

M.H.D. : une technologie du futur mise au placard

1ère partie

Marsha Freeman
Gil Rivière-Wekstein

La magnétohydrodynamique a longtemps été l'enfant chéri des ingénieurs russes. Elle a été également étudiée aux Etats-Unis et en France, mais rapidement abandonnée. Rares sont ceux qui croient encore au potentiel de cette technologie. Son fantastique potentiel ne mérite pourtant pas un abandon aussi rapide. Les auteurs rappellent les éléments physique de base de cette technologie et font l'historique de son développement expérimental. Dans une deuxième partie, à paraître dans notre prochain numéro, ils examineront les applications industrielles possibles.

Si cette fin de siècle semble être marquée par une course technologique provoquant des bouleversements importants dans la robotique, l'informatique et les communications, nous sommes pourtant fort loin de l'optimisme scientifique des années 50 et 60. Des moteurs à propulsion nucléaire pour la colonisation de Mars à l'énergie contrôlée et inépuisable de la fusion thermonucléaire en passant par les trains à lévitation magnétique parcourant Los Angeles-New York en une demi-heure, tout semblait alors possible pour l'humanité. Les limites étaient simplement celles qu'imposait notre imagination.

Ce ne fut pas l'irréalisme des projets de l'époque, mais plutôt le changement progressif dans les choix politiques en Europe et surtout aux Etats-Unis qui arrêta — momentanément, espérons-le — l'enthousiasme scientifique de l'après-guerre.

C'est également le cas en ce qui concerne les recherches liées à la magnétohydrodynamique (M.H.D.). A l'exception de quelques résistants disséminés de par le monde, rares sont ceux qui croient encore aux possibilités technologiques que cachent ces trois lettres. Et pourtant...

Et pourtant, imaginez une méthode de production électrique qui doublerait la quantité d'électricité engendrée par une tonne de charbon, de gaz naturel ou d'uranium ! Imaginez que de surcroît cette technologie ne produise pratiquement pas de pollution !

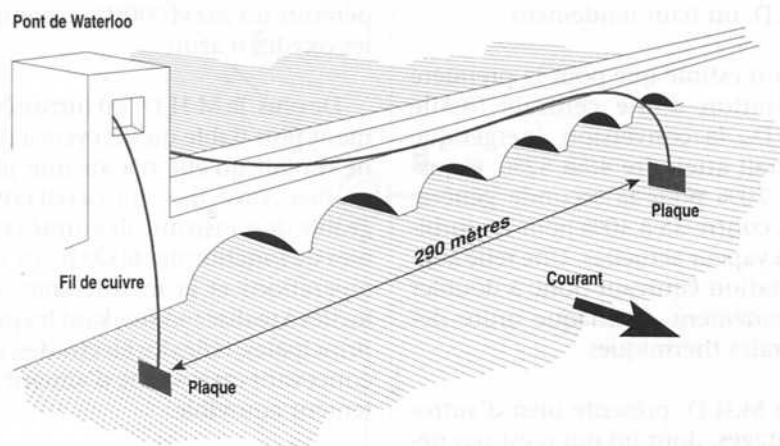
Telle était effectivement l'idée des chercheurs qui, depuis la fin des années 50, travaillaient à un extraordinaire projet : la conversion directe d'énergie. En effet, dans toutes les formes actuelles de centrales thermiques (gaz, charbon, nucléaire), la conversion de l'énergie calorifique en énergie électrique s'accomplit grâce à un système de turbines à vapeur, technologie développée depuis plus d'un siècle et demi. Or, grâce à la déclassification des secrets militaires concernant la bombe H, on a pu entreprendre des recherches sérieuses pour maîtriser l'énergie de fusion. Cependant, on ne pouvait en aucun cas envisager l'utilisation d'une turbine à vapeur à basse température pour la conversion d'énergie dégagée par un plasma de plusieurs millions de degrés.

C'est alors que des savants comme l'Américain Arthur Kantrowitz virent dans le phénomène bien connu de l'interférence entre champ magnétique et champ électrique l'opportunité de développer un mode de conversion d'énergie nouveau, révolutionnaire.

L'idée d'utiliser cette interférence pour produire de l'électricité remonte en fait à 1832, lorsque l'Anglais Michael Faraday tira un fil de cuivre, long de 290 mètres, au-dessus de la Tamise, fixant à chaque extrémité du fil une plaque métallique plongée dans l'eau (**Figure 1**). Faraday écrit dans son journal : « (...) l'eau du fleuve entre les plaques ferma le circuit et, étant en mouvement, devrait produire grâce à l'induction magnéto-électrique un courant repérable ». En effet, le galvanomètre que Faraday avait connecté au fil de cuivre indiqua l'existence d'un faible courant.

L'explication de ce phénomène fait appel à des notions de dynamique des fluides et d'électromagnétisme

Fig. 1 - L'expérience de Faraday



Michael Faraday réalisa en 1832 la première expérience démontrant qu'on pouvait produire un courant électrique par conversion directe. Le fluide chargé en mouvement est ici constitué par l'eau salée de la Tamise ; le champ magnétique externe est celui de la Terre ; et les électrodes qui permettent de recueillir le courant de Faraday sont les plaques métalliques immergées dans le fleuve.

postérieures à Faraday. Une force, appelée force de Lorentz (**Figure 2**), est engendrée lorsqu'un fluide traverse un champ magnétique, perpendiculaire à sa direction. Agissant sur le fluide, elle sépare les ions (particules chargées positivement) des électrons (particules chargées négativement) ; la différence de potentiel ainsi générée produit un courant électrique, le courant de Faraday. (**Figure 3**)

Lorsque Faraday fit ses expériences, il démontra l'existence de ce phénomène pour les fluides conducteurs mais également pour tous les corps conducteurs. En fait, il fit la plupart de ses travaux, en dehors de l'expérience du Pont de Waterloo sur la Tamise, avec des métaux conducteurs liquides, comme le mercure.

Dès la fin des années 50, ce principe a été appliqué à de nombreux projets : la propulsion d'engins spatiaux, la recherche géophysique, la réalisation de systèmes générateurs d'électricité portables où la taille et le poids imposent des restrictions, la

conversion directe d'énergie dans les centrales thermiques, nucléaire ainsi que la fusion thermonucléaire.

Cependant, le domaine dans lequel le développement des systèmes M.H.D. a reçu la plus grande attention à l'échelle internationale est sans aucun doute la conversion électrique pour les centrales thermiques à charbon ou à gaz.

La M.H.D. pour les centrales thermiques

Le principal avantage de la M.H.D. par rapport aux turbines à vapeur vient du fait qu'elle permet d'avoir un rendement supérieur en électricité grâce à une température bien plus élevée. En effet, la limite extrême pour des turbines à vapeur est de 1000°C, limite due aux contraintes des matériaux et à la rotation des énormes engins. Or, pour ioniser partiellement le combustible fossile de manière à ce qu'il puisse servir de fluide conducteur dans un généra-

teur M.H.D., il faut obtenir des températures de combustion de l'ordre de 2000°C. De cette température de 2000°C à l'entrée, le gaz qui traverse le générateur M.H.D. tombe à environ 1000°C. C'est ce différentiel important qui donne à la conversion M.H.D. un haut rendement.

L'on estime que pour la première génération d'une centrale fossile M.H.D., la conversion énergétique pourrait atteindre 48 à 52% et jusqu'à 70% pour la seconde génération, contre 35 à 40% pour les turbines à vapeur actuelles. Une telle augmentation équivaut donc à doubler le rendement de chaque unité des centrales thermiques.

La M.H.D. présente bien d'autres avantages, dont un qui n'est pas négligeable : son impact sur l'environnement est minime. En effet, les températures de combustion sont tellement élevées que les résidus polluants sont fortement réduits (jusqu'à 90%). Ensuite, les expériences ont montré que si l'on ajoute du potassium au fluide conducteur afin d'accroître sa conductibilité, ce potassium se lie chimiquement avec tous les sulfures du charbon, réduisant ainsi les émissions

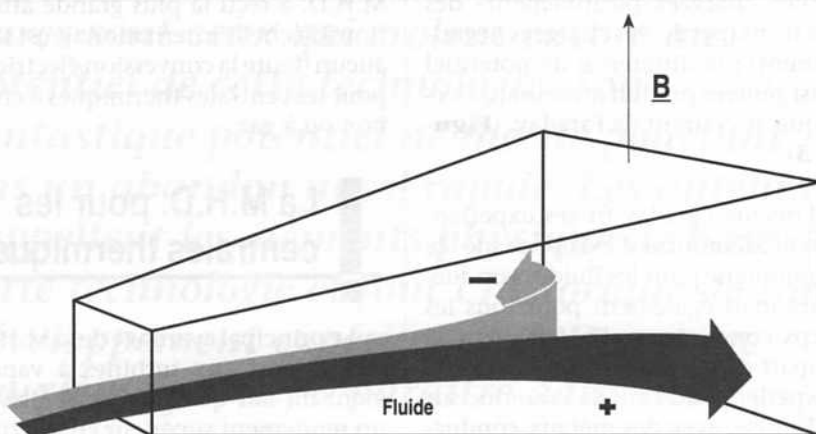
de dioxyde de soufre de 99%. Il n'y a donc plus besoin de filtre ! Enfin, on peut également réduire les émissions d'oxyde d'azote en diminuant simplement la quantité d'air dans le brûleur. Et de plus, l'on a remarqué que la forte baisse de température du gaz (1000°C) décompose les oxydes d'azote.

De plus, la M.H.D. est intrinsèquement plus fiable qu'un cycle à turbine du fait qu'elle n'a aucune partie mobile. Ainsi, il est tout à fait envisageable de construire des unités capables de fonctionner 6000 heures. Les réparations et la maintenance sont faciles à réaliser en stockant les pièces principales, telles les électrodes, et en concevant un système d'aimant facilement amovible.

Avec tous ces avantages en perspective, il n'était pas difficile de convaincre les pouvoirs publics et privés d'investir dans la recherche M.H.D.

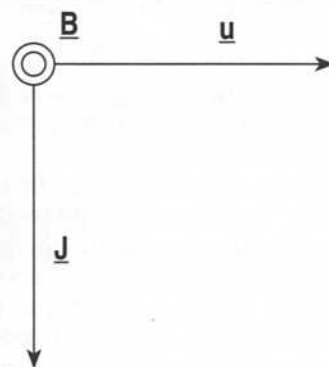
Les principaux travaux de recherches et d'expériences se sont concentrés sur différents types de tuyères, sur l'accroissement du champ magnétique et de la conductibilité du fluide.

Fig. 2 - La force de Lorentz



Lorsqu'un flux de particules chargées passe dans un champ magnétique B , dont la direction fait un angle droit avec celle du flux, une force s'exerce sur les particules chargées. Cette force de Lorentz sépare les particules selon leur charge, positive et négative, et fournit donc le potentiel électrique à partir duquel on peut obtenir un courant en connectant une charge.

Figure 3
Le courant de Faraday



Le courant de Faraday dans un M.H.D. résulte de l'action de la force de Lorentz sur les particules d'un fluide ionisé. Le courant généré est perpendiculaire à la direction du mouvement du fluide et au champ magnétique externe.

Les tuyères

Plusieurs types de tuyères M.H.D. ont été étudiés afin de maximaliser la production électrique provenant de l'interaction complexe entre le champ magnétique et le champ électrique.

Le premier, et le plus simple, est le générateur dit de Faraday, qui extrait simplement le courant produit par la force de Lorentz, sans utiliser ni le courant de Hall (voir Figure 4) ni la poussée du courant de Faraday dans le générateur.

Si les électrodes situées le long de la tuyère forment une nappe unique de matériau conducteur, le courant de Hall (produit parallèlement au flux du fluide travail) va provoquer un court-circuit. Afin de modérer l'effet Hall, Avco et Westinghouse ont développé depuis 1959, des configurations d'électrodes de Faraday segmentées, qui sont individuellement isolées. (Figure 5) Le générateur de Hall a été conçu et testé au début des années 60. Mais, en court-circuitant

le courant de Faraday, on provoque une perte importante de puissance, ce qui représente un désavantage certain.

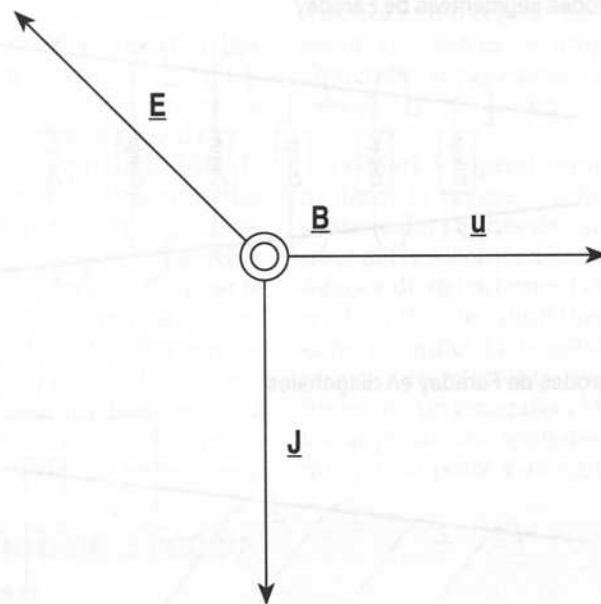
Un autre système semblait être plus prometteur : les électrodes disposées en séries diagonales étaient capables de capturer très efficacement le courant de Faraday. La charge est placée entre le début et la fin de la tuyère, alors que les paires d'électrodes sont placées sur le chemin du champ électrique provenant de l'effet Hall.

Le problème majeur des électrodes réside dans le fait qu'elles doivent résister à l'environnement corrosif dû au charbon gazéifié et aux températures élevées. Plusieurs expériences ont été élaborées pour résoudre ce problème, entre autres en utilisant des scories de charbon comme « enduit » sur les électrodes de cuivre. Cette idée fut testée par le prototype Avco Marck VI. Le Dr Edward Scannell, ancien directeur du programme M.H.D. de Reynolds Metals, a conçu par ailleurs plusieurs modèles d'électrodes à gaz ou à plasma.

La température de combustion

La température étant le principal paramètre déterminant le degré de conductibilité du gaz, il est possible, en préchauffant l'air utilisé lors de la combustion, d'augmenter de manière appréciable sa conductibilité. Si différents types de préchauffage ont été envisagés comme, par exemple, un système indépendant employant un combustible propre ou l'utilisation d'un système d'échangeur de chaleur entre le gaz de la M.H.D. et l'air, les efforts ont plutôt porté sur le recyclage du gaz de la M.H.D. dans la chambre de combustion. La société américaine Fluidyne Corporation de Minneapolis travailla sur des systèmes de préchauffage de l'air et a réalisé, en 1978, une simulation d'un système M.H.D. avec un échangeur de chaleur de haute température pendant une période de 900 heures. Malheureusement, ce ne fut pas suffisant pour une utilisation commerciale. De leur côté, les Soviétiques ont

Fig. 4 - L'effet Hall



Le courant de Faraday crée un champ électrique autour de lui qui fait apparaître une force de dérive que l'on appelle l'effet Hall. E étant le champ électrique induit, l'effet Hall agit comme un « frein » au courant de Faraday, J Le champ magnétique B va de la page vers le lecteur ; le courant de Faraday, le champ magnétique et la direction du mouvement du fluide, u , sont tous perpendiculaires deux à deux.

L'effet Hall et le nombre de Reynolds

En 1879, Edwin H. Hall, de l'université Johns Hopkins, découvrit qu'il existait, dans le cas de figure décrit, une relation plus complexe : « l'effet Hall ». Il démontra qu'autour du courant de Faraday se crée un nouveau champ électrique, proportionnel à la densité du courant et à la force du champ magnétique, perpendiculaire au courant, mais parallèle à la direction du fluide. Le champ ainsi induit tend à contrebalancer le courant produit par le champ magnétique.

En 1883, Osborn Reynolds étudia différents effets secondaires se produisant dans ce genre d'expériences. Il se pencha en particulier sur le problème de l'apparition subite de turbulences dans les fluides et démontra qu'il était possible de décrire le comportement d'un fluide quelconque en matière de turbulence par un nombre « sans dimension », fonction de la viscosité du fluide (sa résistance interne) et de son inertie.

Par exemple, si on en choisit les dimensions et la vitesse de façon à obtenir le même « nombre de Reynolds », un flux d'air et un flux d'eau traversant des orifices similaires se comporteront de manière semblable. Le nombre de Reynolds est en effet dépendant de la dimension de l'orifice (longueur et largeur) et de la vitesse des fluides. Il existe également un « nombre de Reynolds magnétique » qui dépend des paramètres de perméabilité (le rapport entre la densité magnétique du flux et la force du champ magnétique externe), de la conductibilité électrique, de la vitesse du fluide et de la taille du conduit. Si l'on connaît le nombre de Reynolds d'un système, on peut maintenir le fluide dans des conditions de non turbulence et avoir ainsi une efficacité maximale de la conversion énergétique.

