

Coopération internationale dans le domaine de la production MHD d'énergie électrique

par Vyacheslav Chernyshev

Au cours des deux dernières décennies, les travaux de recherche et de développement consacrés à la production magnétohydrodynamique (MHD) d'énergie électrique se sont déroulés sous le signe d'une coopération internationale croissante. Le programme MHD de l'AIEA a été lancé en 1966 en vue d'appuyer l'initiative prise par l'Agence de l'OCDE pour l'énergie nucléaire (AEN) de créer un groupe mixte, qui a été désigné sous le nom de Groupe international de liaison AEN/AIEA sur la production MHD d'énergie électrique. Cette équipe d'experts de 18 pays a procédé à un échange régulier de renseignements scientifiques et techniques sur la production MHD d'énergie électrique et a contribué à résoudre une série de problèmes technologiques et à appliquer un certain nombre de schémas de principe.

Le groupe de liaison a pris part à l'organisation de réunions annuelles, de groupes d'experts sur divers problèmes d'ingénierie et de technologie, ainsi que des conférences internationales sur la magnétohydrodynamique. Il y a eu six conférences internationales sur la production MHD d'énergie électrique, dont la première s'est tenue au Royaume-Uni en 1962 et la sixième aux Etats-Unis d'Amérique en 1975. On travaille actuellement à l'organisation d'une septième conférence internationale sur la MHD en 1979. Le groupe de liaison établit et publie périodiquement des rapports intérimaires sur la recherche et le développement dans ce domaine. Le plus récent de ces rapports, paru en 1977, passe en revue les programmes nationaux, évalue les voies les plus prometteuses dans lesquelles la recherche pourrait s'engager, et recense les problèmes futurs.

Dans ces rapports, les pays développés comme les pays en développement reçoivent les toutes dernières informations scientifiques sur les aspects les plus importants et les plus prometteurs de la conversion directe de l'énergie au moyen de la MHD. C'est dans cet esprit que l'AIEA n'a cessé de parrainer le groupe international de liaison même à une époque où l'AEN ne le pouvait pas. A l'heure actuelle, le groupe a le soutien de l'AIEA et de l'UNESCO.

Systèmes magnétohydrodynamiques

Le générateur MHD est un convertisseur d'énergie basé sur le principe de l'interaction entre un fluide électriquement conducteur et un champ magnétique (voir figure 1). Les interactions de ce genre ont été étudiées par Faraday au début du XIX^{ème} siècle. Dans ses premiers travaux sur l'induction électromagnétique dans les fluides, Faraday a cherché à utiliser le champ magnétique de la terre pour mesurer le débit moyen de l'eau dans la Tamise. Mais ce n'est qu'au début des années 1960 que l'idée d'une méthode magnétohydrodynamique de conversion de l'énergie s'est vraiment imposée. Essentiellement, un convertisseur MHD est un dispositif qui permet de convertir directement l'énergie thermique en électricité. Il existe trois types de cycles MHD: ouvert, fermé et à métal liquide.

M. Chernyshev fait partie de la Division de l'énergie d'origine nucléaire et des réacteurs de l'AIEA.

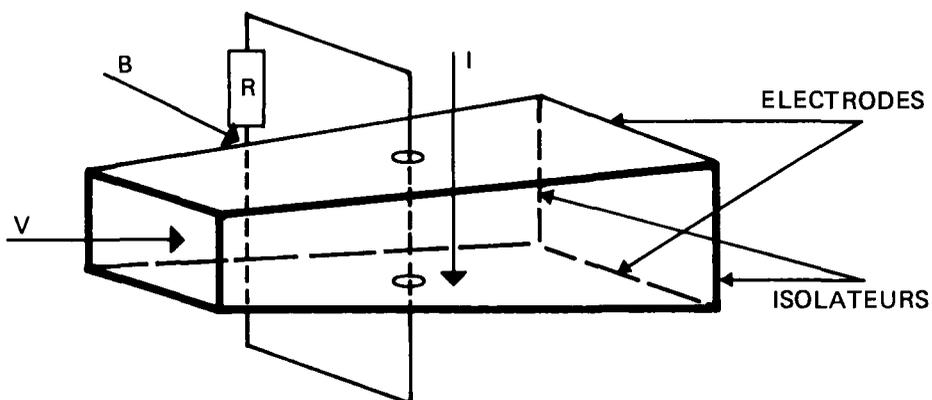


Figure 1. Schéma d'une tuyère de générateur MHD. L'écoulement d'un fluide électriquement conducteur dans une tuyère où règne un champ magnétique crée un champ électrique (de vecteur intensité I), qui est perpendiculaire à la fois au vecteur vitesse V du fluide conducteur et au vecteur champ magnétique induit B . Au cours de l'écoulement du fluide dans la tuyère, un courant ayant une charge de résistance R est induit dans le circuit électrique. La puissance, pour un champ magnétique donné, augmente avec la vitesse et la conductivité du fluide. Ce fluide, qui peut être un gaz ionisé ou un métal liquide, est porté à une température élevée avant d'entrer dans la tuyère du convertisseur MHD. La source de chaleur peut être un combustible fossile ou un réacteur nucléaire.

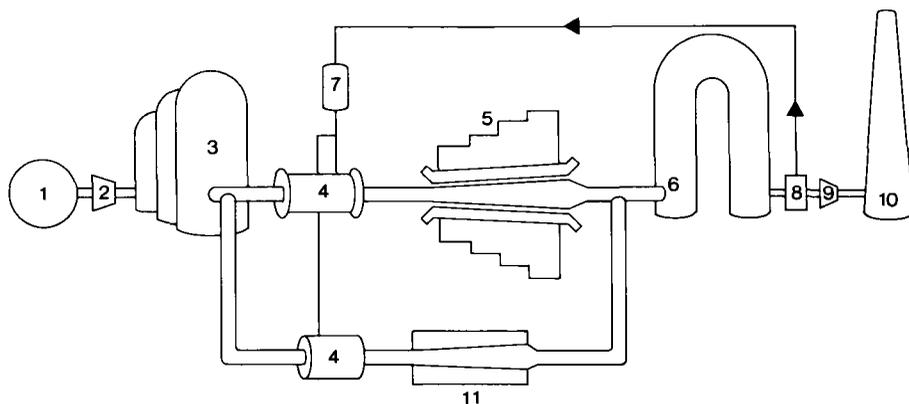
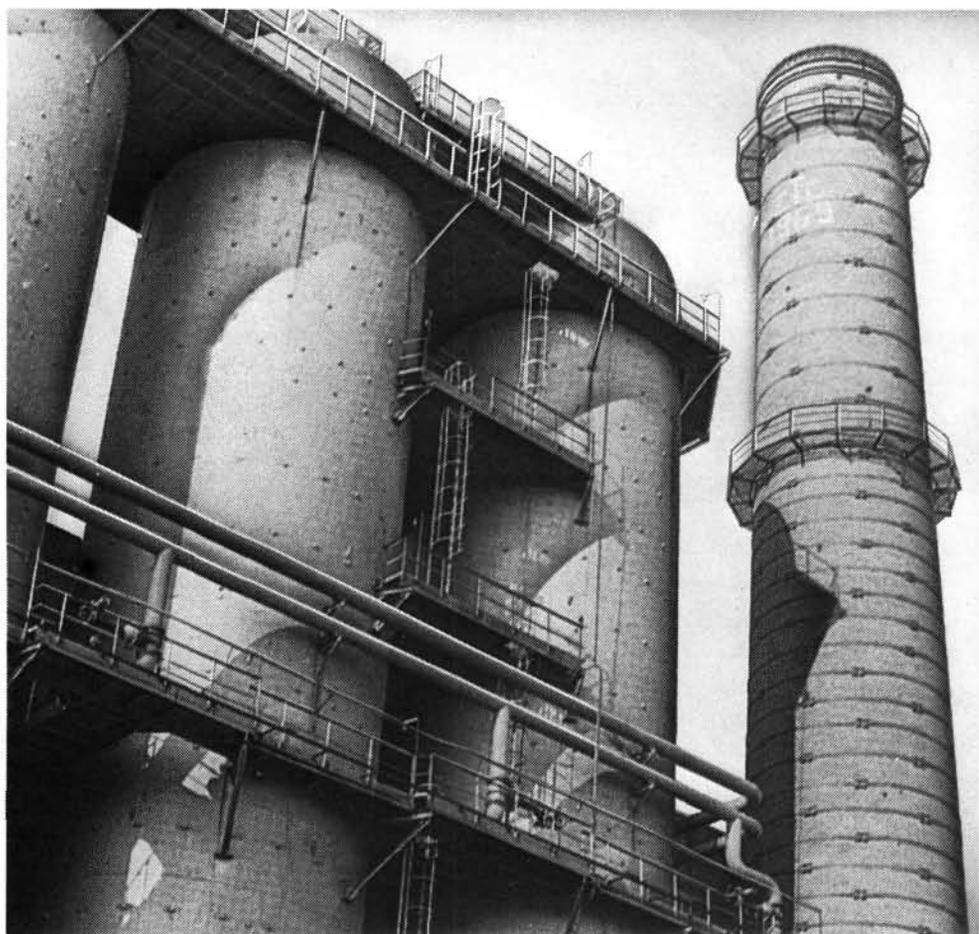


Figure 2. Schéma de la centrale MHD U-25 avec circuit de dérivation pour système à aimant supraconducteur. 1) Source de gaz naturel, 2) compresseur, 3) échangeur thermique, 4) chambre à combustion, 5) convertisseur MHD, 6) générateur de vapeur, 7) système d'ensemencement, 8) récupérateur de semence, 9) soufflante d'évacuation, 10) cheminée d'évacuation, 11) système à aimant supraconducteur.

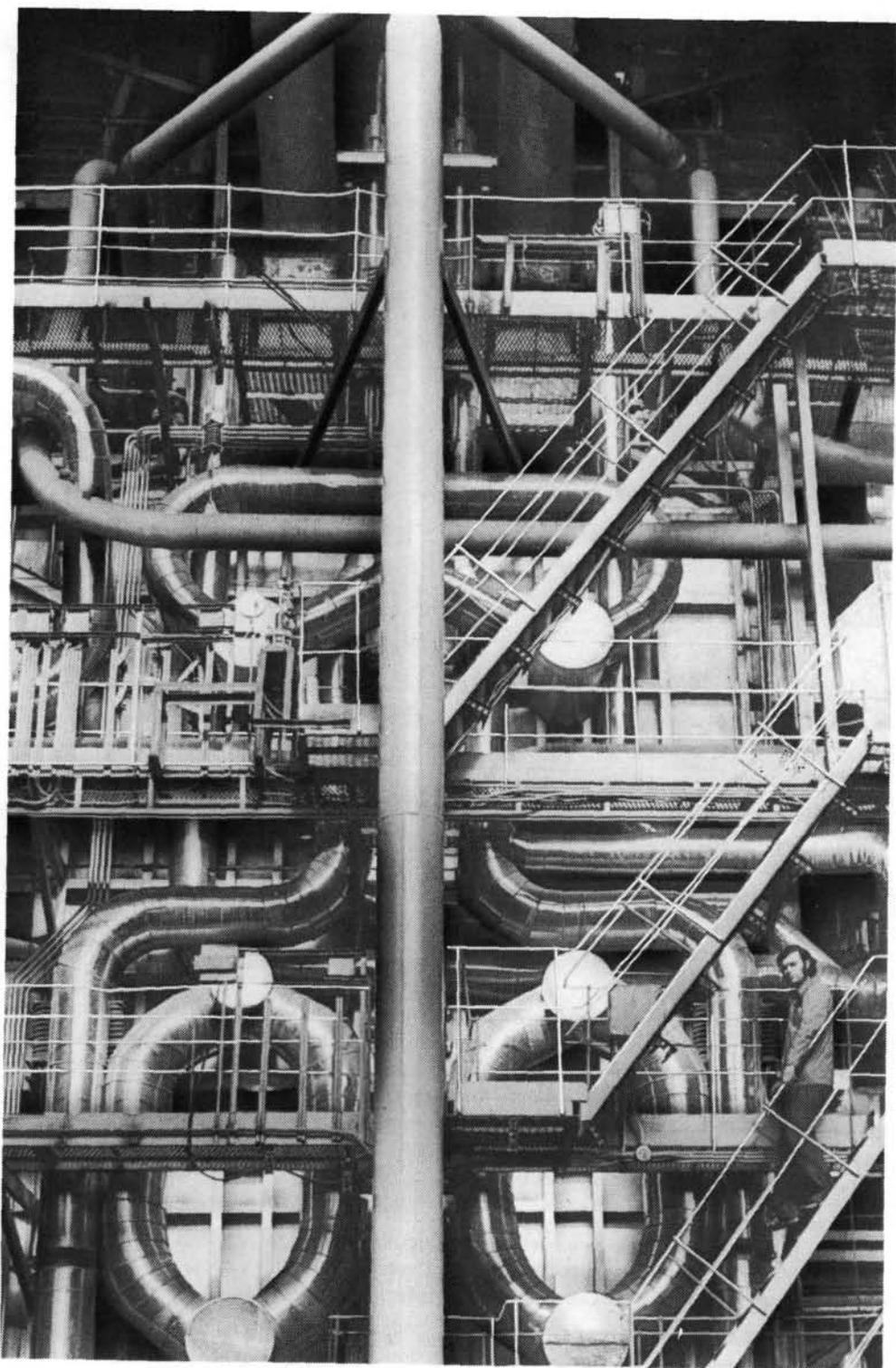


Echangeur thermique de l'installation U-25 à l'Institut des hautes températures de l'Académie des sciences de l'URSS.

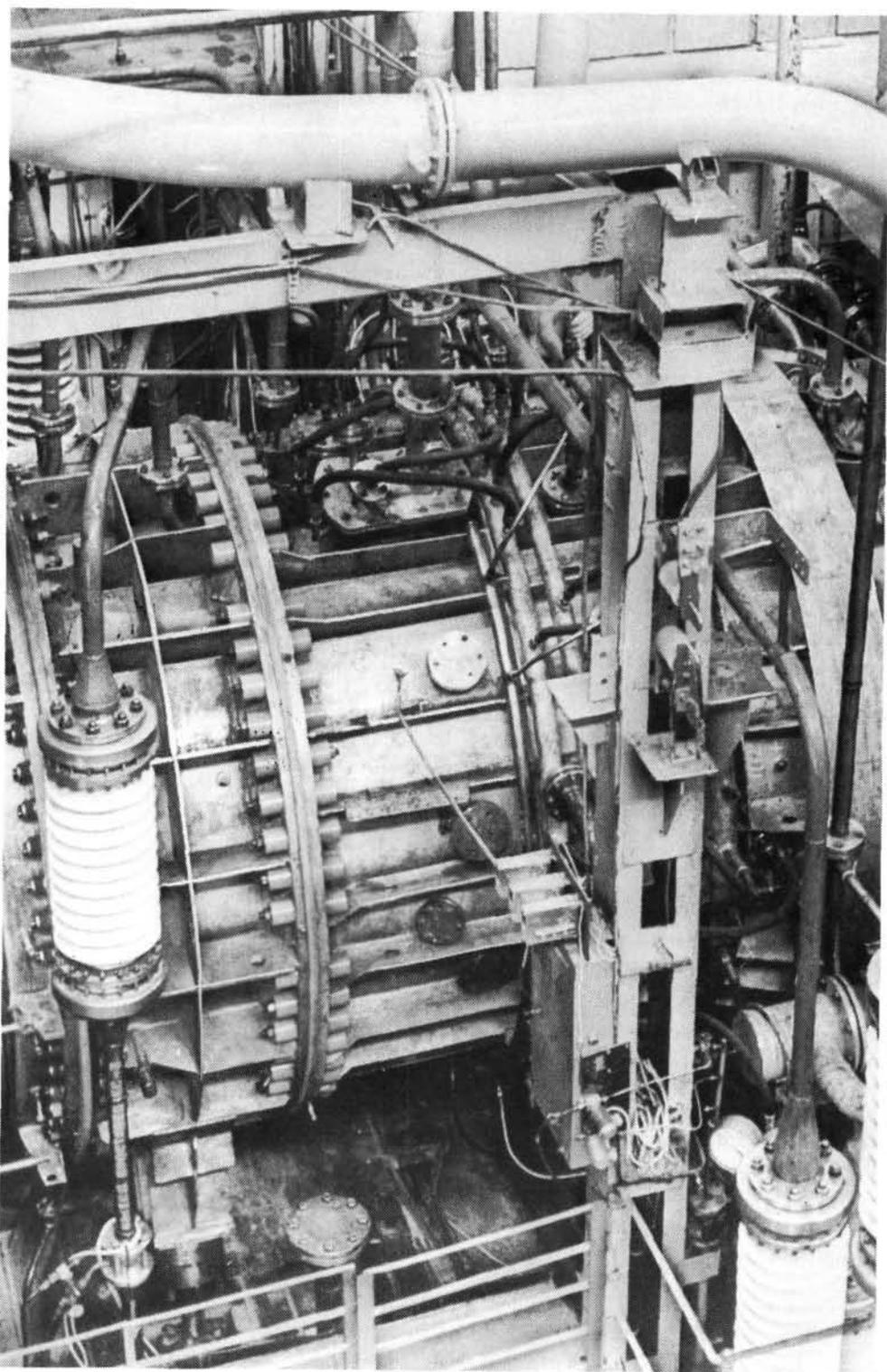
Dans le cycle ouvert, les produits de combustion du combustible fossile, ensemencés pour améliorer l'ionisation, se dégagent dans l'atmosphère après leur passage dans le circuit MHD. Le cycle fermé présuppose la circulation continue du gaz de travail dans un circuit fermé. Dans ce cas, la source de chaleur peut être un réacteur à très haute température refroidi par un gaz et il est possible d'utiliser comme fluide de travail un gaz inerte ensemencé. Le système MHD à métal liquide peut utiliser comme fluide le métal liquide provenant d'un réacteur à neutrons rapides. La principale difficulté, avec des systèmes de ce genre, est de faire circuler le liquide assez rapidement.

Du point de vue physique comme du point de vue mécanique, il est désormais certain qu'un système MHD à cycle fermé ou à cycle à métal liquide est réalisable. Mais il n'a pas encore été possible de développer — aussi largement qu'avec les systèmes à cycle ouvert — les possibilités d'utilisation de ces deux systèmes dans de grandes centrales électriques.

Une étude prévisionnelle sur l'évolution de la production d'énergie dans les pays avancés du monde révèle que dans les années à venir (jusqu'à l'an 2000) la majeure partie de l'électricité sera fournie par des centrales classiques brûlant du combustible organique. Attendu que les



Générateur de vapeur de l'installation U-25.



Chambre à combustion de l'installation U-25.



Tableau de contrôle de l'installation MHD U-25.

dépenses de combustible représentent actuellement 50 à 55% du prix de revient de l'électricité (et ne feront qu'augmenter), l'un des problèmes les plus importants en matière technique énergétique est d'améliorer le rendement thermique des centrales, tout en réduisant la pollution thermique de l'environnement.

Considérée de ce point de vue, la méthode magnétohydrodynamique de production d'énergie électrique fondée sur le cycle ouvert est l'une des plus prometteuses que l'on connaisse pour convertir directement l'énergie thermique en électricité, et elle contribuera à améliorer la rentabilité des centrales thermiques. On s'attend que les centrales MHD de la première génération auront un rendement d'environ 50% alors que, pour la seconde génération, ce chiffre passera à 60%. Même avec les centrales MHD de la première génération, il serait possible d'entrée de jeu de réduire de 20 à 30% la consommation de combustible et d'un tiers la consommation d'eau de refroidissement des centrales thermiques ordinaires.

Installation MHD U-25

Au début des années 1970, l'Institut des hautes températures de l'Académie des sciences de l'URSS a construit la première grande installation pilote MHD, U-25, qui a réussi à alimenter le réseau de Moscou en électricité. L'installation U-25 (voir figure 2) contient toutes les parties principales des futures centrales industrielles qui utiliseront un convertisseur MHD.

Le combustible choisi pour l'installation U-25 est le gaz naturel. La combustion s'effectue dans de l'air enrichi en oxygène et préchauffé à 1200°C. Pour améliorer la conductivité du plasma, on utilise une semence (métal alcalin) qui est introduite dans le cycle au niveau de la chambre de combustion. L'écoulement du plasma, dont la température dépasse 2500°C, engendre un courant électrique dans le convertisseur MHD à l'intérieur du champ de l'électroaimant. Des alternateurs transforment le courant continu provenant du convertisseur MHD en courant alternatif. L'installation est commandée par ordinateur.

Après avoir traversé le générateur MHD, le plasma se refroidit dans un générateur de vapeur et la vapeur est utilisée dans la centrale à vapeur du circuit secondaire. Avant sa dispersion dans l'atmosphère, on extrait du plasma refroidi la semence qui est réinjectée dans la chambre à combustion.

Dans la chambre à combustion de l'installation U-25, la charge thermique dans la tuyère atteint 70×10^6 kcal/m³.h, c'est-à-dire 300 fois environ celle que l'on obtient dans les centrales à vapeur les plus modernes. La chambre à combustion du générateur MHD a pour caractéristique de fonctionner sous une très haute tension — 5 kV dans l'installation U-25. Les travaux se poursuivent qui détermineront le choix du type de tuyère de générateur MHD le mieux adapté au dispositif U-25 et apte à assurer un fonctionnement continu pendant une période prolongée et à un régime normal.

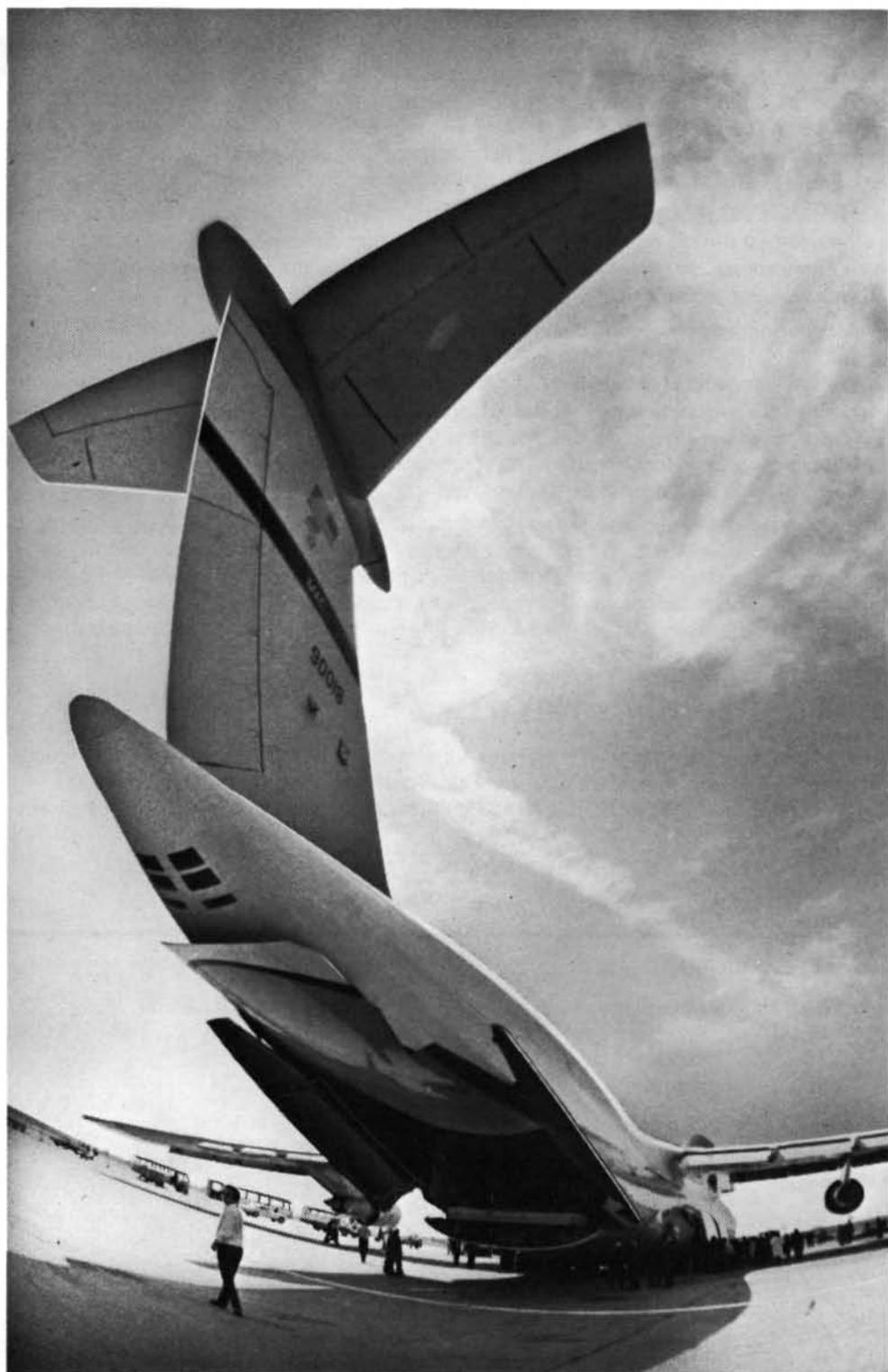
On dispose déjà des principaux paramètres techniques de l'installation U-25 (voir tableau 1). Le champ important des travaux de recherche consacrés à cette installation a permis, dès maintenant, d'entreprendre la construction d'une centrale pilote MHD de 500 MW à des fins industrielles. Il convient de souligner que, pour la production à grande échelle, les centrales MHD peuvent fonctionner dans des conditions de charge minimale, intermédiaire ou maximale.

Coopération internationale

Nombreux sont les exemples de coopération internationale dans le domaine de la production MHD d'énergie électrique. C'est ainsi que l'accord de coopération entre l'Institut de recherches nucléaires de Pologne et le Centre d'études nucléaires de Saclay (France) a abouti

Tableau 1: Principales caractéristiques de l'installation MHD U-25

| | |
|--|----------------------|
| – Puissance (MW) | 20,4 |
| – Combustible | gaz naturel |
| – Oxydant | air + O ₂ |
| – Enrichissement de l'oxygène (en % du volume) | 45 |
| – Température de l'air préchauffé (en degrés C) | 1250 |
| – Température à l'admission (en degrés C) | 2600 |
| – Débit massique (kg/\$) | 50 |
| – Rapport entre la semence et le poids total de gaz (en %) | 1 |
| – Pression à l'entrée (atm) | 3,5 |
| – Vitesse d'écoulement (m/s) | 1000 |



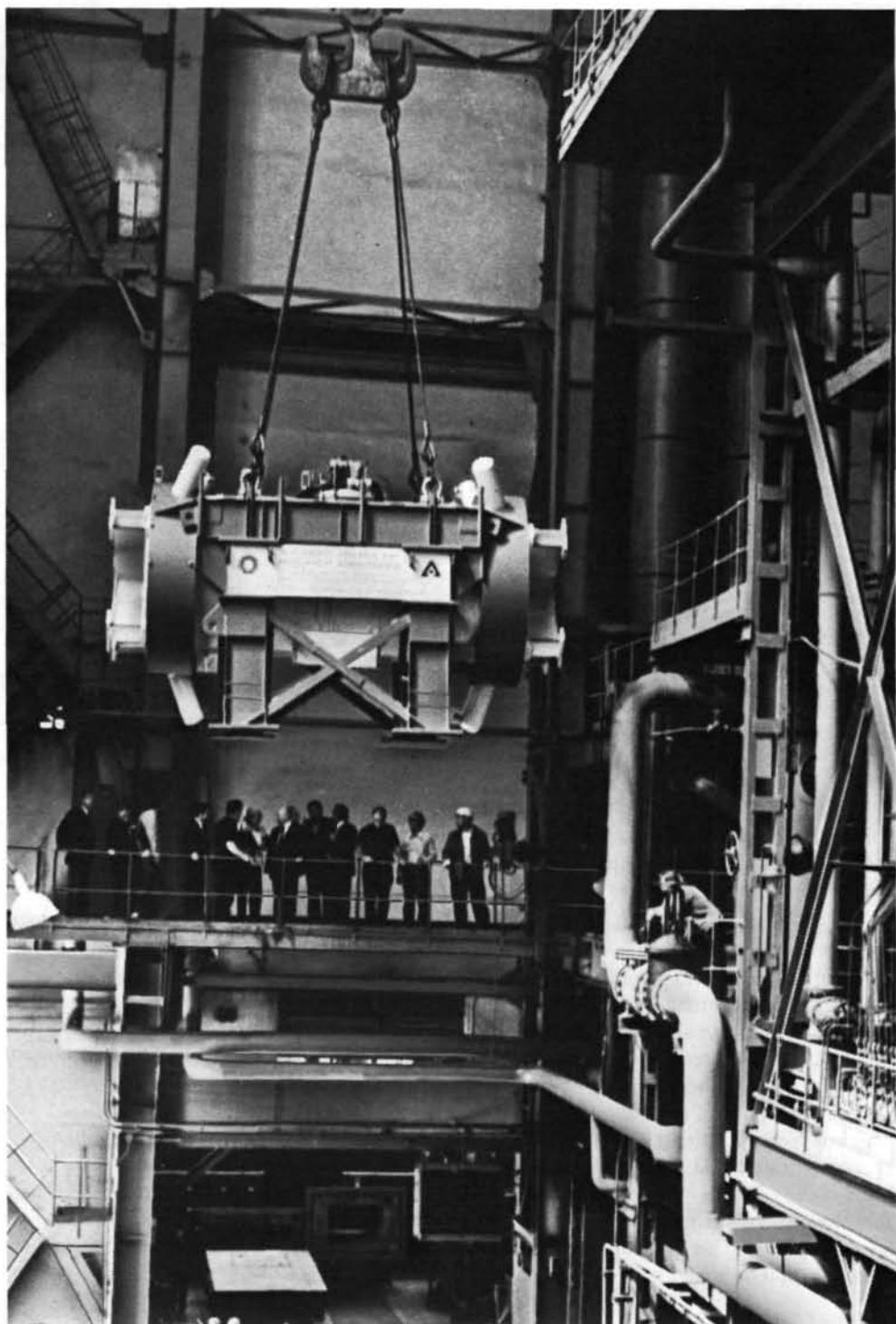


Livraison de l'aimant supraconducteur à l'installation MHD U-25.

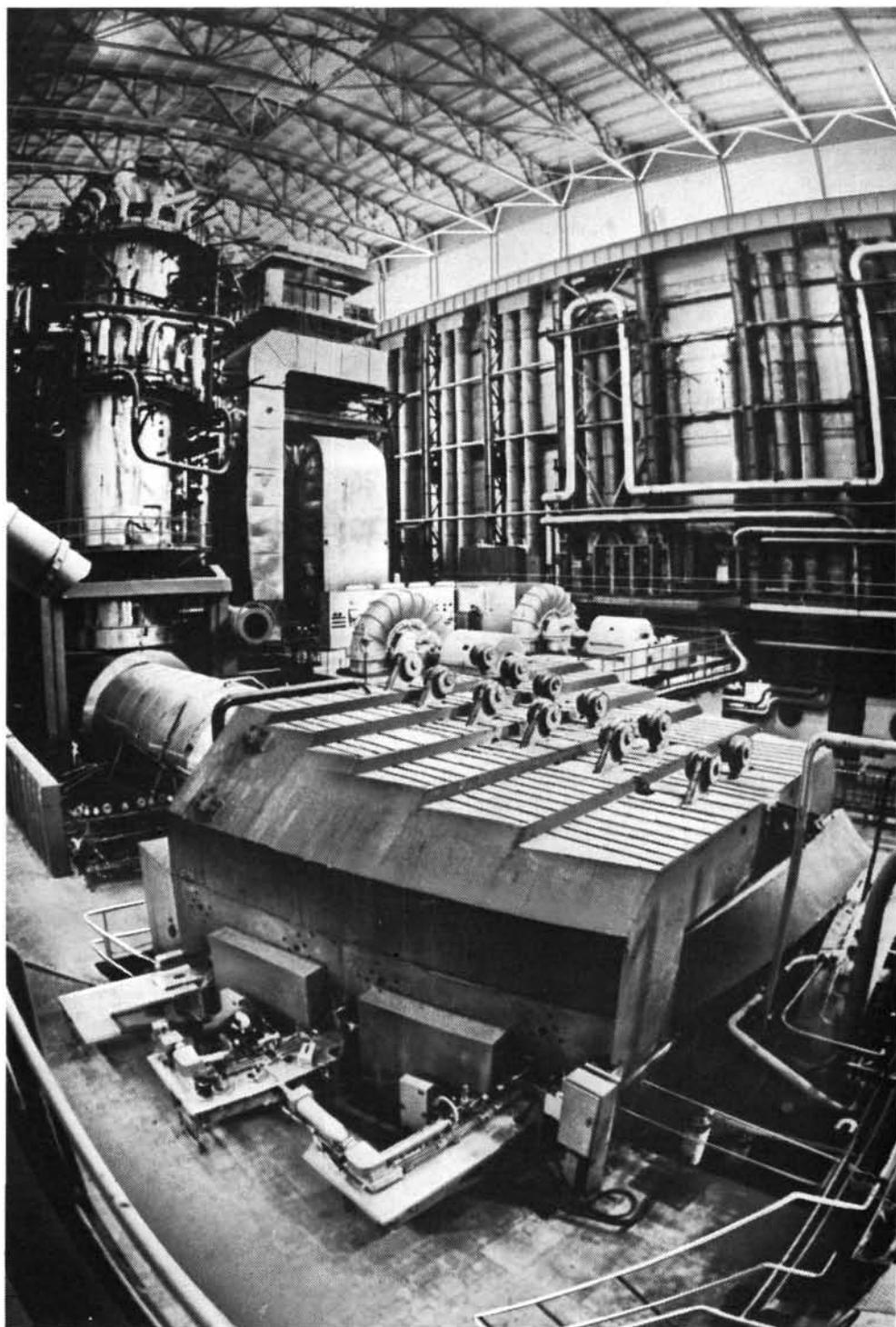
à la construction d'un échangeur thermique à haute température (jusqu'à 1200°C). Un accord bilatéral pour la construction d'un système de gazéification du charbon a récemment été conclu entre la Pologne et les Etats-Unis d'Amérique.

Il existe entre les pays socialistes un programme de coopération multilatérale sur la production MHD d'énergie électrique dans le cadre du Conseil d'aide économique mutuelle (CAEM). Le Gouvernement indien a décidé de créer, avec l'appui de l'URSS, une installation thermique de recherche de 15 MW pour étudier les problèmes techniques que pose un système MHD à cycle ouvert fondé sur la gazéification du charbon. Comme exemple de l'ampleur que prend la coopération internationale par l'intermédiaire du groupe de liaison, on peut citer le programme commun soviéto-américain pour l'étude et la construction de centrales MHD à échelle industrielle; ces travaux progressent depuis 1974 et se révèlent féconds. Etant donné que l'installation U-25 contient les principaux éléments d'une centrale MHD à échelle industrielle, elle offre aux experts américains la possibilité d'expérimenter d'importantes parties de l'installation MHD en exploitation. Pour leur part, les experts soviétiques s'intéressent à l'étude des parties de centrales MHD conçues par les Américains, et en particulier aux systèmes à grand électro-aimant supraconducteur et à l'exploitation de générateurs MHD à charbon.

◀ Galaxy C5 de l'armée de l'air américaine à l'aéroport Sheremetyevo (Moscou) livrant un aimant supraconducteur construit par le "Argonne National Laboratory".



Installation de l'aimant supraconducteur dans le circuit de dérivation de l'installation U-25.



L'installation soviétique pilote MHD U-25. On voit au premier plan le système à aimant de 2000 tonnes dans le premier circuit.

Tableau 2: Principales caractéristiques du système à grand aimant supraconducteur construit par le "Argonne National Laboratory" pour le circuit de dérivation de l'installation U-25

Dimensions: Entrée chaude – 40 cm de diamètre; sortie chaude – 60 cm de diamètre; longueur totale – 4,2 m.

| | |
|---|---|
| Champ magnétique H_0/H maximum | $\frac{6,3 \text{ T}}{5 \text{ T}}$ |
| $I(\text{conducteur})/I(\text{global})$: | $\frac{4,2 \times 10^3 \text{ A/cm}^2}{2,6 \times 10^3 \text{ A/cm}^2}$ |

$E = 20 \times 10^6 I$

Flux thermique ($W_s[W/cm^2]$) : 0,83

Volume d'hélium/volume du conducteur: 0,36

L'installation, en 1977, d'un système américain à grand aimant supraconducteur dans un circuit de dérivation de l'installation U-25 a constitué une contribution importante au programme de coopération entre l'URSS et les Etats-Unis. L'aimant bipolaire supraconducteur a été construit par le "Argonne National Laboratory" et expédié par avion en URSS (voir photos). Le tableau 2 en donne les principales caractéristiques.

Au cours des prochaines années, l'URSS et les Etats-Unis se proposent d'étudier en commun un large éventail de problèmes posés par l'emploi, avec le générateur MHD, de champs électriques et magnétiques puissants (champs électriques atteignant 3 kV/m et induction magnétique pouvant atteindre 5 T). Le résultat de cette étude jouera un rôle déterminant dans la conception et l'amélioration des principaux éléments de générateurs MHD que l'on se propose d'utiliser dans les centrales industrielles.

Conclusion

L'activité à long terme du groupe international de liaison appuyé par l'AIEA et l'UNESCO, ainsi que les différents programmes de recherche et d'études techniques, préluant à une coopération internationale dont le but est de faire progresser la MHD, mettent en lumière les énormes perspectives d'avenir qu'ouvrent ces techniques de production d'énergie électrique.