Présentation des travaux du Comité " Diffusion thermique "

par A. Fortier

Professeur à l'Université de Paris-VI

La crise de l'énergie, sujet brûlant d'actualité, va accélérer la construction de nouvelles centrales nucléaires. Mais bien avant l'apparition des difficultés que l'on sait, liées à l'approvisionnement et aux prix du pétrole, l'Electricité de France avait lancé de nombreuses études pour préciser la nature, la puissance optimum et les implantations éventuelles des nouvelles centrales à construire d'ici l'an 2000. Ces études ont montré que la puissance totale à installer avant cette date devrait être de l'ordre de 200 GW et qu'il y avait intérêt, des points de vue technique et économique, à concentrer cette puissance sur quelques sites ponctuels.

Les projets prévoient, sur ces sites, des puissances allant de 5 à 25 GW. Or, pour une puissance électrique de 5 GW et un rendement de 33 %, il faut un débit d'eau de 200 m³/s, pour le refroidissement des condenseurs, si on admet une élévation de température de 10 °C. Le débit moyen de nos principaux fleuves, en dehors du Rhône, étant de cet ordre, il ne peut être question de placer ces centrales « au fil de l'eau » et il faut, soit utiliser des réfrigérants atmosphériques monstrueux, extrêmement chers et parfaitement inesthétiques, soit placer les centrales le long du littoral et employer la mer comme milieu récepteur des calories provenant du refroidissement des condenseurs.

C'est cette dernière solution qui a été retenue, mais elle pose des problèmes extrêmement délicats, en particulier en ce qui concerne l'influence sur l'environnement de ces rejets massifs de chaleur dans le milieu marin.

C'est pourquoi, au cours d'une réunion tenue le 22 mars 1973 entre l'E.D.F. et le C.N.E.X.O. (Centre National pour l'Exploitation des Océans), il a été décidé de créer un Comité « Diffusion thermique », groupant des spécialistes de Mécanique des fluides, de Transferts thermiques ainsi que des océanographes et des écologues, dans le but de rassembler, de discuter et d'étendre nos connaissances sur les mécanismes de transferts thermiques au sein de la mer, et ensuite de ce milieu marin, récepteur, à l'atmosphère.

Pour une centrale de dimensions et d'implantation données, il s'agit de prévoir le champ des températures du milieu marin autour du rejet et de la prise d'eau de la centrale, pour que l'écologue puisse décider si la solution proposée est acceptable ou à rejeter.

Ce Comité, qui est devenu par la suite un groupe de travail sur « le mélange et la dispersion des rejets thermiques en mer » de la Division « Mécanique des fluides » de la S.H.F., s'est réuni pour la première fois le 2 juillet 1973.

Au cours de cette première réunion, M. J.-C. Lebreton a, tout d'abord, exposé les besoins qu'implique la réfrigération des grandes centrales nucléaires et examiné les problèmes posés par cette réfrigération. Il a développé toutes ces questions au cours de la première conférence de cet après-midi et, comme il est particulièrement compétent dans ce domaine, il vous a donné toutes les précisions utiles. Les mécanismes essentiels, qui entrent en jeu dans le transfert de calories, ont été ensuite évoqués; ils sont au nombre de trois: diffusion turbulente due à l'agitation turbulente de la mer provoquée par la houle, le vent et les courants, convection par les courants et, enfin, échanges atmosphériques.

Ce dernier phénomène est tout à fait primordial, car c'est lui qui permet d'atteindre finalement un état d'équilibre. Mais pour l'introduire dans les calculs, il faut connaître la convection et, par conséquent, il nous a semblé indispensable de porter d'abord nos efforts sur les courants marins.

Un premier échange de vues a bien fait apparaître que les problèmes sont très différents lorsqu'il s'agit de la Méditerranée ou de la Manche et nous avons mis au programme des séances ultérieures, la courantologie en Méditerranée et en Manche.

Notre deuxième réunion, qui s'est tenue le 18 octobre 1973, a été principalement consacrée à un exposé de M. Daubert sur un exemple particulier, celui du site de

Paluel. Cet exemple numérique a permis de bien délimiter les problèmes et de préciser les points sur lesquels devait porter l'effort du Comité. Dans cet exemple, on suppose une puissance de 5 GW électrique, c'est-à-dire 10 GW thermique, rejetée à la mer. Le débit est de $200 \text{ m}^3/\text{s}$ pour une élévation de température de 12° et une vitesse de rejet de 1 m/s . La connaissance des courants étant indispensable pour le calcul de la dispersion de la tache thermique, des mesures ont été faites *in situ* et ont montré que les masses d'eau parcouraient environ 15 km au flot et au jusant, avec une dérive de 1 km parallèlement à la côte. Le calcul du jet traversier a montré qu'après un parcours de 15 km , l'étalement du jet atteignait 3 à 4 km de large et assez rapidement le fond. A partir de ces résultats, quelques calculs élémentaires ont été faits pour évaluer l'ordre de grandeur des élévations de température et un calcul numérique complet a été effectué en prenant des coefficients d'échange atmosphérique de 100 et $30 \text{ W/m}^2/^\circ\text{C}$ et des coefficients de dispersion isotropes de $5 \text{ m}^2/\text{s}$ et anisotropes de $5 \text{ m}^2/\text{s}$ dans la direction est-ouest et $0,5 \text{ m}^2/\text{s}$ dans la direction nord-sud. La tache augmente lorsque le coefficient d'échange atmosphérique diminue et lorsque la dispersion est anisotrope. Pour fixer des ordres de grandeur, la zone correspondant à un accroissement de température de 4°C , ne dépasse pas 2 à 3 km^2 , et il faut une surface de 50 à 60 km^2 pour transférer à l'atmosphère la chaleur apportée par la centrale. De la discussion qui a suivi l'exposé de M. Daubert, résulte que la connaissance des courants dans la bande côtière est essentielle et que le volume total de la Manche orientale étant de 10^{12} m^3 , il y a évidemment une puissance maximum à ne pas dépasser le long des côtes correspondantes, malgré une dérive vers l'est à travers le Pas-de-Calais, correspondant à un débit de $10^{12} \text{ m}^3/\text{an}$. Pour l'étude des taches thermiques, la question de la photogrammétrie infrarouge a été évoquée et l'E.D.F. projette d'utiliser ce procédé pour la centrale existante au Havre et le site futur de Gravelines.

Les deux réunions suivantes de notre Comité ont été consacrées à la courantologie. Au cours de la troisième

réunion, tenue le 17 janvier 1974, M. de Saint-Guily nous a fait une synthèse des données concernant la météorologie, l'hydrologie et la dynamique de la Méditerranée occidentale. Il a beaucoup insisté sur le golfe du Lion, car plusieurs centrales sont prévues le long du littoral de ce golfe. Pour une surface totale de $10\,000 \text{ km}^2$, la chaleur cédée à l'atmosphère par jour, en été, correspond à une puissance moyenne de 700 GW ; cette puissance est supérieure en hiver et à peu près double. En ce qui concerne les courants, il y a peu d'éléments précis et, en particulier à l'intérieur du golfe, des mesures complémentaires s'imposent.

Notre dernière réunion, qui a eu lieu le 14 mars 1974, a été consacrée aux courants en Manche orientale. M. Chabert-d'Hières a résumé l'ensemble des résultats connus et insisté sur le fait qu'il y avait beaucoup de données au large mais peu le long des côtes. Il nous a ensuite exposé les résultats obtenus sur le modèle sur plaque tournante de Grenoble. Ce modèle, à l'échelle du $1/50\,000$ avec distorsion de 100 , reproduit correctement la circulation générale en Manche orientale, mais ne peut évidemment pas donner des résultats quantitatifs dans la bande côtière.

Ces premières réunions ont permis de dégrossir les problèmes. Elles ont montré que nos connaissances sur les courants, en particulier le long des côtes, étaient insuffisantes. Les coefficients d'échange atmosphérique sont aussi mal connus, et c'est dans ces deux domaines qu'il y a lieu de faire des mesures complémentaires. Il ressort pourtant des résultats qui nous ont été communiqués et des discussions qui ont eu lieu au cours de ces réunions que, dans la limite des puissances prévues, il existe des sites possibles pour l'implantation des centrales nouvelles. L'influence sur l'environnement marin des rejets thermiques restera probablement, pour ces sites, dans des limites admissibles, mais il y a encore beaucoup de mesures, d'expériences et de calculs à faire avant de pouvoir fournir à l'écologue des champs de température avec une précision supérieure au degré.

Discussion

Président : M. le Professeur A. FORTIER

M. COLLANGE se demande dans quelle mesure des précisions d'un ordre très inférieur au degré, pour la température de l'eau, sont bien nécessaires pour les recherches sur l'écologie.

La question posée est certainement très judicieuse, observe M. J.-C. LEBRETON. Elle n'a pas de réponse définitive aujourd'hui. On peut néanmoins rapprocher des élévations de température, consécutives aux rejets, calculées, les fluctuations naturelles sur des périodes journalières ou hebdomadaires en Manche près de Paluel; elles sont de l'ordre de 2 à 3°C .

On peut également rappeler qu'une étude de synthèse, faite par le Professeur Ancellin, du Centre de La Hague, conclut — en reprenant toutes les études et les observations actuellement disponibles — que les effets écologiques pour des échauffements inférieurs à 1°C sont sans doute très peu sensibles. Ils sont par contre importants à partir de 5°C .

Ceci encadre apparemment le problème des effets des échauffements sur le milieu.

M. MONDIN souhaiterait que M. LEBRETON précise les notions de «near-field» et de «far-field» que l'on rencontre dans certaines études.

Je préférerais laisser la parole aux spécialistes, répond M. LEBRETON... Il semble que les notions de «far-field» et de «near-field» ont été introduites, par les spécialistes des U.S.A., dans l'étude d'un jet pénétrant dans un milieu récepteur en mouvement ou au repos. Dans la zone du «near-field», les phénomènes dépendent étroitement des conditions à la limite du jet, de son débit, de sa quantité de mouvement. Dans le «far-field», ce sont les conditions aux limites dont a parlé M. le Professeur FORTIER: vents, courants de dérive, etc., qui dominent les phénomènes hydrodynamiques.

Au point de vue purement écologique, observe M. MONDIN, j'ai entendu dire qu'il existe une zone toute proche des rejets dont les écologues ne s'occupent guère, et une zone un peu plus éloignée à propos de laquelle ils se montrent très exigeants sur les écarts de température résultant desdits rejets.

Il me semble, dit M. le Président, que pour la pollution thermique, on doit pouvoir admettre une zone très limitée où, effectivement, l'élévation de température peut avoir une influence sur les êtres qui vivent dans le milieu marin (cela serait très différent en matière de pollution chimique).

Si sur 2 km² on modifie un peu les conditions du milieu, bien que n'étant pas écologue, je ne pense pas que cela présente une très grande importance.

M. FAGE aimerait savoir si des études sont envisagées ou entreprises au niveau de la modification des courants marins ; à partir de quel stade de rejets thermiques dans la Manche orientale y aurait-il des modifications ou des évolutions dans ces courants ?

Dans la Manche orientale, remarque M. le Président, les courants sont des courants de marées et l'on ne pense pas que les Centrales prévues apporteraient à ces derniers beaucoup de modifications. D'une part, les volumes ajoutés sont faibles, d'autre part, les variations de température n'ont pas d'influence sur les marées elles-mêmes.

En Méditerranée, les courants sont dus au vent et on peut se demander si des variations de température sont susceptibles de modifier le régime des vents. Enfin, personnellement, je ne pense pas que le régime de la tramontane ou du mistral puisse être modifié par une petite élévation locale de température. Donc, il me paraît peu probable qu'il y ait interaction.

M. COANTIC intervient ensuite en ces termes :

Je voudrais savoir si le Comité « Diffusion thermique » s'est occupé de ce qu'on pourrait appeler la pollution hydrique ?

Dans les échanges d'énergie entre l'Océan et l'atmosphère, on sait qu'en moyenne de l'ordre de 45 % — presque 50 % — de l'énergie communiquée par le soleil à l'océan est restituée à l'atmosphère sous forme de vapeur d'eau par le mécanisme de l'évaporation.

Puisque les quantités de chaleur qu'il est prévu d'ajouter à la mer, ne sont pas négligeables, d'après ce qui nous a été dit, vis-à-vis des quantités normalement apportées par le soleil, les rejets thermiques vont accroître dans une proportion non négligeable le taux d'évaporation propre à la Manche. Or, les masses d'air, d'origine atlantique, qui arrivent au-dessus de la Manche, sont déjà très chargées en humidité, ce qui fait qu'il y a fréquemment production de brouillard sur les régions voisines.

Cette addition de chaleur, entraînant une évaporation accrue, ne risque-t-elle pas de diminuer, dans une proportion appréciable, le nombre de jours où les habitants de ces régions disposent d'une atmosphère relativement claire ?

D'après ce que nous a dit M. LEBRETON, répond M. le Président, l'énergie solaire reçue par 50 km² est équivalente à l'énergie effectivement rejetée par une centrale de 5 000 MW. Seulement l'énergie solaire est répartie sur une surface beaucoup plus grande que cela.

Une surface de l'ordre de quelques fois 50 km² représentera une aire extrêmement faible par rapport à la surface totale de la Manche orientale. Je ne pense pas que cela modifie profondément le champ des températures au large.

Mais votre question est très pertinente. Il est certain que c'est un problème à élucider.

Statistiquement, observe M. CRÉPON, sur la surface du golfe du Lion, qui est de l'ordre de 10 000 km², cela n'apportera pas de grandes modifications ; mais sur les 50 ou 100 km² proches de la centrale, il peut y avoir des modifications très grandes de l'environnement.

M. MONDIN signale que le « Comité sur les rejets thermiques », fonctionnant au niveau du Secrétariat Général de l'Energie, comprend des météorologistes qui se penchent sur la question. Jusqu'à maintenant, leur opinion a été réservée, la réponse n'étant pas évidente.

Il faut garder en tête les ordres de grandeur, observe M. J.-C. LEBRETON. On a vu qu'au-delà de 10 km², l'écart de température consécutif au rejet était inférieur au degré.

Il est évident que les météorologistes regardent ces questions du point de vue des possibilités de brouillard sur des sites précis ; *grosso modo*, on peut dire que, au niveau d'un écart de quelques dixièmes de degré, il n'y a pas d'effets sensibles sur l'accroissement du brouillard sur une surface importante. Peut-être y aura-t-il un peu de brouillard près du rejet, pendant une période un peu plus longue qu'avant l'implantation de la centrale.

M. BANAL fait remarquer que le problème n'est pas nouveau :

Depuis qu'on fait des centrales thermiques, dit-il, la chaleur, en définitive, s'en va dans l'atmosphère sous forme de vapeur d'eau. C'est aussi vrai pour les centrales qui utilisent le refroidissement direct sur rivière que pour celles qui utilisent des réfrigérants atmosphériques.

Mais il est évident, qu'avec l'accroissement de la puissance, des effets, qui n'apparaissent pas autrefois, peuvent surgir.

Jusqu'à maintenant, on n'a jamais rien observé de fâcheux pour l'environnement, même dans les endroits les plus chargés en puissance ; mais cela ne veut pas dire qu'on puisse augmenter indéfiniment la densité de puissance. Il est très souhaitable que la science de l'atmosphère fasse des progrès car, actuellement, elle ne paraît pas en mesure de nous fixer sur les concentrations de puissance admissibles.

M. FRANÇOIS présente les trois observations ci-après :

1° Du fait de l'accroissement de l'absorption du rayonnement solaire qu'elle provoque, une augmentation locale de la vapeur d'eau dans l'atmosphère, sur une aire marine *notable*, aura pour conséquence une réduction de la chaleur solaire absorbée par l'eau sur cette même aire. Donc tendance à un auto-freinage et à un nouvel équilibre plus ou moins voisin du primitif.

2° Vue sous un autre angle, la question est ancienne. Elle s'était posée dans l'étude du projet Roudaire (mer intérieure algéro-tunisienne). Les météorologistes de l'époque ont, dans l'ensemble, estimé qu'il n'y aurait pas de modification sensible du climat, particulièrement de la pluviométrie. L'absence de réalisation du projet n'a pas permis de contrôler cette conclusion.

3° Ici, les problèmes se compliquent encore par l'aspect écologique dans un milieu marin. Les progrès actuels de la météorologie océanique, de la thermodynamique des mers et de la biologie marine sont certainement à mobiliser si les apports thermiques artificiels deviennent très considérables.

M. le Président clôt la discussion en remerciant tous ceux qui ont contribué à l'animer et donne la parole à M. le Professeur CURTET pour l'exposé de sa communication.