrons sont plus de sept mille fois plus légers que les noyaux d'hélium. Ils vont donc être piégés dans la partie centrale du dispositif. Et on peut escompter un effet de séparation de charges très prononcé. Voir illustration 15.



Piégeage des électrons au centre de l'enceinte.

Un calcul machine donnerait la valeur de la tension électrique que l'on pourrait obtenir par cet effet. Peut-être un à dix millions de volts par mètre. Dans le schéma de la fusion par laser tel qu'il est présenté, les lasers crachent leur énergie en 10^{-9} seconde, en une fois, et l'émission d'énergie par fusion se fait également en une fois. Je me demande si le fait que le laser est intégré au système ne pourrait pas induire un phénomène de résonance. L'idée serait la suivante : après le premier temps de fusion, il y aurait réexcitation des atomes du gaz et des molécules par le flux d'énergie émis, puis nouvelle décharge laser, nouvelles réactions de fusion. Et ainsi de suite. Le rythme de cette modulation de la production d'énergie correspondrait à une longueur d'onde de l'ordre du rayon du diablo, c'est-à-dire ici à une modulation en 1 000 mégahertz. Le courant d'un tel moteur ne serait pas débité de façon continue, mais en « continu-alternatif », sous la forme de trains d'impulsions. Avec beaucoup de chance on pourrait peut-être avoir production de courant pendant une microseconde, c'est-à-dire le millième du cycle complet de une milliseconde, qui correspond à l'aller et retour de l'onde de choc dans la chambre. Ceci est schématisé sur l'illustration 16.



Essayons de faire la synthèse maintenant de ce fonctionnement moteur. Au départ un condensateur fournissait l'énergie donnant la compression initiale et l'excitation des molécules. On peut imaginer que ce moteur puisse fonctionner en auto-excitation et que le condensateur soit également chargé d'établir le champ B. Dans la phase de production d'énergie on peut supposer qu'une fraction de l'énergie est utilisée à recharger ce condensateur, qui, dans ce moteur « deux temps » un peu spécial, fait office de volant d'inertie. Un « deux temps » où la bougie serait l'effet laser.

Bien sûr, tout ceci est encore assez imprécis, qualitatif. Ce moteur est un exemple de solution « intégrée ». En effet, les fonctions de création et de compression du plasma, de fusion et de production d'électricité seraient assurées par une seule et même machine. Ceci grâce à la magnétohydrodynamique. Dans les solutions actuelles de fusion par laser (voir l'article de *Scientific American*) l'énergie est récupérée sous forme simplement thermique, par chauffage d'un fluide caloporteur qui est tout simplement du sodium liquide. Avec ces calories on finit, bien loin en bout de cycle, par faire tourner une turbine à vapeur, entraînant un alternateur. Dans cette formule de fusion par laser, très en pointe, cette technologie semble archaïque, médiévale. Mais il existe des projets de fabrication MHD de courant à partir de ces « manips » de fusion. Il existe aussi des projets de lasers à fusion, mais ils sont couverts jalousement par le secret militaire. Pensez donc : un laser qui développerait 100 mégawatts en valeur moyenne, de quoi couper en deux une fusée balistique ou un satellite volant à 1 000 km d'altitude en quelques fractions de seconde.

Une remarque : il n'y a pas lieu de craindre que l'onde de choc créée par l'explosion de la micro bombe H au centre du moteur ne détériore les parois. Cela a été évalué par les gens de la fusion. L'onde, dans son expansion sphérique, s'affaiblit

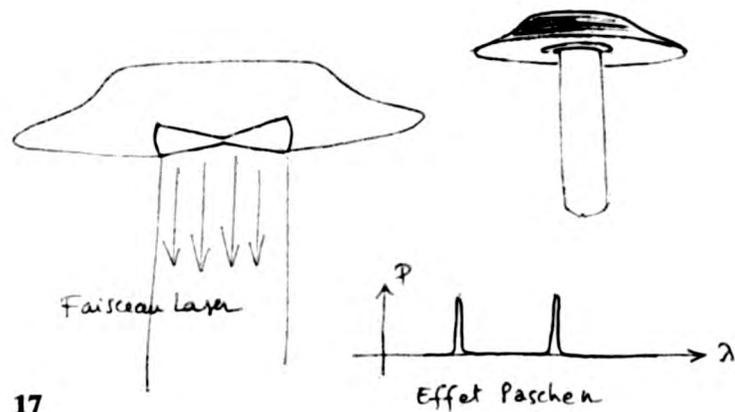
extrêmement rapidement, et la paroi couronne ne devra supporter que des surpressions très tolérables, non génératrices de contraintes mécaniques excessives. Même remarque pour la phase chaude du processus. Celle-ci dure tout au plus un millionième de seconde. Le plasma se refroidit très vite par détente.

Voici donc une idée de moteur MHD à fusion. Force électromotrice de crête : un million de volts. Intensité de crête : un million d'ampères. Donc puissance de crête : 10^{12} watts. L'énergie y serait produite sous forme d'impulsions d'une durée de 10^{-9} seconde, en trains de mille impulsions espacées d'une milliseconde. Ce qui donne une puissance moyenne de 1 000 mégawatts. Un champ magnétique varierait au même rythme de 1 000 hertz. Champ impulsionnel qui atteindrait une valeur de crête de 10^6 gauss, en impulsions d'une microseconde¹, espacées de 10^{-8} seconde. Ce qui fait une valeur moyenne de 1 000 gauss, très tolérable mécaniquement. Un champ continu d'un million de gauss (100 teslas) poserait des problèmes de tenue mécanique assez problématiques.

Comment pourrait-on imaginer contrôler le régime d'un tel moteur ? Il vient une idée assez simple : pourquoi ne pas laisser fuir un peu d'énergie laser ? Cette perte entraînerait une mise au ralenti très prononcée du moteur. J'imagine assez bien un aérodyne MHD, moteur au ralenti, d'où s'échapperait un faisceau de lumière cohérente, cylindrique, à contours nets.

Continuons sur ce thème. Voyons, cette émission laser est effectuée dans un fort champ magnétique. Supposons que l'émission cohérente se fasse sur une longueur d'onde λ . A laquelle correspond une « raie » spectrale. En clair, cela signifie que si l'on reçoit cette lumière laser sur un spectroscope, la puissance lumineuse va se distribuer autour d'une valeur centrale de la longueur d'onde. Voir l'illustration 17.

1. Ceci, sur une remarque de Scientificus, pose un sérieux problème de champ induit.



17

La largeur de raie ne doit pas être énorme si l'on admet que la température dans la chambre doit rester modérée (peut-être $1\ 000^\circ$ tout au plus). Mais il a le champ magnétique. Les physiciens savent que celui-ci a pour effet de dédoubler cette raie d'émission. Pour des champs modérés, ceci s'appelle l'effet Zeeman, et pour des champs intenses (notre cas) l'effet Paschen. Tout se passe comme s'il y avait non pas une émission laser mais deux, avec un écart de longueur d'onde $\Delta\lambda$. Cette émission est faite dans un champ magnétique inhomogène. Il me semble raisonnable d'imaginer que ce phénomène puisse entraîner des interférences spatiales entre ces deux émissions. Ainsi, dans une certaine région avoisinant l'appareil, les deux émissions se conjugueraient, ailleurs elles seraient en opposition de phase. Cela pourrait donner au faisceau une allure tronquée. En tout état de cause l'expérience est à faire. Expérience qui consiste à faire laser un gaz dans un puissant champ magnétique, et à observer les conséquences sur les émissions directes ou induites.

Un aérodyne MHD.

Supposons qu'un tel moteur soit au point, et que son poids reste acceptable, disons 10 tonnes, pour une puissance de 1 000 mégawatts. Associons-lui une cellule, de telle manière que l'ensemble pèse, disons 20 tonnes. Les dimensions de l'appareil : de l'ordre de 10 mètres. Avec ce moteur nous allons créer un système de forces de Lorentz, de manière à assurer la sustentation et la propulsion de l'engin. Le moteur sera connecté à des électrodes situées sur la face externe de l'engin. Il y aura donc une décharge électrique dans l'air environnant, création d'un plasma lumineux, coloré. On sait que l'air possède de nombreux modes d'excitation par décharge, suivant la valeur de la température électronique et ionique. Notre engin en fonctionnement apparaîtra nimbé d'une aura brillante et colorée.

Nous avons reconstitué ces effets en laboratoire, Viton et moi. On peut s'attendre, suivant les régimes, à voir toutes les couleurs possibles. Cela va du rouge sombre au jaune, au bleu tirant sur le violet, ou au blanc éclatant.

Quand l'engin est près du sol, le champ magnétique variable induira des courants qui pourront cuire les racines des plantes, comme dans un four à induction. Mais l'effet le plus important sera dû au rayonnement associé à la composante HF du courant de la décharge. Ces fréquences sont comparables à celles des radars. On sait que cette HF peut avoir des effets physiologiques sur l'individu. Par exemple cette HF peut exciter directement le nerf auditif et créer une hallucination sonore, sous forme d'un bourdonnement qui, ici, serait perçu suivant la fréquence (audible) de récurrence de 1 000 hertz. Ce rayonnement peut agir sur le système nerveux, créer des états de choc, de stupeur, des paralysies. Provoquer aussi une sensation de chaleur, de picotement, des brûlures. Le plasma est également émetteur d'ultraviolet, rayonnement qui a la propriété de stériliser les

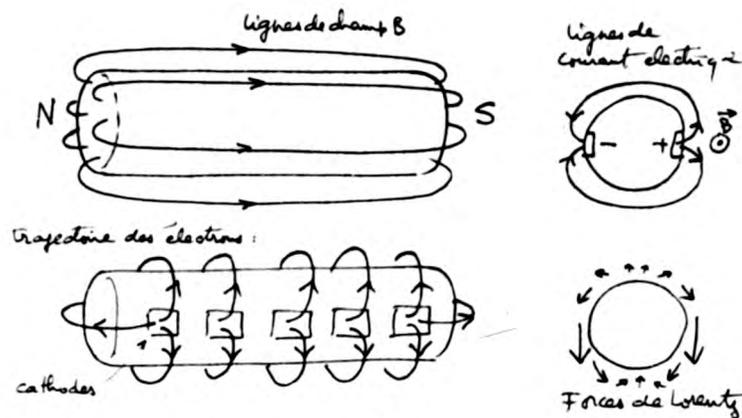
plaies, et de provoquer des coups de soleil...

On a montré aussi que la HF pouvait agir sur l'émission lumineuse d'un filament de tungstène, en contrariant celle-ci. Rayonnement haute fréquence, champ magnétique pulsé, agissent logiquement sur tous les dispositifs électriques, allumages de voitures, etc.

Lorsque notre aérodyne MHD passera au-dessus d'une automobile, on peut imaginer que ceci puisse entraîner l'extinction des phares du véhicule, qui se rallumeront d'eux-mêmes, une fois l'engin au loin.

Un aérodyne en forme de cylindre.

Cette idée est due à Maurice Viton, avec qui je travaille, et qui est astronome au *Laboratoire d'Astronomie Spatiale* de Marseille. Dans cette configuration, un solénoïde axial crée un champ magnétique dipolaire, autour d'un objet de forme cylindrique. Voir illustration 18.



18

Sur la paroi du cylindre sont disposées deux rangées d'électrodes, anodes d'un côté, cathodes de l'autre. On a figuré la distribution des lignes de champ magnétique et des lignes de courant électrique. Sur le dessin on voit également le sens et l'intensité des forces de Lorentz. Cette configuration est dite à paramètre de Hall faible. Ouvrons une petite parenthèse pour évoquer ce qu'est l'effet Hall, que nous avons mentionné rapidement quand nous avons parlé du moteur MHD. Supposons qu'entre deux points d'un fluide règne une différence de potentiel V . Celle-ci va tendre à faire se mouvoir les électrons dans le sens du champ électrique. S'il existe un champ magnétique transversal B , celui-ci va incurver les trajectoires des électrons, lorsque ceux-ci effectuent, entre deux collisions avec des atomes, leur « libre parcours ». A chaque collision, nous l'avons dit, l'électron est quasiment stoppé dans sa progression. Le champ électrique le réaccélère alors, et il suit une nouvelle trajectoire courbe, jusqu'à la collision suivante. Tout ceci donne une trajectoire moyenne, que nous avons représentée sur la figure 19.



19

Le courant électrique I n'est plus colinéaire au champ électrique E mais s'en écarte d'un angle θ , dit angle de Hall. La théorie montre que la tangente de cet angle ϑ est égale à :

$$\tan \vartheta = \frac{e B}{m_e v_e} = \beta$$

Où e est la charge de l'électron, $1,6 \cdot 10^{-19}$ coulombs, B l'intensité du champ magnétique en teslas (10^4 gauss), m_e la masse de l'électron ($0,91 \cdot 10^{-30}$ kg). ν_c est la fréquence des collisions de l'électron avec les atomes du gaz, en nombre de collisions par seconde.

Dans de l'air à pression atmosphérique, cette fréquence de collision a une valeur bien définie. On calcule qu'il faut des champs B assez intenses pour que l'angle de Hall devienne sensiblement différent de zéro. Disons, pour fixer les idées, 100 000 gauss. Si la valeur de pointe du champ B reste inférieure à cette valeur de 10 teslas, le régime du plasma sera à bas paramètre de Hall.

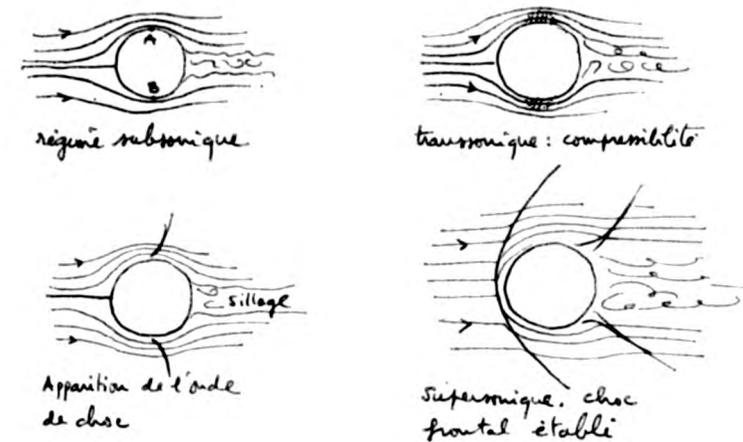
L'effet Hall peut être mis en évidence dans les gaz. Beaucoup plus difficilement dans les liquides et les solides, où il faut alors des valeurs énormes de champ magnétique. Comme Viton n'avait précisément pas besoin de cet effet Hall, il a pu simuler le fonctionnement de cet aérodyne dans... de l'eau. De l'eau acidulée en l'occurrence, pour faciliter le passage du courant. Viton l'a visualisé avec des paillettes de colorant. Le champ atteint 220 gauss. La tension électrique ne dépasse pas 20 volts et l'intensité quelques ampères. L'eau s'écoule dans ces conditions à quelques centimètres à la seconde. On peut voir, au voisinage d'une des électrodes, le petit dégagement gazeux qui correspond à l'électrolyse de l'eau. Au lieu de placer deux électrodes continues, nous avons disposé ce qu'on appelle des électrodes segmentées. C'est une solution classique en magnétohydrodynamique. Cette segmentation a un effet stabilisant sur la nappe de courant électrique.

Si, nanti du moteur MHD à fusion, on faisait voler le cylindre de Viton, il est probable que les témoins confondraient les électrodes, plus fortement éclairées que le reste de l'appareil, parce que siège d'une plus forte densité de courant, avec des hublots.

Sans onde de choc ?

Rappelez-vous, tout au début, l'objection formulée par Dogmaticus. Quelle peut être l'interaction d'une telle décharge avec un système d'ondes de choc ?

Rappelons d'abord ce qu'est une onde de choc. Lorsqu'un objet de forme quelconque se meut dans l'air, il écarte à son passage les molécules d'air. Puis le fluide se « referme » plus ou moins bien, derrière lui. En régime subsonique, les molécules sont informées de la venue de l'objet bien avant qu'il soit sur elles, par les ondes sonores. Elles ont donc tout leur temps pour s'écarter et lui laisser le passage, ceci dans le but de conserver au fluide une densité partout égale. L'écoulement est alors dit incompressible. Voir illustration 20.



20

Lorsque la vitesse atteint celle du son, cette information ne peut plus se propager en amont de l'objet. Les molécules viennent alors s'entasser autour de lui. Dans le cas du cylindre, les premières zones critiques seront situées au maître couple,

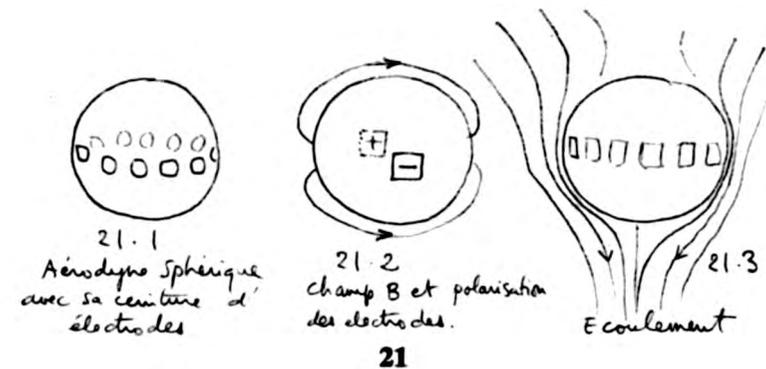
en A et en B. Dans ces zones se manifeste une certaine compressibilité du gaz. Mais très vite, lorsque la vitesse augmente, cette compression ne peut plus s'effectuer en douceur. Apparaît un système d'onde de choc (seconde figure). Si la vitesse s'accroît encore très légèrement. Le système de choc tend à s'établir en amont de l'objet. Dans le cas du cylindre il se produit une onde détachée correspondant à la troisième figure. Ce système se complète par des ondes de choc de culot, qui sont également représentées. Introduisons maintenant l'action MHD. Nous pensons, Viton et moi, que les forces de Lorentz peuvent retarder l'apparition du système d'onde de choc, en réaccélérant le fluide là où précisément il tend à s'accumuler. Il me semble même très possible que ces forces de Lorentz, qui sont somme toute une façon très « musclée » d'agir sur un fluide, puissent garantir même en hypersonique, un vol sans « bang », silencieux².

Ceci est un aspect capital du problème. Et nous appelons les laboratoires équipés pour une telle expérience, c'est-à-dire possédant une soufflerie supersonique et des installations électriques (condensateurs) susceptibles de délivrer plusieurs mégawatts pendant un temps d'expérience de quelques millisecondes, de nous aider à vérifier le bien fondé de cette assertion.

Un aérodyne en forme de sphère.

La formule sphère dérive directement du cylindre. Imaginons une sphère faite d'un matériau isolant (comme notre cylindre d'ailleurs, nous avons omis de le préciser), et ceinturée d'électrodes, comme sur la figure 21.1.

2. Du fait du recollement du sillage, source de turbulence, donc principale cause de bruit.



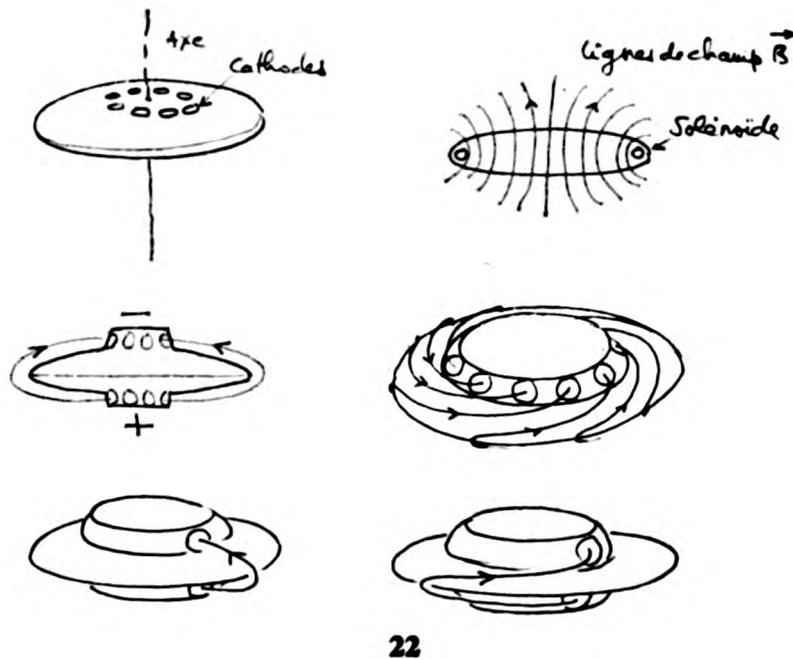
Une paire d'électrodes diamétralement opposées est alors alimentée. Le courant se distribue aussitôt comme suivant la figure 21.2. Une distribution de courant est alors créée dans le corps de la sphère qui établit un champ magnétique d'allure générale dipolaire, dont les lignes de champ sont en gros orthogonales aux lignes du courant électrique. On obtient un système de forces de Lorentz propre à assurer la sustentation et la propulsion de l'engin. Pour améliorer ses performances, il serait logique de réaliser une rotation et une alimentation séquentielle du champ et des électrodes. En fait, en jouant convenablement sur la façon dont les courants qui créent le champ B sont distribués dans l'appareil, on peut toujours ajuster ce champ pour qu'il convienne à une géométrie d'appareil et une configuration de décharge électrique.

Un aérodyne MHD en forme de soucoupe.

Nous avons vu que les forces de Lorentz étaient proportionnelles au produit intensité \times valeur du champ magnétique. Dans la mesure où notre installation électrique embarquée permettrait de créer des champs pulsés très importants, disons d'un million de gauss, il serait dommage

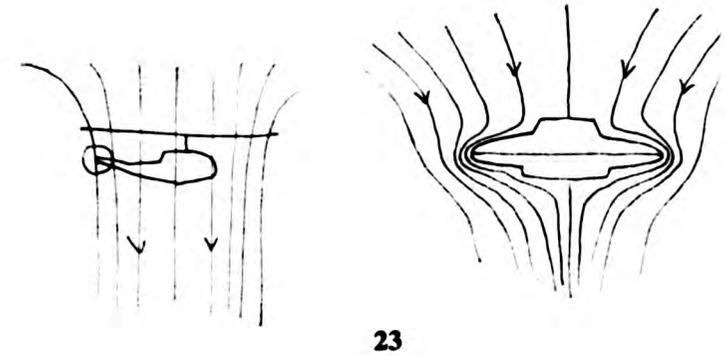
de ne pas rechercher ainsi une performance accrue. Mais pour ces valeurs fortes du champ, l'effet Hall devient omniprésent. Conséquence: les nappes de courant se distordent et il est facile de voir que les configurations cylindriques et sphériques ne conviennent plus. Il faut alors imaginer des aérodynes MHD fonctionnant à fort paramètre de Hall. Et ces aérodynes sont précisément... des objets lenticulaires. Voici comment nous les concevons,

Prenons au départ un objet discoïdal, assez aplati. Disposons une couronne d'électrodes sur le dessus et une autre sur le dessous, comme il est indiqué sur l'illustration 22.



22

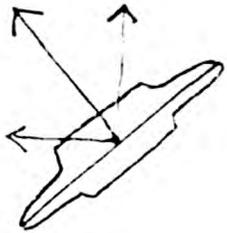
Disposons maintenant un solénoïde équatorial, dans cette forme d'ellipsoïde aplati, qui crée un champ magnétique d'allure générale axiale. Créons une différence de potentiel entre les électrodes supérieures et les électrodes inférieures. Les électrodes du dessus seront les cathodes. *A priori*, nous pouvons penser que le courant va passer dans l'air qui entoure l'engin suivant les lignes indiquées. En fait, l'effet Hall courbe ces lignes de courant en leur donnant une forme de spirale, comme il est indiqué sur la figure. Tout se passe comme si la ligne de courant d'allure elliptique pour B nul, était tordue autour de l'appareil. Examinons maintenant la distribution des forces de Lorentz. Nous avons l'heureuse surprise de constater que celles-ci sont d'allure quasi radiale, centrifuges sur la partie supérieure et centripètes à la partie inférieure. Notez que ce sens des forces dépend de la polarité des électrodes, mais pas du sens du champ B. On peut s'attendre alors à ce que l'air ambiant soit pompé par ces forces de Lorentz comme sur la figure 23.



23

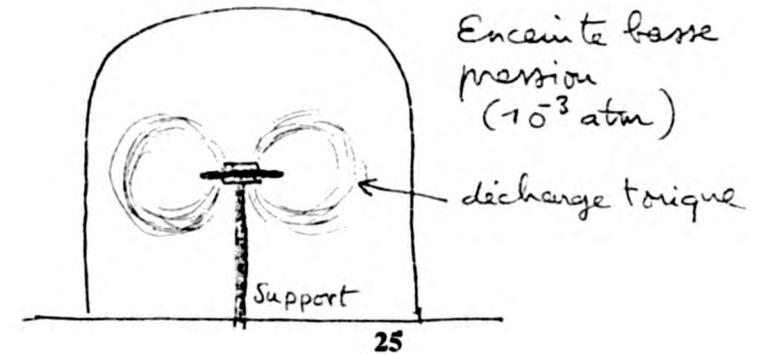
Dans ces conditions, l'aérodyne aurait un air de parenté avec l'hélicoptère et, pourquoi pas, il aurait un peu la même instabilité en descente (descente oscillante, en feuille morte, de

l'hélicoptère). De toute manière, comme lui, il se translaterait en inclinant son disque portant. Voir illustration 24.



24

En MHD il faut se méfier de tout ce qui n'a pas été dûment vérifié par l'expérience. Nous avons donc voulu, Viton et moi, expérimenter sur ces soucoupes. Mais le calcul montrait que dans l'air atmosphérique, il fallait des intensités de champ magnétique que nous étions bien incapables de produire avec nos moyens de laboratoire extrêmement limités. Revenons à l'expression de la valeur du paramètre de Hall. Si on ne peut pas jouer aisément sur B , peut-être alors est-il indiqué d'agir sur v_e en baissant la pression. Le calcul (qu'on trouvera dans l'annexe scientifique de ce chapitre) m'indiqua qu'avec nos champs de quelques centaines de gauss, on pouvait en baissant la pression de l'air au millième de sa valeur atmosphérique, obtenir des paramètres de Hall de l'ordre de l'unité. Nous construisîmes donc un banc d'essai, avec une pompe à vide, une enceinte à basse pression, ceci avec l'aide de M. Camaret. Notre première satisfaction fut de constater l'existence de l'effet Hall à la surface du modèle. Mais une surprise nous attendait : au lieu de suivre tranquillement la paroi, qui semblait pourtant le plus court chemin, la décharge électrique s'épanouissait assez loin du modèle. Voir illustration 25.

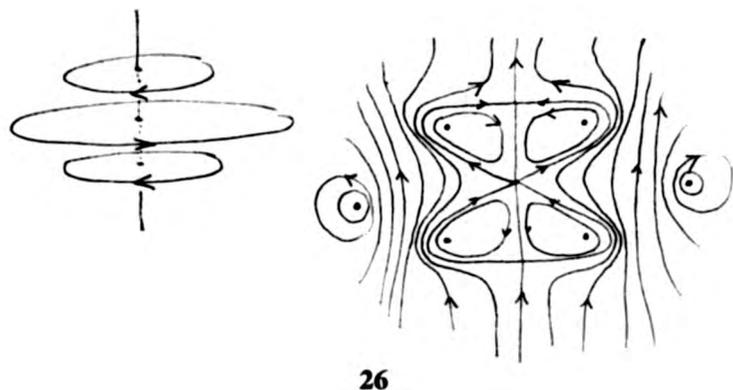


Cela avait un côté intéressant, puisque cela montrait que les aérodynes MHD pouvaient agir dans un volume très supérieur à leur volume propre. Ainsi, un engin discoïdal pourrait-il brasser l'air dans un espace atteignant trois fois son diamètre, c'est-à-dire près de dix fois sa surface. Ainsi sa sustentation pourrait être obtenue grâce à une vitesse induite très faible (plus le rotor d'un hélicoptère est grand et moins la vitesse induite par celui-ci pour assurer sa sustentation doit être élevée). Mais cela ne faisait quand même pas notre affaire à l'instant t , puisque le courant s'établissait dans des régions où le champ B devait être assez faible pour que l'effet Hall ne puisse pas être décelé. Après un après-midi pénible, nous trouvâmes la cause du phénomène. La décharge était soufflée par l'effet de la pression magnétique. Cette pression magnétique vaut $B^2/2\mu_0$ où B est en teslas et $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$. Nous nous aperçûmes que cette pression était supérieure à la pression du gaz d'électrons définie par $p_e = n_e k T_e$ où n_e est le nombre d'électrons par mètre cube, k la constante de Boltzmann ($1,38 \cdot 10^{-23}$) et T_e la température électronique, que j'évaluais à 3 000 K.

De ce fait, la décharge électrique avait irrésistiblement tendance à migrer vers les zones où le champ magnétique était plus faible, c'est-à-dire loin de la paroi.

Où la forme de la soucoupe se précise peu à peu.

Pour empêcher la décharge électrique d'aller se balader au diable vauvert, nous pensions qu'il fallait s'arranger pour que le champ magnétique ne soit plus maximum, mais minimum à la paroi. Ce fut Viton qui trouva la solution. L'astuce était de produire le champ B non plus par un solénoïde, mais par trois, deux petits et un grand. Dans les deux petits solénoïdes le courant tournait en sens inverse du grand.

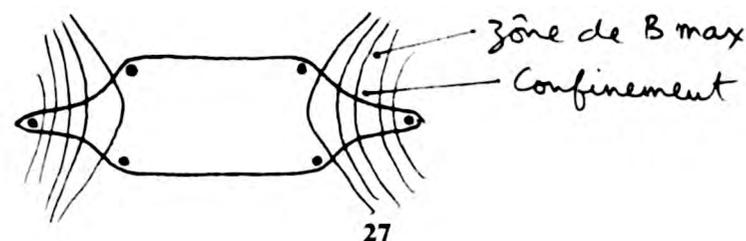


26

Encore fallait-il calculer les intensités respectives à introduire dans ces trois spires. Nous reçûmes de l'aide en la personne de M. Duban, également chercheur, qui consacra quelques dimanches à résoudre ce problème sur son ordinateur. Le résultat de ce calcul est indiqué sur le second dessin de l'illustration 26. Comme on le voit c'est un peu plus compliqué que la configuration à solénoïde unique. Il y a un intérêt, c'est que le champ est nul au centre de l'engin (point O). Voilà donc enfin un endroit où on peut s'asseoir tranquillement sans être rôti comme un poulet dans un four à induction. Nous pensons que la configuration magnétique des aérodynes MHD doit être

très sophistiquée. En fait c'est toute la surface de l'appareil qui doit être parcourue de courants créant ce champ. Une meilleure distribution de courant dans l'air ionisé entourant l'engin serait obtenue en disposant non plus deux ceintures de grosses électrodes, mais un très grand nombre de microélectrodes sur toute la paroi de l'appareil.

Si on retourne maintenant au tracé obtenu par Duban, et que l'on dessine une surface qui soit, dans les zones qui nous intéressent, perpendiculaire aux lignes de champ magnétique, on obtient le dessin de la figure 27.



27

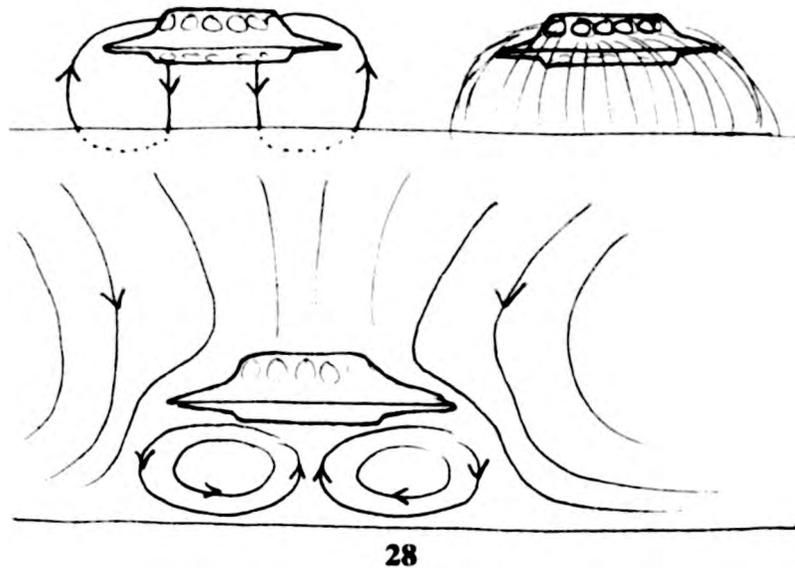
A l'heure où j'écris ces lignes nous avons installé notre matériel à l'Observatoire de Marseille et Viton est en train de construire une nouvelle maquette en forme d'assiettes accolées, conformément à ce dessin, et munie des trois solénoïdes en question. Je ne peux malheureusement pas écrire que cette idée a reçue sa confirmation expérimentale. Les choses avancent lentement.

La parole est à l'avocat du diable.

Depuis ces derniers mois, j'ai eu l'occasion de discuter avec pas mal de gens. Je pense à une lettre où Pierre Guérin me disait : « Si comme tu le dis, les OVNI volent en imprimant aux masses d'air un mouvement descendant, à la manière des hélicoptères, quel typhon doivent-ils alors créer pour maintenir en l'air leurs 20 ou 30 tonnes ! » A ce sujet, je répondrai qu'il faut

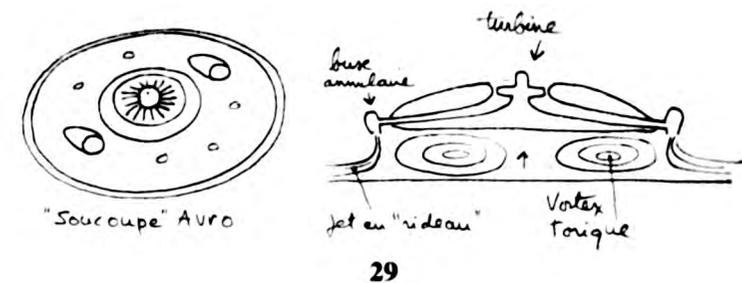
faire une étude complète, sur des maquettes, de l'écoulement MHD induit par l'aérodyne discoïdal. L'épanouissement de la décharge, par effet de pression magnétique, que nous évoquons plus haut, fait que l'interaction MHD peut s'étendre à un volume beaucoup plus grand que prévu, donc impliquer des vitesses induites plus faibles. Un effet de succion a, paraît-il, été ressenti par certains témoins. Cela ne me paraît pas contradictoire, et voici pourquoi :

Lorsque l'aérodyne se rapproche du sol, il y a déformation des lignes de courant. Comme ce sol est plutôt plus conducteur que l'air, on peut s'attendre à un amorçage de la décharge avec le sol. Voir illustration 28.



De ce fait, le pompage MHD pourrait devenir très inefficace à la partie inférieure de l'appareil, et se limiter pratiquement à la partie supérieure. Dans ces conditions un vortex torique peut se créer sous l'engin. Voir l'illustration. Comme on le voit, ce vortex comporte une colonne ascendante dans sa partie

centrale. Dans cette région, la poussière peut être aspirée en une trombe qui peut être une trombe liquide si l'engin survole la mer. Nous avons simulé cet effet d'amorçage en atmosphère basse pression. On voit nettement la décharge s'épanouir en petits arcs, qui évoquent par leur forme des baleines de parapluie. L'histoire du vortex torique est un classique pour ceux qui connaissent un peu l'histoire des engins à effet de sol. Prenons l'exemple de la soucoupe Avro, que je connais bien pour être certainement un des rares Européens à avoir pu l'ausculter, en 1961, à Princeton, où elle se trouvait aux essais. L'air était aspiré à la partie supérieure par un puissant ventilateur, puis dirigé radialement vers une buse annulaire, d'où il s'échappait verticalement en formant une sorte de rideau gazeux (*annular curtain*). Voir illustration 29.



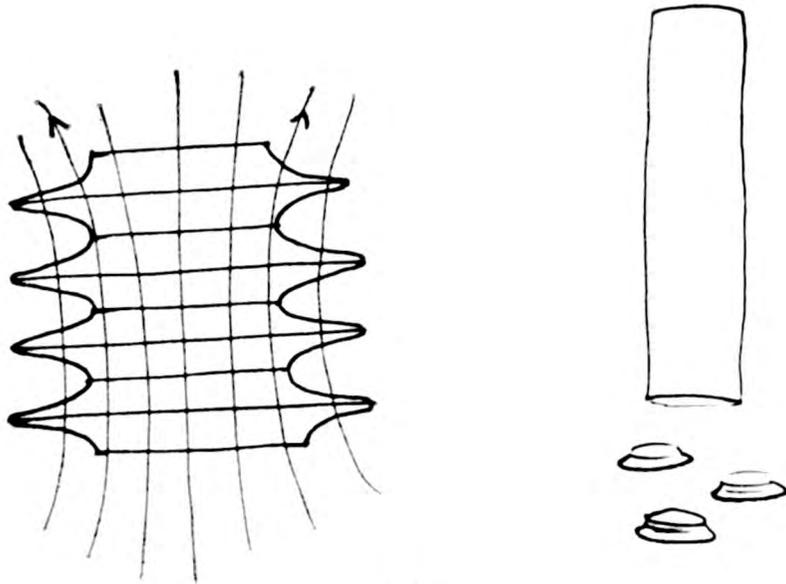
L'ensemble de l'écoulement correspond à ce qui est indiqué sur le dessin. On voit qu'on retrouve ce vortex torique.

Les cylindres : des véhicules-mères ?

Nous avons vu tout à l'heure le modèle cylindrique de Viton. On peut en imaginer un autre :

Pour voler, les soucoupes doivent produire un champ magnétique et un champ électrique intenses. Comment plusieurs soucoupes pourraient-elles coopérer pour réaliser

un vol, disons, plus économique ? En s'empilant les unes sur les autres. Ainsi les champs magnétiques s'additionneraient, de même que les forces électromotrices des générateurs. Voir illustration 30.



30

Ceci expliquerait peut-être certaines observations où d'énormes cylindres à bout tronqué, ont été vus, émettant à leur base des engins discoïdaux.

La route vers les étoiles.

En relisant ce texte, je pense que je peux donner l'impression au lecteur de vouloir défendre à tout prix ces modèles MHD. Bien sûr, si on se base sur les statistiques, il y a beaucoup d'aspects dont cette théorie peut rendre compte. On peut créer de très fortes accélérations avec les forces de Lorentz, mais comment empêcher les pilotes d'être réduits en chair à pâté dans l'habitacle?

Peut-être, comme le suggérait Claude Poher, crée-t-on ces mêmes forces de Lorentz dans les corps des pilotes, pendant des temps très brefs, dans une sorte de dispositif anti-g. Astucieux, mais limité, étant donné les faibles niveaux de courant tolérables par le corps humain.

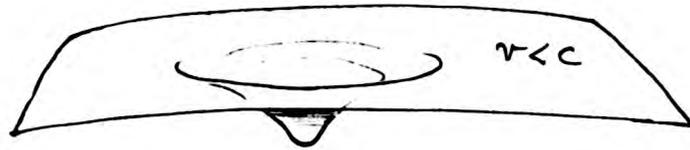
Ces soucoupes MHD ne sont pas soumises à des accélérations constantes, mais à une suite d'accélérations très fortes, qui ne durent qu'une microseconde. On sait que le corps humain supporte plus facilement des impulsions d'accélérations élevées, plutôt qu'une accélération continue. Peut-être est-ce une partie de l'explication.

Mais il reste un cortège de phénomènes qui échappent à cette réduction par la physique des plasmas. Les soucoupes MHD peuvent évoluer dans le vide, en accélérant un gaz généré par une tuyère. On a calculé que les impulsions spécifiques obtenues alors étaient très élevées. Mais cela ne nous ouvre pas pour autant la route des étoiles.

Périodiquement, des scientifiques de tous les pays élaborent des projets de véhicules interstellaires. Engins gigantesques, propulsés à coups de bombes à hydrogène, gagnant ainsi péniblement le dixième de la vitesse de la lumière, ce qui met la plus proche étoile à quarante années de nous. Les voyageurs de l'espace ont-ils une longévité telle qu'ils puissent affronter ce voyage ? Voyagent-ils en état d'hibernation ?

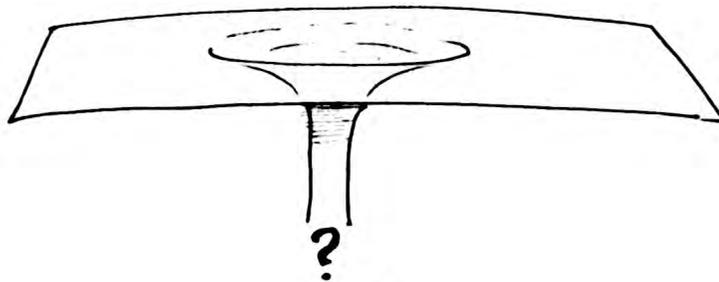
La voie est peut-être plus simple et moins coûteuse. Mais nous quittons ici le champ de la science pour entrer dans le domaine de la spéculation. Jetons si vous le voulez bien quelques idées. On ne sait jamais...

Depuis Einstein nous avons modifié notre idée de l'espace. Ce n'est plus un substratum rigide, mais un milieu souple, déformable. On a coutume, pour illustrer ceci, de représenter cet espace comme une membrane. Un corps pesant, une étoile, devient une cloque. Voir figure 31.



31

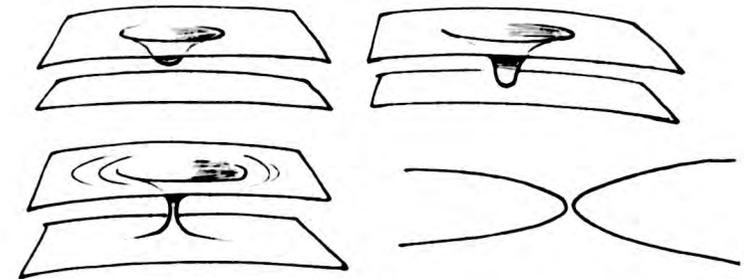
Les lois de la relativité restreinte nous disent par ailleurs que la vitesse est limitée à 300 000 km/seconde. Lorsque le corps est très pesant, très massif, la théorie génère une entité nouvelle. La cloque devient un puits mystérieux, que l'on nomme un trou noir. Qu'y a-t-il au fond de ce puits ? Est-ce un passage, un raccourci vers les lointaines nébuleuses ? Voir illustration 32.



32

S'il en est ainsi, c'est un chemin extrêmement inconfortable. En fait, un véritable Maëlstrom, où tout est broyé : molécules, atomes, particules. Peut-être saurons-nous un jour, en laboratoire, recréer de minuscules trous noirs, en focalisant en un point de fantastiques énergies. Nous avons bien su faire des étoiles...

Une théorie nous dit que ces trous noirs représentent une communication entre notre espace et un autre espace, le monde des Tachyons. Un monde en miroir où le temps s'écoule à l'envers, et où la vitesse est alors nécessairement supérieure, cette fois, à la vitesse de lumière ! Si nous pouvions passer par cet espace des Tachyons, quel fantastique raccourci. Dans cette optique la formation du trou noir correspond à la figure 33.



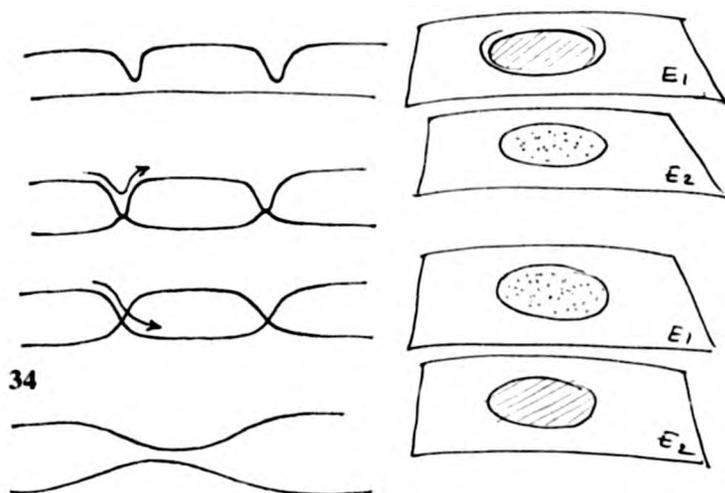
33

Formation du trou noir.

Une étoile s'effondre : la cloque se creuse. Une tangence apparaît entre ces deux espaces-membranes. Puis se produit une « catastrophe », au sens de R. Thom. Une communication tubulaire se forme. En même temps, ces membranes, souples comme des bulles de savon, tressautent. Et ces rides que j'ai dessinées, sont des ondes de gravité.

Je ne suis spécialiste ni en géométrie différentielle, ni en relativité générale. Mais puisque cet espace a l'air si souple, pourquoi ne pas imaginer autre chose qu'un trou noir. Reprenons ces deux espaces, le nôtre et celui des Tachyons, frères jumeaux du Cosmos.

Formons de nouveau non plus une cloque, mais un sillon, comme il est indiqué sur la figure 34.



Ce sillon circulaire devient tangent à l'espace voisin, suivant une courbe circulaire. Cette fois-ci la catastrophe s'effectue tout au long de ce contour. Et on obtient alors un nouveau raccordement des nappes. Celles-ci se croisent. Il y a transversalité. Cette ligne de points doubles, circulaire, appartient aux deux espaces. Décroisons ceux-ci. Pourquoi pas...

En fin d'opération, deux domaines circulaires des deux membranes ont été permutés. Bien sûr, à l'endroit du sillon, le rayon de courbure est passé par une valeur nulle mais, dans la mesure où l'on admet cette transversalité, tout est relativement « calme » à l'intérieur de ces deux domaines, durant l'opération. Peut-être peut-on permuter ainsi deux domaines de ces deux espaces. Il faut transposer ceci dans une optique à trois dimensions. Difficilement dessinable. La ligne de tangence deviendrait alors une surface et deux volumes seraient permutés.

Ainsi un véhicule, après un petit trajet classique MHD, dans notre espace, sauterait-il dans l'espace des Tachyons, pour y croiser cette fois à des centaines de millions de kilomètres à la seconde. Comme un avion qui passerait sous la surface de l'eau, en se faisant sous-marin. Arrivé « à proximité » de son point d'arrivée, il referait surface de la même manière. Tout ceci est peut-être absurde. Si un jour on arrive à créer un trou noir en laboratoire en focalisant de l'énergie dans un petit volume, pourquoi ne pas imaginer que l'on puisse, en focalisant de l'énergie sur une surface, découper ainsi l'espace à l'emporte-pièce.

Pourquoi la soucoupe ne serait-elle pas la surface optimale grâce à laquelle cette opération se ferait avec un minimum de dépense d'énergie ? Un léger détail : dans ce voyage étrange, on arrive, sauf erreur... avant d'être parti. On peut toujours rêver. Certaines idées scientifiques ont commencé par être des rêves totalement absurdes. Le principe d'incertitude d'Heisenberg, le trou noir, sont des choses absurdes. Pourtant notre physique a digéré un tel principe, et nous connaissons l'existence des trous noirs par les « cris » que poussent les électrons lorsqu'ils tombent dans cette singularité que l'Univers crée naturellement.

Conclusion.

Denis Papin a lancé la grande révolution industrielle en regardant se soulever le couvercle d'une marmite. En trente ans les petites fusées d'Hermann Oberth, créées pour la publicité d'un film de Fritz Lang, sont devenues les fusées Apollo. En trente ans les monstrueux ordinateurs à lampes, sur lesquels on pouvait cuire des œufs au plat, sont devenus gros comme des boîtes d'allumettes. Ne sous-estimez pas l'époque ou nous vivons. Tout va peut-être plus vite que vous ne le croyez. Le mois dernier, on a gagné un ordre de grandeur sur le temps de

confinement des Tokamak. La température atteinte n'est plus que le tiers de la température d'ignition. Pourquoi pas, un jour, un Tokamak dans une boîte d'allumettes ?

Avec la fusion par laser, l'homme focalise des énergies sans cesse croissantes. Demain la fusion, après-demain... le trou noir !

Qu'est-ce que l'espace où nous vivons ? Peut-être une membrane plus fragile que l'on ne le pense, et sur laquelle il suffira de peser. Quelque chose qui peut se plier, se tordre.

Si un jour le moteur à fusion fonctionne, ce sera un laser d'une puissance formidable, capable de focaliser ses 100 mégawatts en n'importe quel point du globe, à la vitesse de la lumière. Sachez que ce bel engin de mort violente est déjà en route dans de nombreux laboratoires. Et oui...

Mais si la soucoupe terrestre vole un jour, ce sera peut-être un peu différent. Au lieu de prendre pied sur les planètes comme des soudards, en y plantant, fous d'orgueil, nos petits drapeaux imbéciles, peut-être partirons-nous vers d'autres mondes, sur ces caravelles du futur, avec, enfin, un peu d'amour dans nos bagages.

Jean-Pierre PETIT, 15 mars 1976

ANNEXE SCIENTIFIQUE

Le vocabulaire qui est utilisé dans cette annexe à l'usage des scientifiques est celui de la physique des plasmas. C'est une ébauche encore maladroite des problèmes.

Si ce petit document pouvait inciter des scientifiques à se pencher sur la question, alors le but serait atteint. Bien sûr, si le phénomène OVNI est autre chose qu'un fantôme ou qu'une hallucination, cela dépasse largement le cadre de cette physique des gaz ionisés, qui ne serait qu'un tout petit aspect de la question. Les spécialistes de la fusion contrôlée, des lasers, de la métallurgie, de la chimie, de la résistance des matériaux, les mathématiciens férus de topologie, les spécialistes de la relativité générale, de la théorie des catastrophes et de la théorie quantique des champs, peuvent ouvrir de nouvelles fenêtres vers ce chemin qui mène aux étoiles.

Le plasma.

Autour de l'engin, j'ai supposé que l'air était ionisé. Il me semble qu'un état assez prononcé de non-équilibre est à prévoir, où la température T_e est supérieure à la température T_g des espèces lourdes. Nous appellerons $\langle C_e \rangle$ la vitesse moyenne d'agitation dans le gaz d'électrons, les conditions étant supposées telles que la fonction de distribution f_e de la vitesse électronique puisse être au premier ordre assimilée à

une maxwellienne. On a donc :

$$\langle C_e \rangle = \sqrt{\frac{8 k T_e}{\pi m_e}}$$

$k = 1,38.10^{-23}$ (cte Boltzmann)

$T_e =$ température des électrons, en degrés Kelvin.

$m_e = 0,91.10^{-30}$ kg, masse de l'électron.

La première tâche consiste à évaluer la densité électronique n_e en nombre d'électrons par mètre cube. Pour ce faire on utilise la loi de Saha. D'après la référence (1) cette équation peut donner des résultats acceptables si T_e est supérieur à 4 000 K et n_e supérieur à 10^{20} . Voir aussi la référence (2). Comme nous avons besoin, pour la conduite d'expériences en air raréfié, de résultats à plus bas T_e et n_e , nous avons, faute de mieux, extrapolé cette loi.

Dans la seconde étape, la conductivité électrique scalaire est à évaluer. Pour un dégrossissage rapide nous avons utilisé des expressions simplifiées, correspondant à l'approximation de Lin. Q_{en} et Q_{ei} sont les sections efficaces de collision électrons-neutres et électron-ions.

$$\sigma_s = \frac{n_e e^2}{ne \langle C_e \rangle \sum (Q_{en} n_n + \frac{Q_{ei} n_i}{0,582\pi})}$$

Comme on le voit, on a tenu compte des effets des collisions mutuelles entre électrons. Le paramètre de Hall est :

$$\beta = T_g \vartheta = \frac{e B}{m_e \langle v_e \rangle}$$

Où ϑ est l'angle de Hall, B le champ magnétique en teslas et $\langle v_e \rangle$ la fréquence de collision électron-particules lourdes.

Le tenseur de conductivité correspond à l'approximation de l'interaction maxwellienne :

$$\vec{\sigma} = \sigma_s = \begin{vmatrix} \frac{1}{1+\beta^2} & \frac{-\beta}{1+\beta^2} & 0 \\ \frac{\beta}{1+\beta^2} & \frac{1}{1+\beta^2} & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}$$

Le résultat de ces calculs des paramètres du plasma, assez grossiers, figure sur les graphiques I, II, III. J'ai supposé évidemment que le temps de transit du gaz autour de l'engin était assez court pour que la température T_g puisse rester faible.

Ce calcul implique également une hypothèse sur le temps d'ionisation, supposé bref devant ce temps de transit. Il est possible que l'effet de non-équilibre à l'ordre zéro des fonctions de distribution des espèces légères et lourdes, les pertes radiatives, les effets de paroi, de charge d'espace, soient susceptibles d'amener un remaniement quantitatif important des valeurs trouvées. On peut penser, comme le suggérait Claude Poher, qu'une composante HF, par exemple en 1 000 ou 2 000 mégahertz, du courant puisse amener un contrôle efficace de cette nécessaire ionisation.

Etape suivante : nous devons maintenant évaluer les ordres de grandeur des puissances électriques propres à assurer ces conditions-plasma dans l'air entourant la machine. Pour ce faire, nous utiliserons classiquement l'équation de l'énergie. Le problème des pertes inélastiques est évidemment important. Nous avons tenté d'en tenir compte globalement en utilisant les résultats de la référence (3), qui sont portés sur le graphique IV.

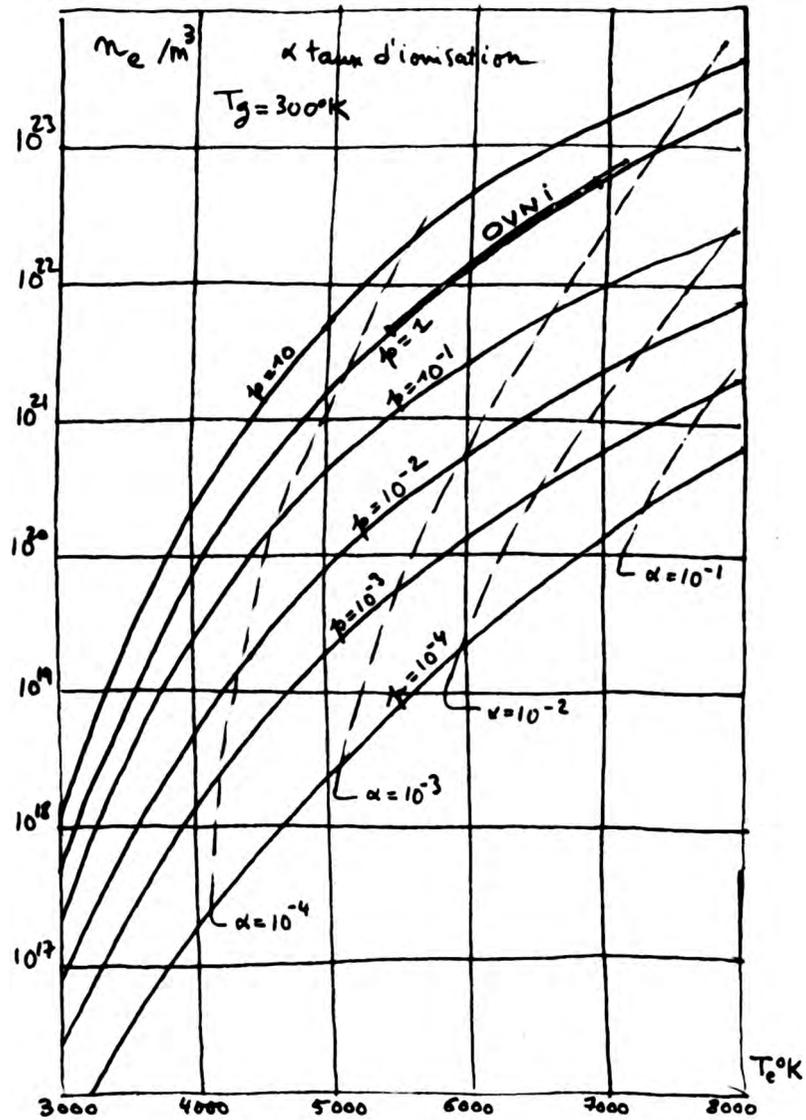


Planche I

Densité électronique, valeurs de crête et taux d'ionisation.

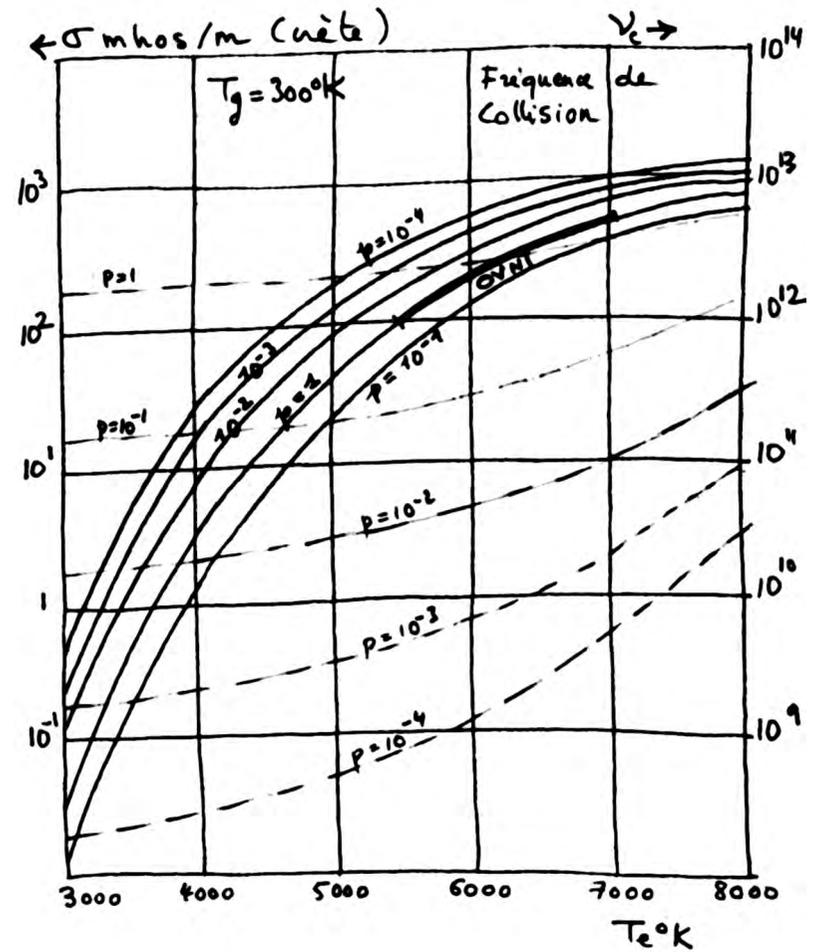


Planche II et Planche III

Conductivités électrique, scalaire et fréquences de collision.
Valeur de crête.

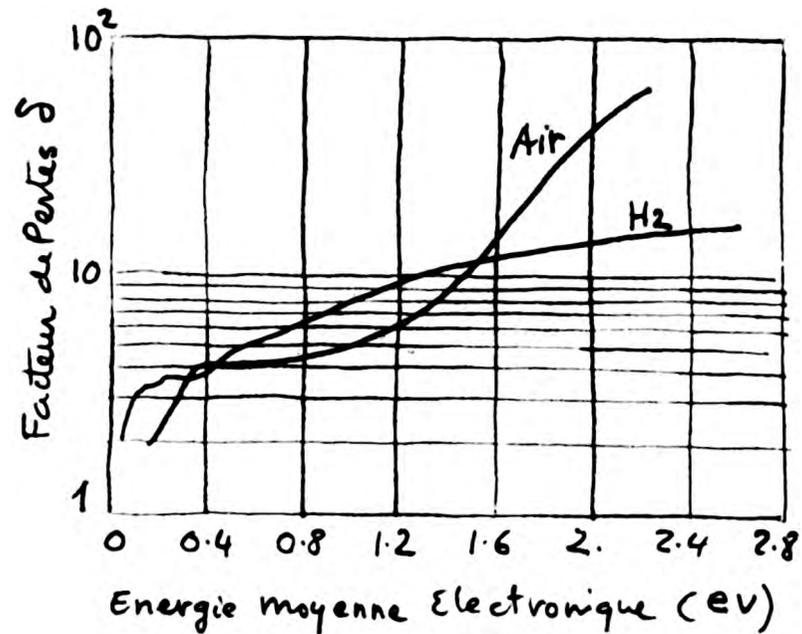


Planche IV
Facteur de pertes inélastiques.

Partant de là, on peut écrire l'équation de l'énergie :

$$P_e \text{ (watts/m}^3\text{)} = 3 k (T_e - T_g) \sum_{s \neq e} \frac{m_s}{n_s} n_s v_{es} \delta_s$$

Ce qui donne les puissances mises en jeu pour créer le plasma, non compte tenu de l'action d'une HF. Ceci est représenté sur la figure V.

Sur le graphique, nous avons porté deux domaines. Premièrement, la limite correspondant aux expériences que nous avons faites, où, compte tenu des sources dont nous disposons, on ne pouvait pas dépasser 100 watts au centimètre cube. Le second domaine, où la pression est alors la pression atmosphérique, correspondrait à celui de l'OVNI.

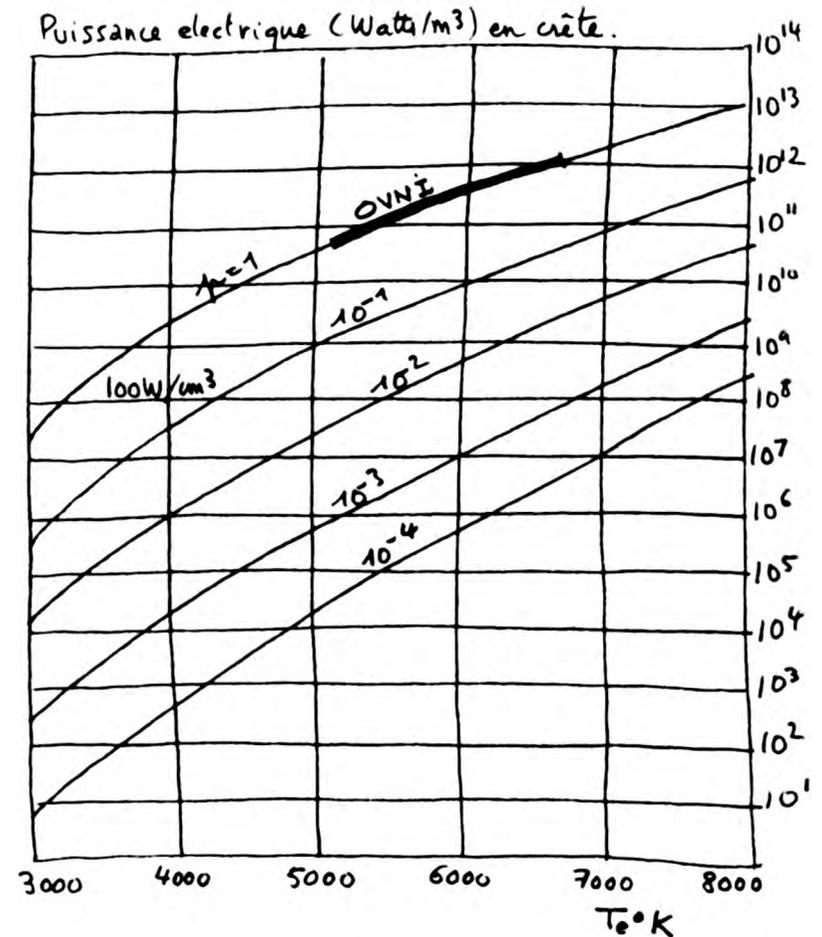


Planche V
Puissance électrique de crête.

Une fraction importante de cette puissance se retrouve, en fin du compte, dissipée sous forme radiative. Il me semble que cette fraction, dans le cas de l'air, pourrait être de l'ordre de 50 %, si on se base sur les coefficients de pertes.

En identifiant P_e au produit $\mathbf{J} \wedge \mathbf{E}$ où E est le champ électrique et J la densité de courant, on écrit :

$$P_e = \frac{\sigma_s E^2}{1 + \beta^2}$$

Nous avons vu que deux types de machines pouvaient être imaginées. Les « soucoupes » doivent opérer avec des paramètres de Hall au moins supérieurs à l'unité. Prenons $\beta = 3$ comme base de départ. Le graphique VI donne les valeurs du champ B , en gauss, nécessaire à créer cet effet Hall.

Sur ce diagramme, deux plages ont été soulignées. La première sert de base à nos expériences de simulation à basse pression. On voit que 200 gauss suffisent si la pression est de l'ordre du millième d'atmosphère, et la température de 3 000 K (électronique, bien sûr). Nous avons donc pu observer cet effet Hall dans ces conditions, avec d'assez bas niveaux de courant. Dès que le courant dépassait un seuil, on passait en régime coulombien, ce qui entraînait bien sûr un effondrement rapide du paramètre de Hall, à cause de la montée des collisions électrons-ions.

Dans de très prochaines expériences, le champ devrait atteindre le millier de gauss en continu et, en impulsif 10⁴ gauss (un tesla), ce qui permettrait un relèvement de la pression d'essai et de la température électronique.

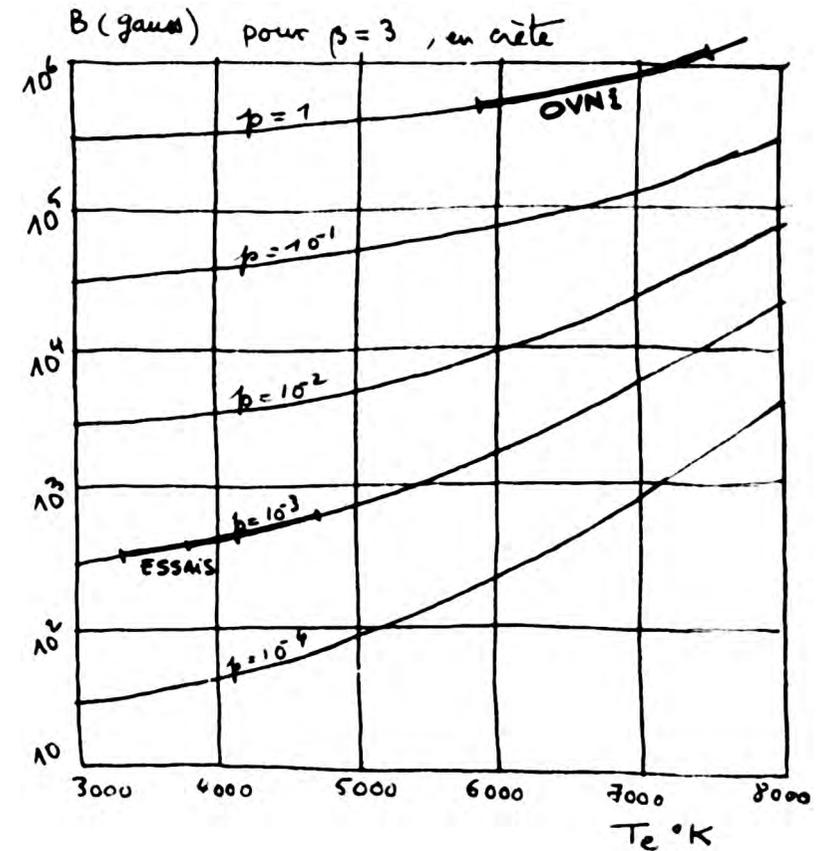


Planche VI
Champ magnétique de crête.

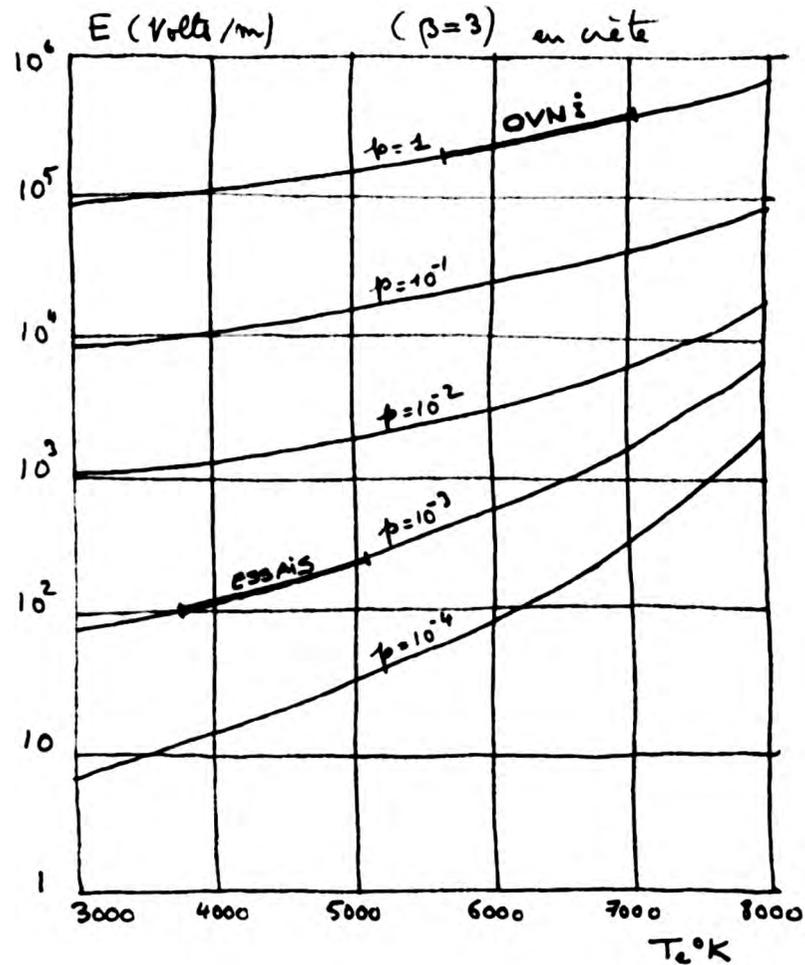


Planche VII
Champ électrique de crête.

La seconde plage correspond au fonctionnement « vraie grandeur ». On voit que le champ B doit monter à 10^6 gauss (100 teslas). Ce sont des champs que l'on peut très bien réaliser techniquement de façon impulsionnelle.

En suivant la logique de cette évaluation technologique, nous calculons maintenant le champ électrique, en volts par mètre. Le résultat du calcul correspond à la planche VII.

Le paramètre de Hall est toujours fixé à trois. Si l'on excepte l'effet de chute de tension cathodique (il existe de nombreux recours pour limiter cette chute de tension), on voit que, pour un régime de vol à la pression atmosphérique, et des dimensions caractéristiques de l'ordre de 10 mètres, la tension globale de crête devrait atteindre quelques millions de volts.

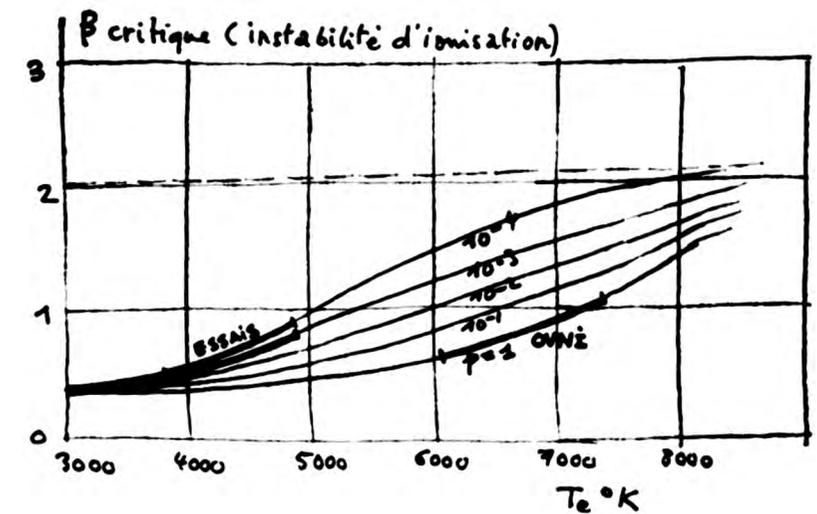


Planche VIII
Paramètre de Hall Critique.

Dans nos expériences, faites évidemment avec des électrodes « froides », la chute de tension cathodique était élevée. Aussi il n'était pas étonnant de constater que la tension d'entretien, pour ces premiers essais à une pression de 10^{-3} bar dépassait largement la valeur calculée, qui figure dans le graphique. Suivant toujours cette logique, calculons maintenant la densité de courant $J_{//}$ en ampères par mètre carré, toujours pour cette valeur de référence $\beta = 3$. Voir planche IX.

On voit que le régime OVNI donne une densité de courant de crête de quelque 10^8 ampères par mètre carré. La puissance de crête serait alors de :

$$V \times J_{//} = 10^{14} \text{ watts/m}^3$$

Ces valeurs peuvent paraître gigantesques pour le technicien. Elles nous conduisent immédiatement à un régime *pulsé*.

Ainsi, la puissance sera injectée par trains d'impulsions d'une durée τ avec une fréquence de récurrence π .

Les valeurs moyennes des paramètres se déduisent alors, grosso modo, des valeurs de crête, en les multipliant par le facteur τ/π .

Je pense qu'un ordre de grandeur $\tau/\pi \sim 10^{-3}$ serait valable. Dans un vol modérément supersonique π devrait être inférieur ou de l'ordre de la milliseconde. Ce qui conduit à un temps d'injection $\tau = 10^{-6}$ seconde.

L'appareil régulerait l'injection de puissance non en changeant les valeurs de crête, mais en agissant sur la durée des impulsions, c'est-à-dire sur le rapport τ/π . Nous avons vu qu'un appareil de 20 tonnes pourrait voler avec 100 000 mégawatts. Peut-être mille. On retrouve donc à peu près les ordres de grandeurs requis. A ce stade nous pouvons envisager de dégager les paramètres opérationnels d'un engin de 10 mètres de diamètre et de 20 tonnes de poids total. Toutes

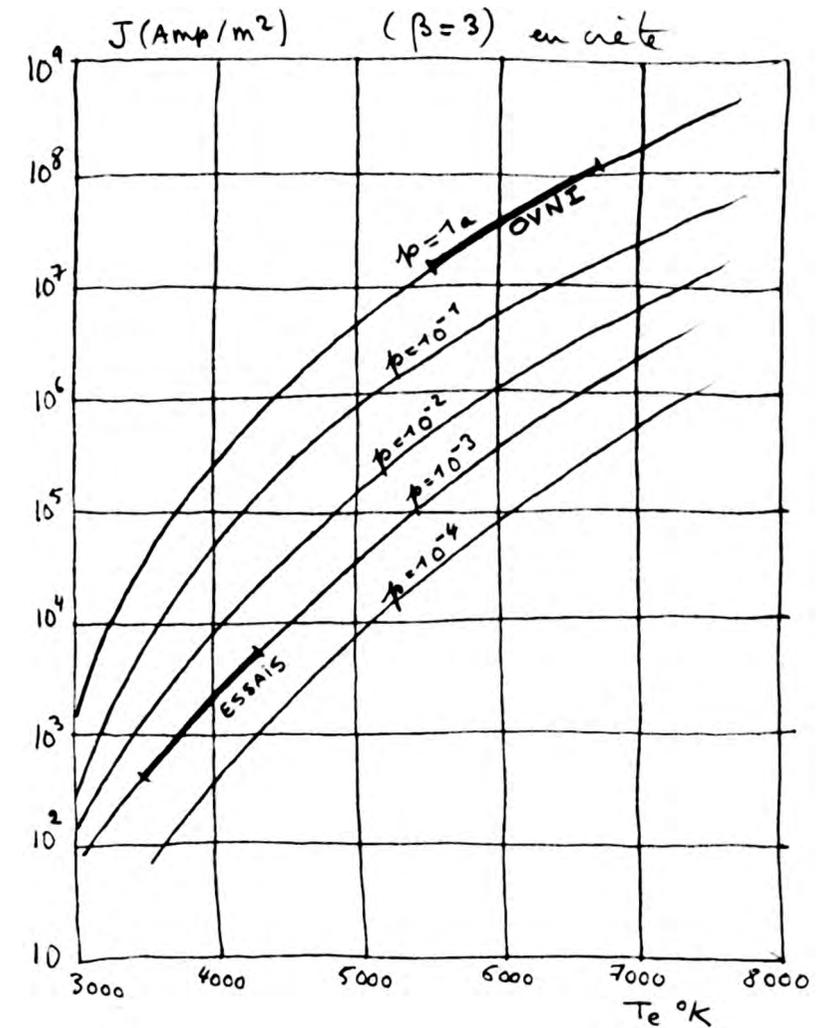


Planche IX
Densité de courant électrique de crête.

les composantes du plasma : champ magnétique, champ électromoteur, etc... se trouvent injectées en impulsions d'une microseconde, avec une fréquence de récurrence de l'ordre de 10^{-3} seconde. Ainsi le champ B, qui atteint 100 teslas en crête, n'a-t-il plus qu'une valeur moyenne de 0,1 tesla, ce qui est très faible. En tout cas très tolérable mécaniquement. L'intensité moyenne tombe aussi à des valeurs technologiquement acceptables. Cette première démarche étant faite, qui tend seulement à suggérer la faisabilité du vol MHD, compatible avec notre technologie du XX^e siècle, nous ne devons pas minimiser les problèmes possibles. Nous avons déjà, *a priori*, recensé certains d'entre eux.

Dans le fonctionnement pulsé il y a, *a priori*, variation des paramètres du plasma. On peut évidemment se demander si le gaz va « suivre » ces ordres que nous voulons lui donner. Lorsqu'on applique un champ électrique sur un gaz, dans une direction donnée, les électrons se mettent en mouvement. Les chocs « thermalisent » le gaz d'électrons. L'examen semble indiquer que le temps de relaxation correspondant est très faible (10^{-12} seconde). Le problème plus aigu est celui de l'ionisation. Bien sûr, l'effet de non-équilibre doit jouer. Cette question n'est pas très bien dominée théoriquement, et il est possible qu'il y ait des difficultés de ce côté-là, c'est-à-dire que le temps d'ionisation ne soit pas suffisamment bref. Un entretien et un contrôle de cette ionisation seraient souhaitables, en injectant non plus des impulsions de courant continu, mais du « continu-alternatif », autrement dit en modulant les impulsions avec de la HF, à 1 000 ou 2 000 mégahertz.

Le calcul semble indiquer que la puissance totale se répartit acceptablement en :

- Excitation de l'air.
- Ionisation.
- Accélération du plasma.

Bien que je n'aie pas tenu compte des pertes par frottement sur la « peau » de l'engin, il semble que 50 % de la puissance totale injectée puisse être récupérée sous forme dynamique.

Les gens qui connaissent bien les machines à effet Hall fonctionnant en état prononcé d'hors équilibre, savent qu'il y a un problème aigu d'instabilité électrothermique. Pourrait-on effectivement obtenir ce « pattern » spiralé qui est la clé du fonctionnement de ces soucoupes MHD ? Velikhov a montré en effet que les plasmas toléraient difficilement la double contrainte $T_e > T_g$, et β élevé. Référence (4), (5), (6). En me basant sur la référence (6), j'ai calculé les configurations critiques. Ceci correspond à la planche VIII. Comme on le voit, il y a potentialité d'instabilité électrothermique.

Nos expériences à basse pression ont porté sur des régimes coulombiens et non coulombiens. Et il semble bien, en alimentation continue, que nous ayons observé les ondes caractéristiques associées à cette instabilité, et qui, de fait, tendent à limiter le paramètre de Hall, donc l'enroulement en spirale du courant, à une valeur insuffisante pour permettre le fonctionnement requis. Mais nos valeurs de champ (200 gauss) ne nous permettaient de toute façon pas de monter très haut dans ce régime de Hall ($\beta \sim 0,7$ à 1).

Plusieurs voies s'ouvrent alors. Faut-il rechercher un régime coulombien, c'est-à-dire à forte température électronique (7 000 K) ?

Dans nos expériences, le problème ne se posait pas, car en alimentation continue, dès que le régime coulombien était atteint, la densité de courant devenait insupportable pour les électrodes et entraînait la destruction de celles-ci.

Les échanges radiatifs, dans ce plasma, pourraient avoir un effet stabilisant « naturel ». Mais on peut songer, d'ores et déjà, à nombre de solutions palliatives. Nous avons dit que la tension n'était appliquée que pendant 10^{-6} seconde. Hélas le

calcul révèle que l'instabilité est encore plus rapide, puisqu'à cette pression atmosphérique le temps caractéristique de sa croissance oscille entre 10^{-8} et 10^{-7} seconde.

Autre solution : créer une sudation d'une substance créant un couplage radiatif dans le plasma telle que la longueur d'émission-réabsorption soit de l'ordre de la longueur d'onde de l'instabilité, probablement de l'ordre du mètre. C'est une reprise d'une idée due à Solbès, qui s'appliquait bien sûr non aux OVNI, mais aux convertisseurs MHD.

Autre solution : garnir toute la paroi de micro-électrodes asservies, créant une régularisation « forcée » de la densité électronique. C'est une technique envisageable mais, plus simplement, la HF pourrait s'en charger, en entretenant et en contrôlant cette ionisation, que cette HF soit injectée au niveau des électrodes « primaires » ou sur toute la « peau » de l'engin. Ceci ne me paraît pas déraisonnable dans la mesure précisément où la période de cette HF (10^{-9} seconde) est inférieure au temps de croissance de l'instabilité.

Nous allons passer maintenant à un autre type de problème (je laisse tomber les instabilités magnéto-acoustiques), que nous n'avons pas prévu et qui est apparu dans l'expérimentation. Avec les forts champs magnétiques évoqués, la pression magnétique $B^2/2\mu_0$ est évidemment très élevée. Dans nos expériences, lorsque nous alimentons l'engin en continu, celle-ci se trouvait nettement supérieure à la pression électronique $p_e = n_e k T_e$. Il s'ensuivit aussitôt un effet de soufflage de la décharge loin de la paroi. Nous avons cru naïvement que cette décharge suivrait sagement la peau isolante de l'engin discoïde. Engin qui, au départ, avait la forme d'un ellipsoïde aplati. Mais à l'expérience, celle-ci migra aussitôt vers

des régions où B était plus faible. Au fond, c'était à la fois un mal et un bien. C'était gênant parce que le courant allait s'établir dans des régions où ce champ était le plus faible, ce qui diminuait l'efficacité du pompage. Mais cela ouvrait une perspective nouvelle, celle de pouvoir éventuellement situer cette décharge en dehors de la paroi, donc de protéger celle-ci des effets thermiques et électriques.

La première solution que nous avons envisagée fut de passer en régime coulombien, afin de travailler avec un plasma à mobilité variable. Effectivement, nous pûmes voir la décharge reprendre sagement sa place, près de la surface de l'engin. C'était peut-être une des solutions. Mais, pour nous, cela conduisait en une seconde à la destruction de la maquette.

Cet effet de pression magnétique serait-il aussi important dans un fonctionnement impulsif ? Faut-il calculer cette pression en utilisant la valeur moyenne (0,1 tesla) et non la valeur de crête, auquel cas le soufflage deviendrait évidemment très peu sensible, nous ne le savons pas. Et nous n'avons pas pu tester cette idée par l'expérience. Mais Viton a eu une autre idée : si cette pression magnétique, maximale à la surface de la paroi d'un engin en forme d'ellipsoïde aplati muni d'un seul solénoïde équatorial, a pour effet de souffler le plasma au loin, pourquoi ne pas rechercher une configuration magnétique telle que le champ soit maximum non plus sur cette paroi, mais un peu au-dessus. Il imagina donc une configuration à trois solénoïdes. M. Duban eut la gentillesse de se charger des calculs machine. Les lignes de champ calculées correspondent à la planche X. On obtient un dessin de soucoupe différent. En effet, il semble logique de tracer la « peau » de l'engin de manière que celle-ci soit normale aux lignes de champ B, dans la zone où s'effectue l'interaction.

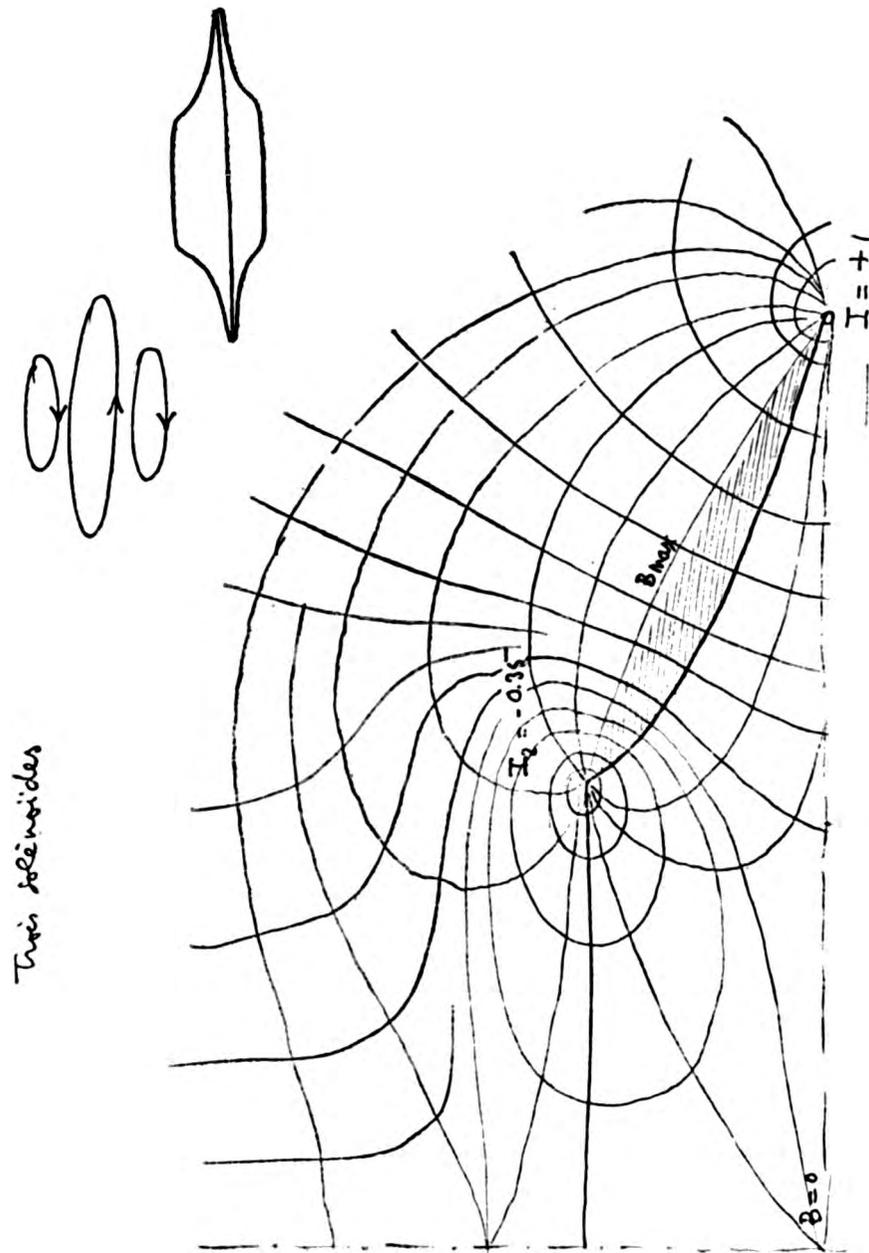


Planche X
Trois solénoïdes.

C'est ce qui explique peut-être, dans cette logique MHD, cette forme, ou ces formes, absurdes dans un contexte de mécanique des fluides traditionnelle. Une chose est à retenir : on peut jouer sur beaucoup de paramètres, et faire en sorte de situer le plasma à distance voulue de l'appareil. Double avantage : protection de la paroi et accroissement du volume où l'air se trouve brassé par les forces de Lorentz. Il y a une masse d'études passionnantes à faire là-dessus. A l'heure où j'écris ces lignes, les expériences de confinement en sont à leur tout début.

Hier, des chercheurs du laboratoire d'aérodynamique de Meudon m'ont offert la possibilité d'effectuer des expériences dans leur soufflerie supersonique. Celle-ci génère des écoulements à basse pression. C'est donc un moyen de dégrossissage très utile car le flux d'énergie qui tombe sur la maquette reste modéré (un gramme par seconde). On peut donc envisager une action sur l'onde de choc frontale avec des injections d'énergie électrique modérées.

Je me rends compte, en écrivant ces lignes hâtivement, à quel point cet exposé manque de cohérence et d'exhaustivité. J'ai sélectionné, parmi les notes que nous avons prises au cours de ces quatre mois de travail, les points qui me paraissent les moins flous. Les calculs et les expériences sur les plasmas sont choses délicates. Il faut être extrêmement prudent dans l'interprétation des résultats.

C'est donc « sur la pointe des pieds » que je vais maintenant évoquer le problème du moteur. Dans la partie vulgarisation, j'ai donné le schéma du principe du moteur. Je crois qu'il serait déraisonnable de donner les chiffres que nous avons essayé de calculer, trop grossièrement à mon goût. Les projets de fusion

par laser ont été basés sur des calculs d'ordinateur extrêmement sophistiqués. On a même fait appel à ce que l'on appelle des « expériences d'ordinateur ». Le problème de l'instabilité électrothermique se retrouverait dans la configuration Diabolo, puisqu'elle fonctionne également avec un paramètre de Hall élevé. Cette instabilité pourrait être cependant moins critique qu'à l'extérieur du véhicule. En effet, les isotopes de l'hydrogène n'ont qu'une fonction d'ionisation à 13,35 eV. Si le degré de cette ionisation, évidemment hors d'équilibre thermodynamique, est élevé, c'est une des manières de pallier cette instabilité. C'est une vieille idée due à Velikhov. Cela conduit, bien sûr, à des valeurs élevées de la température électronique, même si on baisse la pression dans la chambre à des valeurs nettement subatmosphériques.

Ce moteur est peut-être une absurdité. Dans les mois passés nous avons imaginé un moteur torique mais de toute évidence, celui-ci ne pouvait pas donner les voltages requis. A la suite d'un exposé fait hier à l'Observatoire de Meudon, les critiques ont fusé de toute part : « Que fais-tu des courants induits par le champ rapidement variable, et les neutrons de fusion ? Et le blindage ? Comment assurer la sphéricité de l'onde de choc implosive ? Qu'est-ce que cet effet laser que tu invoques ? Comment cela se passe-t-il ? »

Je n'en sais rien. Ce moteur n'est peut-être qu'une machine à réfléchir, sans plus. D'autres auront des idées plus solides, plus construites, sans doute. L'essentiel est peut-être de se dire que l'on peut inventer des moteurs fantastiques et qu'il *faut* le faire.

Dans un premier temps, on pourrait essayer de voir si on peut obtenir une boule de plasma dense et chaude avec un

compresseur de ce type. Une enceinte de quelques centimètres cubes, emplie d'hydrogène léger pourrait suffire. Un solénoïde donnerait un champ de 10 teslas, par exemple. En déchargeant un condensateur dans l'enceinte, on pourrait créer l'ionisation et l'onde de choc. Peut-être aussi contrôler l'ionisation en injectant de la HF, et puis chercher à voir ce qui se passe au centre...

En prenant le problème par l'autre bout, on pourrait injecter de l'énergie au centre du diabolo, avec un laser de puissance, et créer ainsi une *blast wave*, et voir si ce petit diabolo, toujours baignant dans ce champ intense, veut bien se comporter comme un générateur MHD de Hall. Ces manip de dégrossissage ne sont pas hors de portée de laboratoires moyens.

Il est évident que deux chercheurs isolés ne peuvent pas traiter un problème aussi complexe, tant sur le plan expérimental que sur le plan théorique. Ceci est donc une sorte d'appel à la communauté scientifique internationale. Si les idées développées ici, ébauchées, devrais-je dire, ne tiennent pas debout, alors il faudra les détruire. C'est la règle du jeu. Mais s'il n'y a, ne serait-ce qu'un atome de vérité là-dedans, si ces modèles MHD ne sont que l'ombre portée de systèmes intelligents beaucoup plus élaborés, alors on devra s'employer à les découvrir. La balle est lancée, mais sachez bien que la route des étoiles n'appartient à personne.

Jean-Pierre Petit

REFERENCES

1. Ben Daniel D.J. et S. TAMOR. – *Non equilibrium ionization in magneto hydrodynamic generators*. Gen. Elec. Res. lab. Dept. 62-RL (2922 E). January 1962.
2. J.P. PETIT et J.S. DARROZES. – *Une nouvelle formulation des équations du mouvement d'un gaz ionisé dans un régime dominé par les collisions*. Journal de Mécanique, vol. 14, n° 4, 1975.
3. H. MASSEY et J.D. CRAGGS. – *Hanbuch der Physik*. 37/1 pp. 314-415, 1959.
4. E. VELIKHOV. – *Hall instability of current carrying slightly ionized plasma*. MHD Elec. Power. Gen. Newcastle 1962, p. 135.
5. A. SOLBES. – *Etude des inhomogénéités planes dans un plasma de conversion MHD. Instabilités électroniques*. PA Ign/R Saclay, 8 septembre 1966.
6. J.P. PETIT et J. VALENSI. – *Taux de croissance de l'instabilité électrothermique et paramètre de Hall critique dans les générateurs MHD à cycle fermé lorsque la mobilité électronique est variable*. Cras T. 269, pp. 365-367, 1^{er} septembre 1969.

DÉCEMBRE 2008

Les expériences ultérieures de MHD réalisées par Jean-Pierre Petit sont décrites de manière vulgarisée à la partie « Téléchargements » du site web UFO-Science :

<http://www.ufo-science.com>

Les publications scientifiques en MHD (majoritairement en anglais) sont disponibles sur le site MHD Prospects :

<http://www.mhdprospects.com>
