

La saga de la MHD dans les gaz

Jean-Pierre Petit

Directeur de recherche au CNRS

L'auteur, l'un des meilleurs spécialistes français de la magnétohydrodynamique (MHD), revient ici sur l'histoire de cette technique, en insistant sur ses implications militaires. Pour lui, la MHD civile n'est que la partie émergée d'un iceberg comprenant de nombreuses techniques de pointe intéressantes fortement les militaires.

Dans des articles précédemment publiés dans la revue, le lecteur a pu découvrir certains aspects de cette discipline mal connue : la MHD. Après une éclipse de dix années, celle-ci redevient « à la mode »¹.

Comme évoqué dans les articles précédents, l'idée initiale concernant les techniques MHD, était centrée sur les rendements de conversion, très supérieurs à ceux des centrales conventionnelles, à turbine à gaz, parce que liés au procédé. L'écueil était évidemment les fortes températures à mettre en œuvre pour que le fluide caloporteur, le gaz contenant l'énergie de base, déboulant dans les tuyères des différents générateurs MHD, ait une conductivité électrique suffisante. En règle générale le montage différait peu de celui qu'avait utilisé Faraday, des siècles plus tôt, pour essayer d'extraire l'énergie des marées dans l'estuaire de la Tamise. Dans le cours du fleuve lui-même, l'eau douce eut été trop peu conductrice de l'électricité. Seule l'eau salée pouvait convenir. Faraday plaça donc deux électrodes de part et d'autre du fleuve. Le courant liquide dans l'estuaire, lié aux marées, coupait la composante verticale du champ magnétique terrestre (une fraction de gauss). Le fluide était donc le siège d'une force électromotrice VBL où V est la vitesse, B l'intensité du champ magnétique et L la distance entre les électrodes. Il montra effectivement qu'on pouvait, à l'aide de ce générateur MHD, produire un faible courant, d'intérêt industriel dérisoire.

Dans les années 60, les ingénieurs reprirent cette idée en utilisant cette fois des champs plus intenses (10 à 20.000 gauss) et des fluides chauds et denses. Pour accroître la conductivité électrique on adjoignait un faible

pourcentage d'une substance aisément ionisable, en l'occurrence du césium (2%). Deux filières étaient envisagées. La première, dite « à cycle ouvert », consistait à utiliser le gaz issu d'une tuyère où on faisait brûler des hydrocarbures sous pression, le gaz étant alors détendu dans une tuyère supersonique. Une installation de ce type fonctionna par exemple au centre EDF des Renardières, près de Moret-sur-Loing. La seconde, dite en « cycle fermé », visait à utiliser le gaz de refroidissement d'un réacteur nucléaire dit « à haute température » (HTR). Ainsi était conçue la boucle Typhée, construite au CEA de Fontenay-aux-Roses dans les années 70.

Dans les deux approches mentionnées, les problèmes étaient considérables. Il fallait disposer d'électrodes supportant d'aussi fortes températures sans se volatiliser. De nombreux pays, Angleterre, France, Allemagne, Etats-Unis (dans de nombreuses universités), Italie, Hollande, URSS, s'engagèrent dans cette course. Seuls les soviétiques, avec leur générateur U-25, construit à l'Institut Kurtchatov des hautes températures, parvinrent dans les années 70 à mettre en œuvre des installations quasi-opérationnelles, essentiellement grâce aux technologies de pointe qu'ils maîtrisaient, dans le domaine des électrodes en céramique.

Une des surprises de cette communauté internationale de chercheurs MHD fut de découvrir, lors d'un congrès tenu à Boston en 1979, que les Chinois avaient également mené un effort très important dans cette direction, à l'insu de tous, utilisant les deux filières. Lors de ce congrès un chercheur américain avouait sa stupéfaction : « Comment avons-nous fait pour ignorer tout ceci, alors que nous quadrillions sans cesse le territoire chinois avec nos satellites ? »

Hélas, les Américains, traquant tout signe d'activité de pointe sur le territoire chinois, recherchaient des installations qui auraient été semblables aux leurs, c'est-à-dire des ensembles de bâtiments aux formes géométriques régulières, jouxtant un parking automobile important. Mais les ima-

ges montrées par les Chinois étaient fort différentes et il apparut à ces spécialistes qu'un centre de recherche de pointe en MHD, dans ce pays, ressemblait à une vieille cimenterie et que le volume de son activité devait être évalué par l'importance du nombre de bicyclettes attenantes aux bâtiments...

L'émergence des générateurs MHD est liée à la maîtrise des matériaux résistant aux hautes températures. Mais elle est aussi directement liée à l'intensité du champ magnétique appliqué. A cette époque, les champs, produits soit par des solénoïdes conventionnels, soit par des dispositifs à supraconducteurs, étaient trop faibles. Les progrès récents réalisés en matière de supraconduction vont donc relancer la question dans les années ou décennies à venir, immanquablement.

Une solution consistait à essayer de mettre le gaz en état « bitempérature », dans lequel la température du « gaz d'électrons » était notablement supérieure à celle du gaz lui-même, déterminée par les « espèces lourdes ». L'idée fut lancée en particulier aux États-Unis par Kerrebrock. Ce concept ne doit pas surprendre le lecteur. Il possède dans son bureau ou dans son appartement de tels systèmes bitempératures, qui sont tout simplement... les tubes au néon. On sait que ces tubes, en fonctionnement, restent froids, par opposition aux lampes à incandescence, alors que le « gaz d'électrons » est à plusieurs milliers de degrés.

Tout ceci est en détails dans ma bande dessinée *Pour quelques ampères de plus*, dans la série des aventures d'Anselme Lanturlu. Le champ électrique appliqué accélère les rares électrons « libres », non liés aux atomes, existant dans le gaz. Comme le gaz est raréfié, le libre parcours moyen est alors suffisamment important pour que ces électrons acquièrent une énergie cinétique suffisante, au cours de cette course, pour arracher des électrons liés aux atomes neutres. Il se crée alors d'autres électrons libres qui pourront être accélérés à leur tour, donnant ce qu'on appelle une « avalanche électronique ». Dans un tube au néon un état de régime se crée. Les électrons rapides percutent alors l'enduit fluorescent tapissant le tube, qui émet de la lumière. Lorsque la tension est coupée, tous ces électrons retournent immédiatement sur leurs atomes d'origine (désionisation).

Les calculs montrèrent qu'une telle situation pouvait être réalisée, dans des gaz denses, le champ électrique, électromoteur, étant le « champ apparent » V égal au produit V (vitesse) par B (champ magnétique). Les « électrons secondaires » étaient alors produits par la semence alcaline, à bas potentiel d'ionisation (césium). Ce procédé est inemployable pour la conversion directe. En effet, les produits de combustion sont constitués de molécules s'excitant facilement (dont principalement le gaz carbonique). Cette excitation, suivie aussitôt d'une désexcitation radiative, a pour effet d'empêcher la montée en température du gaz d'électrons, donc le

développement de cette « ionisation non-thermique ». Seuls les cycles fermés pouvaient convenir. On utilisait alors comme fluide de conversion un gaz rare, essentiellement de l'hélium, dont le potentiel d'excitation était suffisamment important pour rendre ces pertes négligeables. On avait calculé que la température électronique pourrait atteindre deux fois celle du gaz, voire plus. C'est sur cette base qu'avait été construite la coûteuse et complexe installation Typhée.

Mais en 1965, au congrès de Newcastle, Velikhov, jeune et brillant chercheur devenu par la suite vice-président de l'Académie des Sciences d'URSS, fit des prédictions théoriques alarmantes (qui ne furent pas à l'époque prises au sérieux). Selon lui le fluide de conversion devait être le siège d'une instabilité « électrothermique » à développement très rapide, qui devait compromettre l'opération. Il s'agissait de ce que l'on pourrait appeler une « turbulence électronique ». L'ionisation devenait alors très inhomogène et le milieu se présentait alors comme un « mille-feuille » avec alternance de couches très riches en électrons et de couches faiblement conductrices de l'électricité.

Le drame était que cette instabilité naissait dès que le champ magnétique devenait trop intense (pour le spécialiste, dès que le « paramètre de Hall dépassait une valeur critique calculée par Velikhov, proportionnelle à B).

Ce phénomène se manifesta effectivement, au grand dam de ceux qui avaient misé sur cette formule a priori élégante. Les photographies des veines, prises à l'aide de caméras ultra-rapides, révélaient un plasma hautement inhomogène, stratifié, qui tenait plus du « condensateur » que d'un conducteur électrique normal. Les performances des générateurs subirent le contrecoup de ce nouveau phénomène et les projets s'avèrent non-rentables. Certaines pompes à vide, à palettes, primitives, possèdent un dispositif de contrôle de l'ionisation, sous la forme d'une simple diode : une ampoule de verre contenant deux électrodes mises sous tension. Lorsque la pression égale



Les illustrations de cet article sont tirées de bande dessinée de Jean-Pierre Petit *Le Mur du Silence*, dans la série des aventures d'Anselme Lanturlu (Editions Belin, 8 rue Férou, Paris 75006.).

celle de la pièce, le courant ne passe pas. Puis, dès que celle-ci baisse, la décharge devient visible. Enfin, lorsque la pression tombe aux alentours d'un centième de millimètre de mercure, la lueur disparaît : il n'y a plus assez de gaz pour assurer le passage d'un courant notable. C'est ainsi que les chercheurs peuvent contrôler à peu de frais, de manière approximative, la pression atteinte. Si vous approchez de cette ampoule de verre un aimant permanent puissant, vous verrez la décharge se stratifier et apparaître des « piles d'assiettes », inclinées par rapport à l'axe de la décharge, qui sont la signature caractéristique de l'instabilité de Velikhov.

Toujours est-il que les puissances extraites et les rendements des générateurs MHD bitempératures s'avèrent dérisoires. C'est à cette époque (1965) que je devins chercheur dans un laboratoire du CNRS, l'Institut de Mécanique des fluides de Marseille. Dans celui-ci on avait créé des sortes de simulateurs de cette conversion MHD. On travaillait sur de l'argon pur à 10.000°C, sous une pression d'un bar, déboulant dans une minuscule veine MHD, de la taille d'une grosse boîte d'allumettes, à des milliers de mètres par seconde, à vitesse supersonique. Le champ était produit par un solénoïde alimenté, pendant deux millièmes de seconde, par une batterie de condensateur. Le lecteur peut se demander comment une telle installation pouvait tenir à des températures aussi fortes. Mais il s'agissait d'expériences impulsives, de très brèves durées (200 millièmes de seconde). Le gaz était mis en mouvement par un explosif, dans ce qu'on appelait un « tube à choc », l'ensemble évoquant une sorte de canon à gaz chaud, de 6 mètres de long. Ces dispositifs furent mis en œuvre aux Etats-Unis par Zauderer et en France par Inglesakis. Les chercheurs qui se noyaient dans les problèmes technologiques contemplaient avec effarement nos tuyères en plexiglas et nos électrodes en cuivre rouge. Les rendements étaient importants et les puissances extraites considérables. La « boîte d'allumettes » produisait plusieurs mégawatts électriques, mais hélas pendant des temps très brefs.

À cette époque, le CEA nous demanda de tenter de réaliser des fonctionnements bitempératures, l'idée émanant de l'ingénieur Solbès. Tout le monde s'attendait à voir naître l'instabilité de Velikhov et pensait que cela serait une façon commode de l'étudier.

Dès cette époque, j'étais devenu assez fin théoricien pour pouvoir maîtriser les différents tenants et aboutissants de cette instabilité d'ionisation. Je m'étais d'ailleurs lié d'amitié avec Velikhov et avec son collaborateur Golubev, ce qui m'avait permis de progresser rapidement dans la compréhension du phénomène. Je calculais que si l'ionisation pouvait être établie suffisamment rapidement, ceci ramenait ce paramètre de Hall en dessous de sa valeur critique et qu'il existait alors une « une plage de stabilité ». Si l'ionisation gagnait de vitesse l'instabilité, le tour était joué ; cette idée fonctionna au premier essai et cela mérite d'être conté. Toute l'équipe avait chargé les condensateurs et le « canon à gaz » pour l'essai, en 1966. Le préposé aux mesures s'attendait à des valeurs d'intensité débitée assez faibles et avait réglé ses appareils d'enregistrement en conséquence. Mais les spots des oscilloscopes Tectronix partirent dans la nature et il fallut refaire des essais avec de nouveaux réglages. Au troisième essai, à la fin de la matinée il devint clair que la machine fonctionnait cette fois avec une température de gaz de « seulement » 6000 degrés et une température électronique proche des 10.000 et débitait toujours des mégawatts. Inglesakis était sceptique. Je suggérais alors d'adjoindre 2% de gaz carbonique dans le mélange, indiquant que ce gaz devrait refroidir le gaz d'électrons, comme évoqué plus haut, ce qui fut immédiatement le cas. Tout ceci fut publié au colloque international de MHD de Varsovie, en 1967 et surprit beaucoup nos collègues étrangers.

Une telle idée aurait dû être exploitée et développée, mais à l'époque la MHD battait de l'aile en France et le gouvernement, frappé par la récession, avait décidé de faire des coupes sombres dans certains budgets de recherche. Typhée, qui n'avait

rien produit de bon, fut démantelée. Mais nos recherches furent aspirées, elles aussi, dans ce maelström. Je quittais mon laboratoire pour rejoindre l'observatoire de Marseille. Après mon départ, un de mes étudiants, Jean-Paul Caressa, reprit ces travaux à son compte et obtint un prix scientifique international, le prix Worthington.

Des recherches furent néanmoins poursuivies quelques années par d'autres chercheurs de l'IMFM, Fontaine et Forestier, qui concernaient cette fois l'accélération. Il ne s'agissait plus de rechercher un fonctionnement bitempérature, mais simplement d'accélérer le plasma lors de son passage dans la « boîte d'allumettes ». Des résultats spectaculaires furent obtenus. Le gaz, de l'argon à 10.000°C, sous une pression d'un bar, pénétrait dans la tuyère MHD à 2700 mètres par seconde et ressortait, 8 centimètres plus loin, à 8000 mètres par seconde !

La propulsion MHD avait fait l'objet de nombreuses études dans le monde dans les années précédentes. On sait que le rendement d'une fusée est directement lié à la vitesse d'éjection des gaz. C'est la raison pour laquelle sont apparus les propulseurs à mélange d'hydrogène et d'oxygène liquides (cryogéniques), où les vitesses d'éjections peuvent atteindre 2500 mètres par seconde, et qui tendent maintenant à détrôner les fusées à propergol solide.

L'idée sous-jacente d'une propulsion MHD appliquée à la conquête spatiale concernait les voyages de longue durée, style Terre-Mars. La théorie indiquait que ces rendements propulsifs étaient inadéquats pour des mises en orbite brève et ne convenaient qu'à des croisières interplanétaires de longue durée, qui permettraient de tirer le meilleur parti du moindre gramme de propulsif. Ces recherches furent interrompues lorsque le projet de conquête du sol martien fut abandonné.

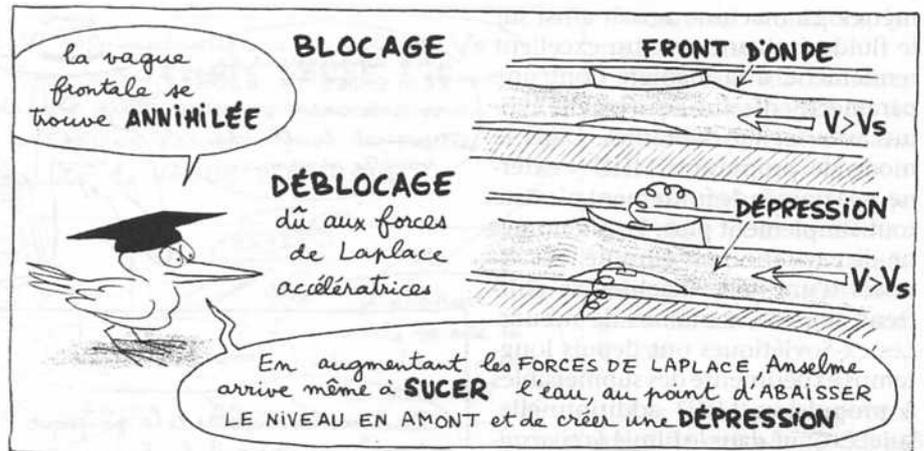
Au début des années 70, ces études de MHD gaz civiles connurent donc une désaffection dans tous les pays. Mais ceci fut sans effet sur les recher-

ches menées en MHD militaire. Celles-ci constituent en fait la partie immergée d'un iceberg et faisaient l'objet d'un épais secret défense. Décire cet ensemble de recherches serait fort long. L'un des pionniers en la matière ne fut autre que le célèbre et génial Andreï Sakharov². J'évoque avec pas mal de détails ces recherches, menées dans les années 60, dans mon ouvrage *Les enfants du Diable* (Nous analyserons cet ouvrage dans une prochaine parution, Ndlr). Après la mise à feu, en Nouvelle Zemble, de deux engins de 100 mégatonnes, Sakharov abandonna toute collaboration avec les militaires et se reconvertissement vers la cosmologie théorique.

Ces idées reprenaient le thème de la conversion en puissance électrique de l'énergie dégagée par un explosif, chimique d'abord, puis nucléaire. Elles étaient à l'époque mal comprises par les militaires français (DRET) et également... par les Américains. Au milieu des années 70 s'ébauchait ce qui allait devenir plus tard l'IDS. Tout un ensemble de systèmes à « énergie dirigée » : lasers, canons à électrons, etc., étaient alors à l'étude tant aux Etats-Unis qu'en URSS. Pour alimenter ces batteries de tir, tant dans l'espace qu'au sol, il fallait de fabuleuses puissances, se mesurant en térawatts (millions de millions de watts).

Les ingénieurs savent comment produire ces puissances fantastiques, avec des « générateurs homopolaires ». Schématiquement, il s'agit d'une sorte de « dynamo à auto-excitation » qui est mise en rotation à grande vitesse, stockant ainsi une fabuleuse quantité d'énergie cinétique. Puis, la machine est mise en court circuit et le rotor, freinant brutalement, délivre alors des intensités phénoménales. C'est ainsi qu'on alimente les systèmes liés aux tokamaks, par exemple (après qu'ils aient été initialement par des batteries de condensateurs remplissant des hangars, comme pour le tokamak de Fontenay-aux-Roses, aujourd'hui démantelé).

Ce qui était amusant, c'était que les Américains, dans ces années 70,



ignorant les possibilités des générateurs MHD à explosifs, avaient envisagé de doter leurs stations de tir de tels générateurs « à un coup », ce qui faisait ressembler ces stations à de vulgaires escopettes, à rechargement lent (il fallait relancer le rotor entre chaque tir !). Plus astucieux, les Soviétiques avaient d'emblée opté, sous l'impulsion de Velikhov, pour des stations de tir alimentées par des générateurs du type de Sakharov. Les militaires français restaient à cette époque merveilleusement ignorants et hors-jeu. Je me souviens, lorsque des bruits concernant cette « guerre des étoiles » parvinrent sur le vieux continent en 1979, du scepticisme des experts militaires français, qui doutaient que l'on puisse faire mouche sur une cible de quelques mètres, à 4000 kilomètres de distance, et exprimaient ces doutes à la télévision. Pourtant, le moindre télescope a une précision de pointage semblable... Par la suite, les militaires français, collaborant étroitement avec les astronomes, révisèrent leurs positions.

Dès 1965, Andreï Sakharov avait pressenti l'efficacité de générateurs électriques utilisant des explosifs nucléaires. Ceux-ci font l'objet de recherches actives aux Etats-Unis, mais nous ne nous étendrons pas plus longtemps sur ce sujet.

La MHD civile refait surface, de manière spectaculaire, surtout à la suite des essais menés par les Japonais avec leur péniche MHD, le Yamato 1, modeste ébauche de systèmes plus performants. Les Français (voir articles précédents dans *Fusion* n°52, 53 et 54) effectuent aussi des

recherches pour le compte de la marine militaire, dans l'optique d'une propulsion sous-marine. Mais, de quelque côté que l'on se tourne, une évidence se dégage : le moteur du développement de la MHD est essentiellement militaire. Dans un précédent article, le responsable japonais disait que la vitesse de submersibles MHD pouvait être « illimitée ». Je le suis sur ce point, mais il faudrait être bien naïf pour penser qu'il s'agirait de recherches à but civil. Le Yamato 1 est d'ailleurs identique à un esquif de 30 cm de longueur que j'avais fait évoluer en 1975 devant les caméras de TF1. Même rendement au ras des pâquerettes, à cause de la faiblesse du champ magnétique mis en œuvre. Dotés d'aimants permanents de 1000 gauss (au lieu de 40.000 pour le Yamato 1), mon navire MHD, consommant 400 watts, développait... un gramme de poussée, l'essentiel de la puissance étant dissipée par effet Joule dans l'eau salée du bassin.

Dans les articles précédemment publiés, il est expliqué qu'il existe deux modes distincts de propulsion, interne et externe. Le Yamato 1 est équipé de deux propulseurs internes, de forme prismatique. L'eau est aspirée à l'avant, accélérée et refoulée vers l'arrière. Le lecteur trouvera les principes du propulseur externe dans les illustrations page 41 et 42. Il est possible, dans ce cas, d'accélérer l'eau de mer qui entoure immédiatement la coque du submersible sur toute sa surface. Si on prenait l'exemple d'un submersible de grande taille, cette accélération serait réalisée sur toute sa « surface mouillée », dans une couche n'excédant pas quelques centi-

mètres. La machine agirait ainsi sur le fluide ambiant avec un excellent rendement, à la manière dont une paramécie entraîne l'eau où elle évolue avec ses cils vibratiles. Dans le mode de propulsion MHD « externe », la traînée de frottement n'existe tout simplement plus. Le phénomène de cavitation est éliminé. Les vitesses d'une telle machine se chiffrent alors en centaines de nœuds. Les ex-Soviétiques ont depuis longtemps expérimenté des submersibles à propulsion MHD additionnelle, sujet évoqué dans le film *A la poursuite d'Octobre Rouge*. Ils ont l'avantage d'être silencieux et de permettre ainsi à un sous-marin de quitter une zone dangereuse, sans révéler sa présence par le bruit de ses hélices. Le dessin représenté dans l'article de la revue est une « image d'artiste » d'une telle machine. Le véritable sous-marin MHD à propulsion externe a simplement la forme d'un œuf. Cette géométrie compacte lui permet de mieux résister aux fortes pressions. De telles machines sont aux essais dans des sanctuaires militaires américains. Ces machines se généraliseront lorsque l'intensité du champ magnétique atteindra 100.000 gauss, 10 teslas, comme spécifié en 1983 dans ma bande dessinée *Le mur du silence* et dans l'article consacré aux travaux japonais.

Le sous-marin s'affranchit évidemment du problème qui grève la propulsion MHD : le poids, car il ne doit sa sustentation qu'à la force d'Archimède. Mais le lecteur imaginera aisément que ce système puisse être étendu à la propulsion aérienne. Technologiquement, ceci reste évidemment hors de notre portée aujourd'hui. Ma bande dessinée *Le mur du silence* donne le cahier de charge d'un aérodyne MHD. Il faut alors pouvoir disposer, sous un poids de quelques dizaines de tonnes d'une source de quelques centaines ou milliers de mégawatts électriques. Le champ magnétique devra être aussi élevé que possible : 10 teslas ou plus. L'appareil pourrait alors croiser dans l'air dense à des vitesses atteignant quinze fois la vitesse du son.

L'eau de mer est naturellement conductrice de l'électricité. Celle-ci pourrait être accrue par sudation d'un



électrolyte, pendant de brèves phases d'accélération, par exemple pour une torpille. L'aérodyne MHD doit ioniser l'air ambiant. Ceci ne pose aucune difficulté de principe. J'ai donné tous ces éléments dans deux notes aux Comptes Rendus de l'Académie des Sciences, parues en 1975, et intitulées pudiquement « convertisseurs MHD d'un genre nouveau ». Il y a différentes façons d'ioniser l'air ambiant. L'une d'elles consiste à faire agir des micro-ondes dans la gamme de 3 Gigahertz. Ce sont des ondes fréquemment utilisées dans les radars. Si l'on fait cracher par un klystron des fréquences de cet ordre, avec une puissance suffisante, il y a ionisation de l'air, mais celle-ci n'est pas souhaitable, car l'air absorbe alors la puissance et la dissipe inutilement. L'ionisation pourrait être facilitée par sudation d'une substance ionisable (un alcalin à bas potentiel d'ionisation).

Mais apparaît alors un fait nouveau. On sait que dès qu'une machine volante conventionnelle atteint une allure supersonique se manifeste le phénomène de compressibilité. Les molécules d'air tendent à s'entasser au nez de l'engin. Il en résulte deux effets : une surpression, accroissant la traînée, et un échauffement, lié à la recompression. La solution classique

utilisée consiste alors à utiliser des bords d'attaque en lame de couteau. On se souviendra à ce sujet du célèbre chasseur F-104 dont les bords d'attaque étaient tellement effilés qu'ils devaient être recouverts de protections pour éviter que les mécanos ne s'y blessent.

La surpression et l'échauffement sont moindres en haute altitude. Aussi les chasseurs supersoniques ne prennent-ils toute leur vitesse que très loin du sol. La vitesse maximale envisageable au ras des pâquerettes ne saurait être très supérieure à celle du son (disons Mach 1,2). Ceci limite la vitesse des missiles de croisière et c'est la raison pour laquelle ils sont tous subsoniques (et non pour les rendre discrets). Vouloir aller plus vite impliquerait de déployer des énergies phénoménales et de trouver un moyen (dispendieux) d'évacuer les calories.

L'aérodyne MHD est une machine qui fonctionne complètement différemment. Toute sa surface est « active ». L'air ne peut s'accumuler nulle part car il est aussitôt entraîné autoritairement par l'accélération pariétale. Il n'y a donc ni échauffement ni onde de choc. On évite le phénomène de « traînée d'onde ». A titre indicatif, signalons que cette traînée est



Baluteau : Pourquoi, ça ne les intéressait pas ?

Le Quéau : Au contraire, et je peux vous dire qu'ils continuent plein pot dans leurs laboratoires secrets en confidentiel défense, et je suis placé pour le savoir : j'ai des rapports privilégiés avec la DRET. J'ai aussi longuement travaillé avec René Pellat³.

Les excellents rapports existant entre le CNRS et l'armée ne sont plus à démontrer. Que les militaires développent des recherches secrètes, c'est après tout leur métier. Mais j'ai trouvé assez choquant que de hauts responsables du CNRS, par-

environ la moitié de la traînée totale pour un Concorde volant à Mach 2. Corrélativement, cet appareil utilise la moitié de sa puissance pour voler et l'autre à faire du bruit ou à chauffer l'air ambiant : mauvais rendement !

En 1976, nous commençâmes, avec mon ami Viton, par effectuer des expériences en simulation hydraulique. A l'Ecole supérieure de l'aéronautique, dont je suis issu, j'avais appris que les vagues d'étrave et de poupe, autour d'une carène, sont les analogues fidèles des ondes de choc (la vitesse de propagation des ondes de surface étant l'analogie de celle du son).

Mon étudiant Bernard Lebrun soutint sous ma direction, en 1985, une thèse de doctorat, à l'université de Poitiers où fut démontrée théoriquement, à l'aide de simulations numériques (effectuées à l'époque sur un des premiers MacIntosh !) la possibilité d'annihiler les ondes de choc autour d'un profil d'aile, lenticulaire, immergé dans un courant fluide supersonique, à l'aide d'un système MHD. Une expertise récente du CNRS (1994) confirme le bien fondé de ces travaux. Ceux-ci firent d'ailleurs l'objet de plusieurs communications dans des congrès internationaux de MHD (Tsukuba, 1987, Pékin, 1992) et dans des revues spécialisées. Les calculs avaient été faits, avec l'appui du CNRS, en vue de réaliser une expé-

rience. Pour simplifier les choses, nous avions prévu d'utiliser le bon vieux « tube à choc » créant une rafale d'argon à 10.000°C, sous un bar, avec un nombre de Mach égal à 1,4. Un contrat fut passé avec le laboratoire du professeur Valentin, à Rouen. Mais la DRET (Direction de la recherche et des études techniques, qui est la section scientifique de la Direction générale de l'armement) fit alors pression pour que je ne puisse pas avoir de responsabilités dans la conduite de ces recherches. Pire : mon étudiant, en fin de bourse, fut remercié et dut partir dans le privé. J'abandonnai alors ce projet pour me reconverter, comme jadis Sakharov, dans la cosmologie théorique. Ces recherches, décapitées, périclitèrent rapidement.

Nous connaissons maintenant, bien des années après, la raison d'un tel échec. En mai 1994, un responsable du CNRS, Dominique Le Quéau, président de la section d'astrophysique et de cosmologie, dont je dépends était descendu à Marseille. Lors d'un déjeuner avec M. Baluteau, qui dirige l'observatoire de Marseille où je travaille, il nous fit ces confidences singulières :

Le Quéau : En tout cas, je peux confirmer une chose : c'est bien l'armée qui a stoppé les recherches de Petit en MHD sur l'annihilation des ondes de choc.

faitement au courant de la réalité de la situation, m'aient laissé m'échiner pendant si longtemps. J'ai reproduit ce dialogue dans mon rapport annuel. Cosigné par Baluteau, il est actuellement archivé à la Direction Générale du CNRS. Le but de l'armée, qui ne s'en est jamais cachée, était de tenter de développer un missile de croisière supersonique. Nous savons que de tels projets sont très avancés au Lawrence Livermore Laboratory de Californie, et évidemment couverts par le secret défense. L'annihilation des ondes de choc a très vraisemblablement été réussie là-bas au début des années 80 et, en France, vers 1990. Mais il existe une autre raison pour laquelle les grandes puissances s'intéressent si fortement à ce type de recherches, c'est le lien évident... avec le dossier OVNI. Mais ceci, comme dirait Arthur Kipling, est une autre histoire. ■

Notes

1. Un groupe s'est constitué en France, le groupe PAMIR (pôle des applications de la MHD à l'Industrie et à la Recherche) regroupant les principaux partenaires actuels, et dont le responsable est M. Marbach, ingénieur au CEA.

2. Le lecteur intéressé pourra trouver mention de ses idées extraordinaires dans un ouvrage paru aux éditions Anthropos (15, rue Lacépède, Paris) consacré à une rétrospective de ses œuvres scientifiques paru en 1984.

3. Anciennement président du CNRS, puis directeur du CNES. Très lié avec l'armée de par ses recherches sur les lasers. Parfaitement compétent pour tous ces problèmes de MHD.