

LES RUSSES SUR LE POINT DE GAGNER LA BATAILLE DE LA «MHD»

Parce qu'ils croyaient encore au pétrole il y a dix ans, les Occidentaux avaient abandonné leurs recherches sur la magnétohydrodynamique. Parce que, pour la première fois, le courant n'était pas créé par une turbine, grosse consommatrice d'énergie, les soviétiques savaient que ce procédé représentait l'avenir.

● Pendant 10 ans des milliers de chercheurs, américains, français, japonais, russes, italiens, allemands, livrent la bataille de la production d'électricité par voie magnétohydrodynamique. L'effort de recherche est intense, les investissements se comptent par milliards de nos francs. Mais dès 1967 des échecs sanglants, des abandons spectaculaires. Pour les Anglais, les Français, les Américains, c'est l'impasse. Les Russes disent : « nous continuons ». Sept ans après ils font fonctionner pendant cinq heures et demie un prototype industriel complet, développant vingt-cinq mégawatts.

Depuis un siècle on produit l'électricité principalement à l'aide de machines rotatives. En 1831 Faraday démontra dans une expérience originale la possibilité de produire du courant par voie magnétohydrodynamique. Il se rendit à l'embouchure d'une rivière d'eau saumâtre, convenablement orientée vis-à-vis du champ magnétique terrestre, et immergea de part et d'au-



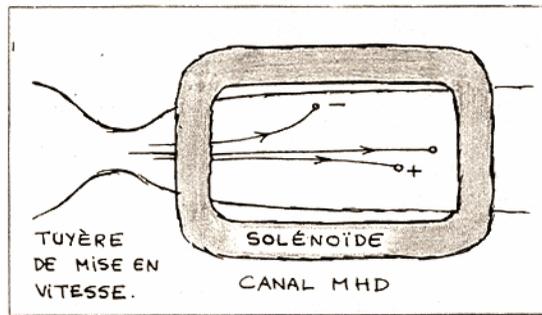
Michael Faraday.



Nauka i Jizn

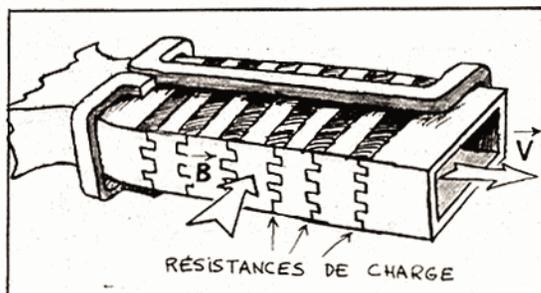
tre du flot des électrodes de cuivre. En les commutant il recueillit un faible courant.

De nos jours la rivière est remplacée par une tuyère supersonique crachant un gaz à forte température (2 500 °K) et le sel marin par du césium, corps facilement ionisable, tandis qu'au champ magnétique se substitue celui créé par un puissant solénoïde, et qui peut atteindre des dizaines de milliers de gauss. Les particules chargées, ions césium et électrons libres, défilant dans l'entrefer de l'électro-aimant à plus de mille mètres à la seconde, prennent des trajectoires incurvées, exactement comme dans une chambre à bulle.



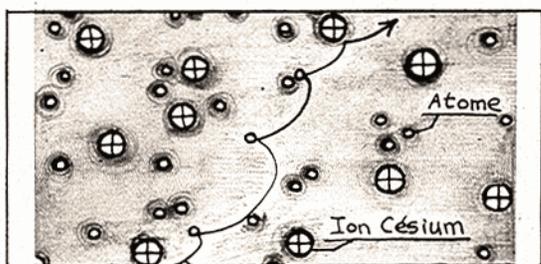
Trajectoires des particules chargées.

Ceci se traduit par une migration transversale des électrons, donc par un courant qui peut être collecté par des électrodes convenablement disposées et réunies par une résistance de charge.



Dans la pratique les électrodes sont commutées par paires, pour donner plus de régularité à la nappe de courant.

Les trajectoires des électrons ne sont en fait pas aussi simples. Les électrons entrent constamment en collision avec les atomes neutres, les ions et les autres électrons, ce qui est d'ailleurs assez complexe à étudier sur le plan théorique.



Voici donc ce merveilleux générateur sans pièces mobiles. Sur le papier, des rendements fantastiques : 80 à 90 % (pour mémoire, les rendements des installations conventionnelles avec turbines à gaz, dépassent exceptionnellement 40 %). Tout ceci fut envisagé le plus sérieusement du monde et à grande échelle vers les années soixante. L'entreprise prit alors l'allure d'une course onéreuse et mouvementée.

Le professeur Latychev, de Moscou, conserve un fragment du premier générateur construit en Union soviétique : « les électrodes se disloquèrent au bout d'une minute, le reste de l'appareil au bout de deux ! ». Tout cela n'était pas de tout repos. On parvint assez rapidement, grâce aux techniques de la supraconduction, à construire les puissantes installations de champ magnétique requises par le procédé. Il restait deux problèmes-clé : la richesse du gaz en électrons libres et les électrodes. Le premier intéressait les physiciens, le second les métallurgistes et les chimistes.

Même ensemencés par de la vapeur de césium, les gaz ne devenaient acceptablement conducteurs de l'électricité qu'à des températures trop élevées (2 500 °K) pour les matériaux

dont on disposait à l'époque, tant pour les électrodes que pour les isolants tapissant les parois de la tuyère et de la chambre de combustion. Ainsi, soit on restait à trop basse température et l'engin débitait des... milliwatts, soit on « forçait les feux » et tout vous paraît à la figure. Une idée, astucieuse, prévalut alors : on pensa qu'en maintenant le gaz à une pression relativement basse, disons de l'ordre de l'atmosphère, les électrons libres disposeraient de suffisamment d'espace pour pouvoir s'accélérer dans le champ électromoteur $\vec{V} \times \vec{B}$, acquérant ainsi assez d'énergie pour pouvoir arracher, par collision, des électrons des couches périphériques des atomes de césium non encore ionisés. La densité d'électrons libres pourrait être alors multipliée par dix, cent ou même mille.

● Cela se produit dans un simple tube au néon, où la température électronique atteint couramment 20 000°, la température des atomes neutres et des ions restant voisine de la température ambiante. (Traduire : la densité d'électrons, dans cette situation d'ionisation « non thermique », correspond à celle qu'on obtiendrait en portant l'ensemble du gaz à 20 000°).

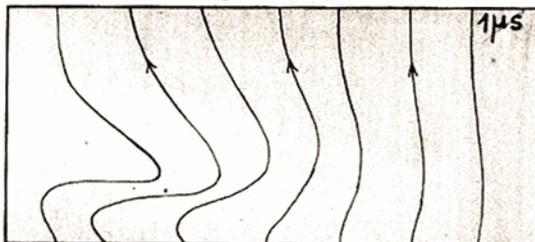
Cette façon de procéder imposait au gaz porteur, c'est-à-dire véhiculant la vapeur de césium, de n'être formé que d'atomes de gaz rare, toute molécule ayant pour effet de pomper immédiatement l'excès d'énergie des électrons dans les collisions, en se mettant à tourner et à vibrer. (Dans le générateur que j'avais construit, et qui marchait suivant ce principe, il suffisait de quelques pour cent de gaz carbonique pour « tuer » aussitôt le phénomène de non-équilibre.)

Les Occidentaux crurent à cette solution miracle et investirent beaucoup dans cette direction. Les calories devaient être fournies par une pile atomique, puis transférées au gaz, qui travaillait alors en *cycle fermé*. Ceci par opposition aux dispositifs branchés sur des chambres de combustion et fonctionnant en *cycle ouvert*. On fixa à 1 500° centigrades la température à atteindre pour le gaz, sans se soucier des cris que poussaient les gens des piles quand on prononçait ce chiffre.

Un de mes amis, Velikhov, alors jeune chercheur à l'institut Kurtchatov des hautes températures, joua les Cassandra : il pronostiqua l'apparition, en quelques microsecondes, d'une instabilité électrothermique ou d'ionisation, sorte de turbulence électromagnétique, qui devait considérablement nuire au fonctionnement des convertisseurs MHD basés sur l'ionisation hors d'équilibre. Mais il y avait eu tant d'argent englouti dans les projets, dans tous les pays, que beaucoup, dans un réflexe de fuite en avant, nièrent ce mauvais présage. Les faits donnèrent hélas raison à Velikhov.

(suite de la page 63)

Dans tous les laboratoires du monde les lignes de courant électrique se mirent à se tortiller bizarrement, sans que l'on puisse rien y faire.



Instabilité électrothermique dans une veine MHD.
Lignes de courant.

Partout on enregistrait une fluctuation caractéristique des courants débités dans les résistances de charge, s'accompagnant d'une chute brutale de rendement.

Par ailleurs, dans les deux formules (cycle ouvert ou cycle fermé), l'émission d'électrons à la cathode s'accompagnait d'une forte chute de tension pariétale. La force électromotrice (1) d'un générateur étant proportionnelle à la hauteur du canal, pour des installations de faible dimension cette force contre-électromotrice parasite pouvait atteindre et même dépasser la moitié de la F.E.M. disponible. Et puis les gens en avaient assez de voir les électrodes se disloquer en quelques minutes, rongées par les arcs électriques. J'avais construit à l'époque un générateur impulsionnel qui donnait deux mégawatts pendant cent microsecondes, la température du gaz étant de 4 000 °K et celle des électrons 10 000 °K. Ces brefs orages électriques suffisaient cependant pour que mes électrodes, de simples plaques de cuivre rouge, soient transformées en passoirs. En régime continu elles se seraient volatilisées en deux secondes.

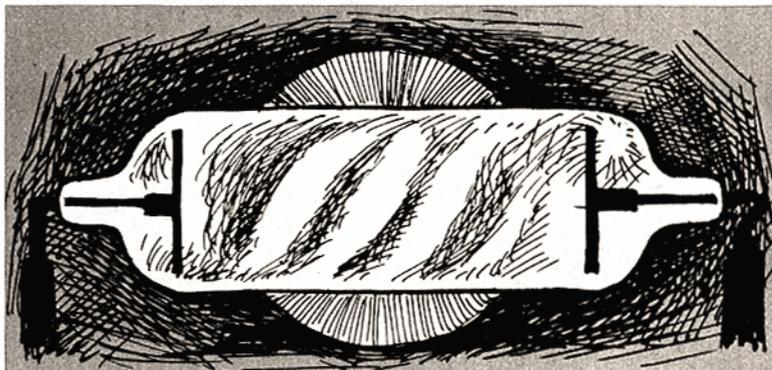
Dessin ci-contre ►

Après le boom des années 60 un mouvement de découragement s'amorça dès 1965. La livre battait de l'aile : les Anglais abandonnèrent les premiers. Le franc se dévaluait : les Français en firent autant. Crédits coupés, installations géantes démantelées, équipes dispersées aux quatre vents.

Les « sages », consultés, avaient été formels : « les hydrocarbures avaient beaucoup baissé de prix, et ce mouvement irait en s'accroissant (...) ». A partir de 1969 ce fut la débâcle. Le mot MHD était devenu tabou en France. Chacun se recycla comme il put.

A l'Est, contre toute attente, les Russes investissaient à tout va dans des installations géantes. Le calcul se révéla payant.

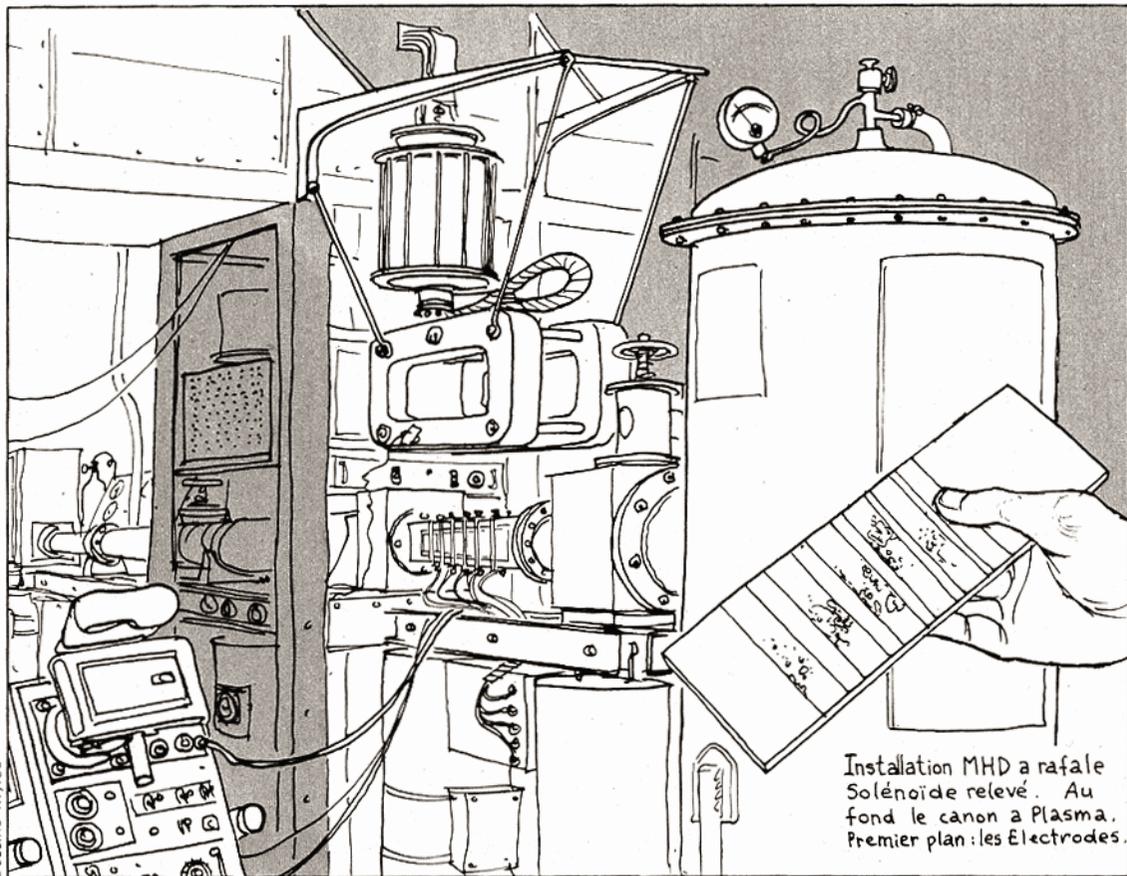
● Il est d'ailleurs facile de provoquer l'apparition de cette instabilité en laboratoire. Il suffit de placer une diode emplie d'un gaz rare quelconque, dans l'entrefer d'un électroaimant, même de faible puissance. Dans la colonne lumineuse apparaissent aussitôt des strates caractéristiques inclinées, signature du phénomène.



Instabilité électrothermique.

(1) La force électromotrice (FEM) qui crée le courant induit, représente la variation de flux magnétique traversant le circuit pendant un temps déterminé. Mais le

sens du courant induit est tel qu'il a tendance à s'opposer à la variation du flux qui le produit. L'effet s'oppose à la cause.



Installation MHD a rafale
Solénoïde relevé. Au
fond le canon a Plasma.
Premier plan: les Electrodes.

Cinq ans après, la Pravda titre : « Un prototype MHD à caractère industriel a fonctionné cinq heures et demie, développant vingt-cinq mégawatts. »

Informés des années à l'avance des aléas liés aux plasmas bitempératures, les Russes avaient porté très tôt leur effort sur les cycles ouverts. En second lieu ils avaient estimé que leurs chimistes domineraient le problème de la tenue thermomécanique des électrodes en un temps raisonnable. Puis ils avaient réduit l'importance relative de la chute de tension pariétale en multipliant tout simplement les dimensions du canal MHD par dix ($110 \times 40 \text{ cm}^2$ au lieu de 10×5 dans les installations occidentales). Enfin, avec une belle confiance, ils avaient mis en chantier l'ensemble de l'installation, avec tous les périphériques accompagnant un générateur opérationnel : le condenseur, l'échangeur et la turbine destinée à la récupération de l'énergie résiduelle, le dispositif de récupération du césium et l'inverseur permettant de commuter l'ensemble sur le réseau des usagers moscovites.

En général, quand on extrapole un appareillage, des difficultés nouvelles naissent. Ici l'inverse s'est produit. Ce qui fit dire à mon ami Volkov, responsable technique de l'ensemble U-25 : « Un modèle réduit de convertisseur MHD est un macromodèle de ses défauts. »



● **Quelques caractéristiques du générateur U-25 :**

Chambre de combustion réfractaire, fonctionnant à la température $2550 \text{ }^\circ\text{C}$, alimentée par 40 % d'oxygène et 60 % de gaz naturel. Ensemencement par un amalgame mercure plus césium. Dimensions transversales du canal : $110 \text{ cm} \times 40 \text{ cm}$. Electrodes au chromite de lanthane. Température dans la veine MHD $2000 \text{ }^\circ\text{C}$. Rendement de l'étage MHD : 50 à 60 %