

# INFLUENCE DE LA SALISSURE MARINE SUR LA CORROSION DES MÉTAUX ET MOYENS DE PRÉVENTION

par M. BUREAU et R. BOYER

Ingénieurs à E.D.F., Service Etudes et Projets Thermiques  
et Nucléaires (S.E.P.T.E.N.)

## 1. — But de l'exposé

Au cours de ces dernières années, la puissance des unités de production E.D.F. a constamment augmenté (\*). Cette augmentation de puissance, qui se poursuivra encore dans l'avenir, a pour corollaire l'accroissement, également continu, des débits nécessaires à la source froide de ces unités (\*\*).

Seuls, de grands fleuves comme le Rhin, le Rhône, la Seine et la Loire peuvent fournir ces débits. Cependant, le nombre des sites possibles sur ces voies d'eau est limité, ce qui conduit à prévoir des implantations de plus en plus nombreuses en bordure de mer.

Le but de ce rapport est d'exposer, de façon succincte, les problèmes liés à la pollution marine et plus particulièrement les risques de corrosion qui peuvent en découler, ainsi que les différentes solutions permettant de réduire, sinon de supprimer, la salissure et la corrosion en milieu marin.

(\*) Palier 125 MW, dont la première unité a été mise en service en 1955;  
Palier 250 MW, dont la première unité a été mise en service en 1961;  
Palier 600 MW, dont la première unité a été mise en service en 1968;  
Paliers 700 MW (thermique classique) et 900 MW (thermique nucléaire) pour les centrales en projet ou en construction dont le démarrage est prévu dans quatre ou cinq ans;  
Palier 1 200 MW nucléaire dans un proche avenir.

(\*\*) Le condenseur d'une tranche thermique de 700 MW est prévu pour un débit de 17 m<sup>3</sup>/s (environ 61 000 m<sup>3</sup>/h); celui d'une tranche nucléaire de 900 MW est prévu pour un débit de 40 m<sup>3</sup>/s (environ 145 000 m<sup>3</sup>/h).

## 2. — Généralités

Le comportement des matériaux métalliques en eau de mer est très différent suivant qu'il s'agit d'eau de mer propre (au large des côtes) ou d'eau de mer plus ou moins polluée (eau des ports, de zones industrielles ou de grandes agglomérations).

Chaque site constitue donc un cas particulier, où l'influence combinée des différents facteurs responsables de la corrosion n'est pas entièrement prévisible.

Ceci a conduit E.D.F., depuis un certain temps déjà, à installer le plus tôt possible — en principe dès qu'un nouveau site est projeté — une station d'essais destinée à étudier le comportement des matériaux devant entrer dans la construction des appareils parcourus par l'eau de mer (grilles filtrantes, pompes, tubes de condenseurs, d'échangeurs, etc.) et à faciliter les analyses et relevés divers nécessaires aux chimistes.

Ces renseignements sont complétés, chaque fois que cela est possible, par les résultats d'exploitations d'installations voisines en service depuis un certain temps déjà.

Cependant, les prélèvements effectués et les condenseurs d'essais installés (fonctionnant d'ailleurs, pour des questions de coûts, sans échanges de chaleur et à faible débit) ne permettent pas de se rendre compte de la totalité des dangers de pollution potentiels du milieu.

En effet, le brassage de gros débits d'eau de mer et son échauffement, en permettant la concentration, en un point, d'organismes marins (plancton en particulier), peut créer des conditions de vie propices au développement d'autres

Effets de la pollution de l'eau de mer et règles de prévention  
(Principaux alliages concernés)

| TYPE DE POLLUANT                                   | CORROSION PAR PIQÛRES                     | CORROSION-ÉROSION        | MOYENS DE PRÉVENTION  |
|--|---|--------------------------|---|
| Minéraux solides en suspension.                    |   | Laitons — Cupro-nickels. | Décantation.  |
| Bulles d'air.                                      |   | Laitons — Cupro-nickels. | Éviter les turbulences et dépressions locales.<br>Ventilations à la partie supérieure des boîtes. |
| Minéraux solides formant dépôts ou obstructions.   | Aciers inoxydables.<br>Alliages cuivreux. | Laitons — Cupro-nickels. | Augmenter vitesse d'écoulement (*).<br>Filtration des gros solides.                               |
| Bactéries.   | Alliages cuivreux.<br>Aciers inoxydables. |                          | Augmenter vitesse d'écoulement (*).<br>Chloration.  |
| Coquillages, algues, fixés sur parois.             | Aciers inoxydables.<br>Alliages cuivreux. |                          | Augmenter vitesse d'écoulement (*).<br>Chloration.  |
| Produits de décomposition des matières organiques. | Alliages cuivreux.<br>Aciers inoxydables. |                          | Éviter les zones mortes.<br>Rincer en eau douce à l'arrêt et vidanger.                            |

(\*) Pour les alliages cuivreux, la vitesse doit cependant rester inférieure à la valeur limite produisant la corrosion-érosion.

organismes plus évolués (qui ne s'y trouvaient pas à l'origine).

Il est néanmoins possible d'examiner les principaux types de polluants de l'eau de mer et d'indiquer qualitativement de quelle manière ces polluants risquent de modifier le comportement des matériaux métalliques.

Un résumé est présenté sous forme du tableau 1.

### 3. — Principaux types de polluants

#### 3.1 Polluants physiques.

Cette catégorie comprend :

- les solides restant en suspension : sable, fins débris de coquillages, etc.;
- les solides formant des dépôts, soit en raison de leur taille (petits cailloux, valves de coquillages, etc.), soit en raison de la vitesse insuffisante de l'eau;
- les bulles d'air résultant, en général, du dégazage de l'eau et de la présence de turbulences.

#### 3.2 Polluants organiques.

Ce sont, soit des organismes vivants, soit des produits de décomposition des matières organiques.

Parmi les organismes vivants, on trouve :

##### a) Les bactéries.

Les bactéries sont particulièrement actives dans les eaux très polluées en matières organiques (estuaires, ports, bassins):

La plus importante, dénommée *Vibrio désulfuricans*, produit de l'hydrogène sulfuré par réduction des sulfates contenus dans l'eau de mer. Elle prolifère dans les eaux

pauvres en oxygène, et entretient un milieu acide et réducteur.

D'autres bactéries sont capables de produire, soit de l'ammoniaque, soit de l'acide sulfurique.

b) *Les organismes animaux et végétaux* : coquillages et algues, capables de se fixer sur les parois en contact avec l'eau de mer. De plus, les côtes rocheuses peuvent donner asile à des algues de dimensions importantes qui, en se détachant brutalement en grandes quantités au moment des tempêtes, viennent obstruer les prises d'eau. Outre ces inconvénients « physiques », les produits sulfureux émanant de la décomposition de ces algues peuvent accélérer les processus de corrosion exposés ci-après.

Les matières organiques, sous l'action des bactéries, produisent de nombreux composés. Les composés organiques sulfurés semblent jouer un rôle particulièrement important en corrosion. Ils agissent sur les métaux, soit à proximité des colonies de bactéries responsables de leur formation, soit même à distance quand leur concentration augmente suffisamment dans un bassin.

### 4. — Effets sur la corrosion

#### 4.1 Corrosion localisée.

La corrosion localisée est l'attaque irrégulière d'un métal due, soit à l'hétérogénéité de sa surface, soit à l'hétérogénéité du milieu ambiant. Elle est propre aux métaux passivables (aciers inoxydables, alliages cuivreux).

L'hétérogénéité du milieu ambiant se produit dans les conditions suivantes :

- a) présence de dépôts : vase, sable, débris;
- b) fixation d'organismes vivants;

c) action bactérienne locale;

d) eau de circulation très polluée en matières organiques et pauvre en oxygène.

Les conditions a) et b) sont préjudiciables surtout aux aciers inoxydables et, dans une moindre mesure, aux alliages cuivreux.

Les conditions c) et d) sont préjudiciables surtout aux alliages cuivreux en raison de la sensibilité de ces matériaux aux composés sulfurés et ammoniacaux.

#### 4.2 Corrosion - érosion.

La corrosion-érosion est une corrosion généralisée accélérée par la vitesse de circulation de l'eau. Elle concerne les métaux non passivés (acier au carbone) et également les métaux passivés (cuivreux notamment) par arrachement de la couche de passivation superficielle.

Le risque de corrosion-érosion, déjà sensible en eau propre pour les laiton et les cupro-nickels, est aggravé dans les conditions suivantes :

a) présence de solides en suspension;

b) présence de bulles d'air;

c) dépôts ou obstruction par des solides provoquant des turbulences locales.

#### 4.3 Corrosion généralisée.

La corrosion généralisée, qui se traduit par une perte de matière à peu près uniforme sur toute la surface du matériau, concerne surtout l'acier au carbone, ordinaire ou faiblement allié.

Le taux de corrosion de l'acier au carbone peut être augmenté si l'eau de mer est fortement polluée par des déchets organiques.

## 5. — Méthodes de protection

Ces méthodes ont pour but, soit d'éviter les pollutions, soit d'en limiter les conséquences :

— méthodes de protection chimiques;

— méthodes de protection physiques (mécaniques ou thermiques).

Bien entendu, outre ces procédés directs de lutte, la conception générale des installations joue également un rôle très important pour limiter la pollution des circuits à un taux acceptable.

A titre indicatif, on trouvera, sur la figure 1, un schéma de circuit d'eau de réfrigération en eau de mer avec l'indication des organes ou ouvrages pouvant être intéressés par les salissures et les corrosions. M. Gallioz vous apportera des précisions sur un tel schéma au cours de son exposé de cet après-midi, consacré à la prise et au rejet d'eau de la centrale de Martigues-Ponteau.

#### 5.1 Protection chimique

##### 5.1.1 REVÊTEMENTS TOXIQUES (ou « anti-fouling »).

Ce sont des peintures ou enduits de béton spéciaux, généralement à base de sels de cuivre, se dissolvant plus ou moins rapidement dans l'eau.

Ces produits empêchent, en principe, la fixation du naissain de moules ou des autres micro-organismes présents dans l'eau.

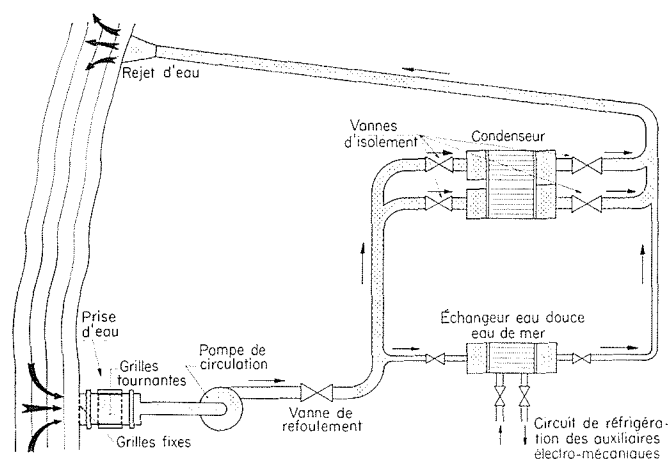
Leur efficacité est limitée dans le temps (de trois à six mois à trois ou quatre ans, suivant les sources de renseignements) et leur prix de revient est généralement assez élevé du fait de l'importance des surfaces intéressées.

A noter que la teneur en cuivre, généralement élevée, des tubes de condenseurs, préserve ceux-ci de la fixation de la plupart des organismes vivants sans les mettre toutefois entièrement à l'abri des dépôts marins.

##### 5.1.2 CHLORATION.

Ce procédé est une extension des méthodes de protection contre les micro-organismes utilisées dans les centrales sur rivières avant l'apparition du nettoyage continu des tubes de condenseurs (voir plus loin). Il vise à empêcher la prolifération des organismes vivants. On trouvera, à la figure 2, le schéma de principe d'une installation de chloration.

C'est actuellement l'un des systèmes le plus employé, tant en France qu'à l'étranger. Il est néanmoins très empirique et demande certains tâtonnements pour sa mise au point. Celle-ci dépend, naturellement, beaucoup des conditions



1/Schéma de principe du circuit de réfrigération d'une centrale sur eau de mer.

climatiques locales qui régissent le cycle de reproduction des organismes incriminés, les moules en particulier.

Cette question a été étudiée de très près en Grande-Bretagne par le Dr Ross, spécialiste de la pollution au C.E.G.B. qui a pu définir des critères d'emploi de la chloration en fonction des conditions locales rencontrées.

Cette méthode, qui a été reprise pour les centrales E.D.F. en eau de mer après adaptation aux conditions climatologiques françaises, se caractérise principalement :

— sous l'aspect « préventif », par la surveillance de l'apparition du naissain (prélèvements d'échantillons d'eau et relevés des températures, en particulier celles favorisant le frai, la fixation du naissain s'effectuant, suivant les lieux et les conditions atmosphériques, trois à cinq semaines après le début du frai);

— sous l'aspect « curatif », par des injections continues de chlore contrôlées de manière à ce que la teneur en chlore résiduelle effective ne dépasse pas 0,2 ppm (\*) à l'entrée du condenseur (le chlore rejeté en trop grandes quantités par le circuit étant à la fois une perte et un danger potentiel pour l'écologie marine).

En Grande-Bretagne, cette chloration est continuée tant que la température de l'eau de mer est supérieure à 10 °C et de toute façon au minimum du début avril à la mi-novembre.

A titre indicatif, nous donnons, ci-après, le mode de chloration utilisé à la centrale E.D.F. de Dunkerque :

— injections continues, du 15 mai au 30 juin, et du 1<sup>er</sup> septembre au 15 octobre (\*\*), au taux de 1 ppm, à l'entrée du circuit;

— injections discontinues le restant de l'année, à raison d'une injection de 15 mn toutes les 4 h aux taux de 5 ppm à l'entrée du circuit.

On vérifie, qu'au rejet, le chlore ne subsiste plus qu'à l'état de traces.

Si l'efficacité d'une chloration bien adaptée au site est, en général, excellente, sa mise en œuvre comporte, pour des centrales de grosse capacité, outre son prix de revient non négligeable, certains inconvénients :

a) Précautions pour éviter toute nuisance vis-à-vis du personnel et éventuellement du voisinage de la centrale, pouvant résulter du stockage et la manutention de quantités importantes (plus de 50 t dans certains cas) de chlore liquéfié sous pression (environ 5 bar à 10 °C).

b) Agressivité du chlore vis-à-vis du matériel de la station de chloration, notamment en présence d'humidité, mais aussi du matériel de condensation (action sur certaines nuances de tubes de condenseur en particulier).

Il est possible de remplacer le chlore liquéfié sous pression par de l'eau de javel à la pression atmosphérique, mais cette solution est sensiblement trois fois plus onéreuse.

C'est ce qui a été réalisé, au moins momentanément, à la centrale de La Spezia, Italie (après un accident survenu en juin 1966), et récemment à la centrale E.D.F. de Brest-Portzig.

Une seconde solution, qui semble avoir pris naissance au Japon et en Grande-Bretagne, consiste à produire, *in situ* et pratiquement au fur et à mesure des besoins, du chlore, ou plus exactement de l'eau de javel, en électrolysant une petite partie de l'eau de mer destinée à la centrale.

En fait, ce mode de chloration est utilisé depuis un certain temps déjà dans diverses installations industrielles utilisant de l'eau douce ou de l'eau de mer (piscines, circuit d'eau auxiliaire à la centrale de Saint-Laurent-des-Eaux, etc.), à partir de saumures artificielles plus ou moins concentrées.

Des essais en eau de mer sont actuellement en cours :

— en Italie, sur la tranche 1 de 300 MW de la centrale de Brindisi (ENEL) avec une installation pilote capable d'un débit total de chlore de 75 kg/h en trois groupes de deux cellules issus de trois fabricants différents (soit environ 12 kg/h par cellule).

Ces cellules, qui comportent des électrodes en titane, avec activation des anodes par du platine, ont été mises en service au début de 1970 et sont en cours d'expérimentation.

— en France, deux solutions de caractéristiques assez différentes, mais suivies toutes deux par E.D.F., ont vu le jour à quelques mois d'intervalle.

a) La première a été proposée à E.D.F. en mai 1968.

Le procédé consiste à utiliser, comme électrolyte, les purges d'un bouilleur, dont la concentration en NaCl et la température, supérieures à celles de l'eau de mer de la prise d'eau, améliorent le rendement faradique de l'électrolyse. D'autre part, le traitement chimique appliqué à l'eau d'alimentation du bouilleur contribue à ralentir l'encrassement des électrodes.

La cellule proposée à l'origine était du type multipolaire à électrodes en titane activée au platine.

Par la suite, il a été jugé préférable de confier la fourniture de la cellule d'essai à un spécialiste de l'électrolyse du NaCl.

Les cellules proposées, du type bi-polaire avec anode en titane activé au platine iridié et cathode en acier, fonctionnent normalement avec des saumures artificielles de concentrations voisines de 10 (jusqu'à 310 g de sel par litre).

E.D.F. a passé commande, le 2 juin 1969, d'une cellule-pilote capable de 5 à 6 kg/h (\*) de chlore en première étape (pouvant éventuellement être exploitée à 10 - 12 kg/h par la suite) dont l'installation sur les purges du bouilleur-flash de la tranche 4 de Dunkerque (concentration 2) a été achevée en mai 1970.

b) Une deuxième solution est basée sur une cellule-pilote mise au point et exploitée depuis environ un an par le Commissariat à l'Energie Atomique, en liaison avec la Société Industrielle et Commerciale des Salins du Midi.

Caractéristiques principales de la cellule du C.E.A. :

— électrodes alternées en graphite, à polarités inversables pour éliminer les encrassements;

— production de chlore :

. maximale  $\approx$  80 g/h;

. moyenne  $\approx$  65 g/h (\*\*);

c) Enfin, une troisième solution nous a été proposée, courant octobre 70, par une Société anglaise. Elle est basée sur le procédé « Cychlor » mis au point en Angleterre pour la marine.

Caractéristiques principales de la cellule Cychlor :

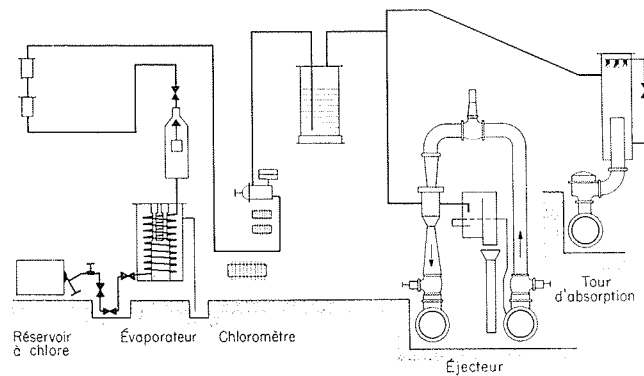
— 32 électrodes alternées, en titane platiné ou en titane seul suivant la polarité;

(\*) 1 ppm (1 part par million) correspond, dans notre cas, à 1 g de chlore par m<sup>3</sup> d'eau.

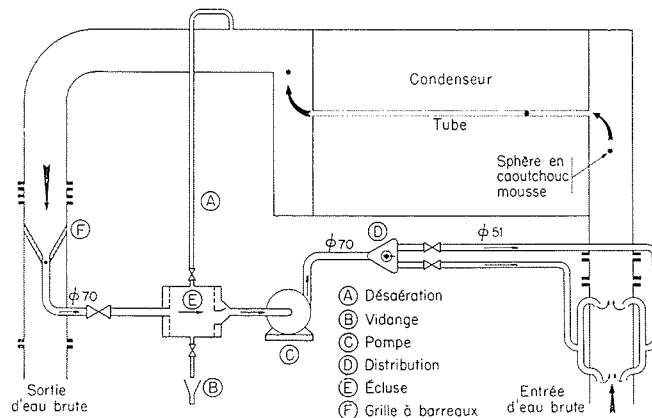
(\*\*) Tout récemment, il a été envisagé de maintenir la chloration continue, sans interruption, du 1<sup>er</sup> mars au 1<sup>er</sup> novembre.

(\*) A titre indicatif, la chloration en continu à 1 ppm d'une tranche de 125 MW de Dunkerque (18 000 m<sup>3</sup>/h d'eau de circulation) conduit à une consommation de 18 kg/h de chlore.

(\*\*) Depuis cette époque, le C.E.A. et les Salins du Midi ont mis en service une cellule du même type, mais de 3 kg/h de capacité.



2/ Schéma de principe d'une installation de chloration.



3/ Dispositif de nettoyage continu des tubes de condenseur. Schéma de principe.

- recirculation de la saumure à grande vitesse (10 à 15 m/s) pour empêcher les dépôts calco-magnésiens;
- débit unitaire de chlore : 3,2 kg/h.

Malgré les résultats encourageants du fonctionnement des deux cellules-pilotes françaises et de celles exploitées par l'ENEL, il n'en reste pas moins que la chloration représente une sujétion très importante dans l'exploitation des centrales en bord de mer. Seule une meilleure efficacité par rapport aux autres méthodes de protection en justifie le maintien.

## 5.2 Protection physique

### 5.2.1 NETTOYAGE MÉCANIQUE.

#### 5.2.1.1 Nettoyage mécanique des circuits d'eau de réfrigération.

On notera, pour mémoire, les essais de raclage (racleurs spéciaux, mini-bulls) effectués dans les galeries d'eau de certaines centrales italiennes.

#### 5.2.1.2 Nettoyage mécanique continu des tubes de condenseur.

Le nettoyage continu des tubes de condenseur a pratiquement été détrôné, pour les centrales sur eau de rivière, le

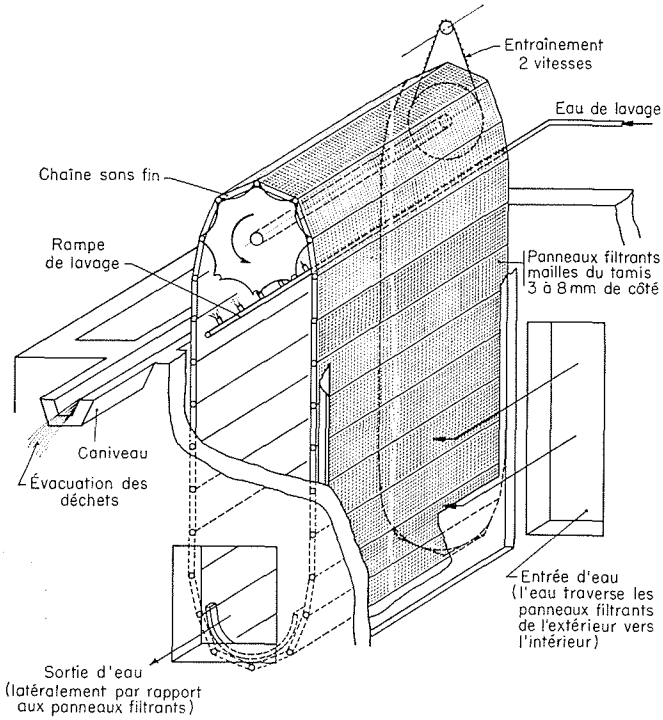
traitement au chlore. Il ne vise d'ailleurs pratiquement, dans ce cas, que les dépôts dus aux micro-organismes d'origine végétale et les boues, dont les zones de forte concentration industrielle ou urbaine favorisent la présence.

Ce système a été retenu pour quelques centrales en bord de mer (Dunkerque en France, Badalona et Mata en Espagne, certaines centrales italiennes, etc.). On trouvera à la figure 3, le schéma de principe d'une telle installation.

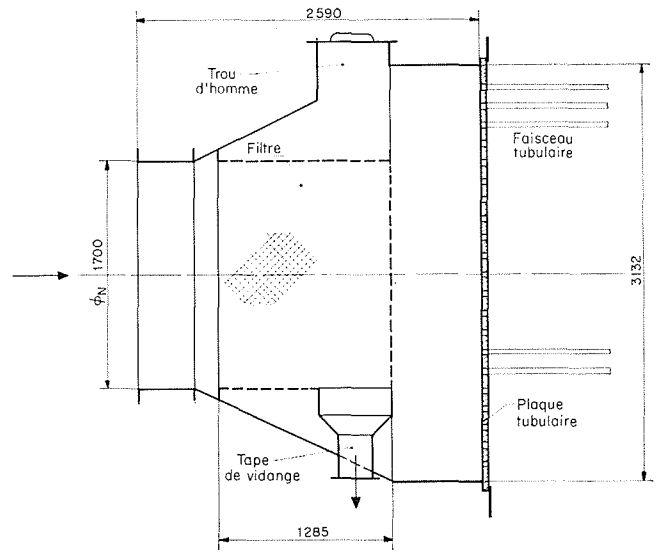
Si son efficacité vis-à-vis de la flore marine ou de certains dépôts peut parfois justifier son maintien dans quelques cas limités, par contre, quelques inconvénients ont milité jusqu'à présent en faveur de sa suppression :

- perturbation du système de nettoyage lorsque des tubes du condenseur sont obstrués par des coquillages qui arrêtent à leur tour les boules,
- perturbation totale du système de nettoyage par la présence de moules à l'intérieur même de celui-ci (c'est le cas à la centrale de Dunkerque (\*)).
- risque d'incompatibilité entre le raclage des tubes par les boules et les dépôts provoqués de sels ferreux à

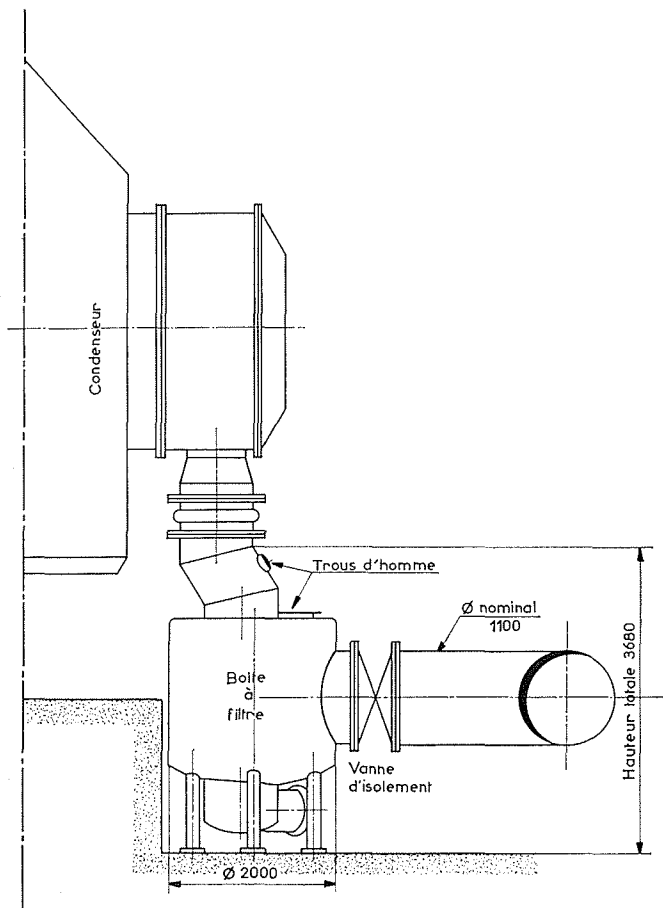
(\*) A noter que des difficultés de fonctionnement de ce dispositif ont été signalées dans quelques centrales E.D.F. sur rivière (à Strasbourg et à Chalon HP en particulier) par suite de l'apparition de moules d'eau douce.



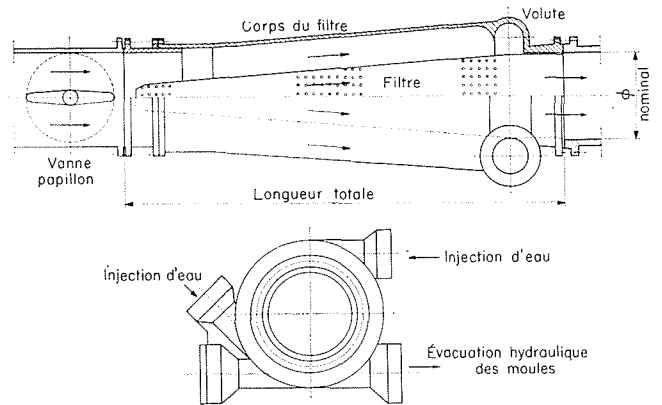
4/ Grille filtrante rotative.



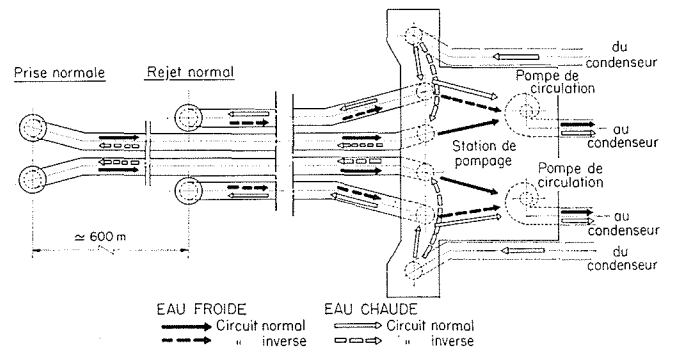
5/ Filtre à moules interne (type Martigues-Ponteau).



6/ Filtre à moules externe (type Dunkerque tr. 3 et 4).



7/ Filtre à moules externe (type Badalona).



8/ Schéma de principe d'un circuit de réfrigération permettant une recirculation d'eau chaude au condenseur et une inversion des circuits.

l'intérieur des tubes dans le cas d'une passivation électrolytique ou par injections programmées de  $\text{SO}_4\text{Fe}$ . En fait, ce point est actuellement très controversé, l'efficacité du dépôt d'ions ferreux ne semblant assurée que si les tubes sont exempts de dépôts, donc régulièrement nettoyés.

### 5.2.1.3 Protection par ultra-sons.

Pour mémoire, cette méthode de protection semblant s'adapter difficilement aux circuits de réfrigération des centrales thermiques modernes, bien que des résultats intéressants aient pu être enregistrés en laboratoire ou dans de petites installations industrielles.

## 5.2.2 FILTRATION.

### 5.2.2.1 Grilles filtrantes de la prise d'eau ou de la station de pompage.

Les circuits d'amenée d'eau sont protégés dès la prise d'eau ou à la station de pompage, si celle-ci est distincte de la précédente, par un ensemble de grilles fixes et de grilles rotatives.

Les grilles fixes, les premières sur le parcours, ne comportent en fait que des barreaux espacés destinés à arrêter les corps flottants et les algues d'une certaine taille. Ces grilles comportent généralement des « dégrilleurs » qui permettent d'évacuer périodiquement les débris arrêtés sur les barreaux.

Les grilles rotatives (voir fig. 4) permettent d'arrêter, en principe, les corps étrangers (coquillages, algues) de dimensions variables suivant la grosseur de maille adoptée (4 mm en général) mais elles laissent passer facilement la plupart des micro-organismes véhiculés par l'eau (plancton, naissain de moules, etc.) qui, si certaines conditions sont remplies, se développent en aval de l'installation de filtration.

### 5.2.2.2 Filtres spéciaux.

Il est donc pratiquement nécessaire, faute de pouvoir rapprocher suffisamment les grilles filtrantes des échangeurs à protéger, de les doubler par des filtres spéciaux situés à proximité immédiate.

Ces filtres sont généralement prévus pour arrêter les corps supérieurs à 8 mm.

Ceux-ci peuvent être de deux types :

#### a) Filtres internes au condenseur.

Les filtres de ce type, disposés à l'intérieur des boîtes à eau, sont connus depuis un certain temps déjà. Ils posent, en général, le problème de la récupération des corps arrêtés, surtout s'il s'agit de grosses quantités de moules.

A noter cependant (voir fig. 5) la disposition adoptée récemment pour les condenseurs de Martigues : paniers-filtres cylindriques en bronze et en cupro-aluminium, d'environ 1,3 m de longueur et de 1,7 m de diamètre avec buse d'évacuation des moules et autres corps arrêtés.

L'installation de ces filtres peut compliquer le dessin de la boîte à eau d'entrée et l'installation de sa protection cathodique éventuelle.

#### b) Filtres externes au condenseur.

Parmi les filtres de ce second type, on peut citer :

a) Ceux installés sur les coudes d'entrée des condenseurs des tranches 3 et 4 de Dunkerque (voir fig. 6). Ils sont du type vertical avec nettoyage périodique à contre-

courant, (d'où la nécessité de prévoir des tuyauteries et des jeux de vannes permettant d'aiguiller l'eau de circulation dans différentes directions) avec une incidence momentanée sur la charge de la turbine.

b) Ceux mis au point, notamment pour les centrales espagnoles de Badalona et de Vandellos et utilisés dans plusieurs centrales de ce pays. Ils sont du type horizontal (voir fig. 7) et s'insèrent dans une portion également horizontale de la conduite d'amenée. L'évacuation des moules arrêtées est automatique. Elle s'effectue en marche, sans répercussion importante sur la charge de la turbine, par voie hydraulique à l'aide de jets d'eau tangentiels, le rapport du débit total de ces jets au débit d'eau de circulation étant maintenu aux environs de 5/100 à 7/100 et pouvant être ajusté par la manœuvre d'une vanne-papillon disposée à l'entrée du filtre.

Ces deux types de filtres sont *a priori* séduisants, mais leur coût d'achat élevé et leur encombrement font perdre beaucoup de leur intérêt.

Tout récemment, un troisième type de filtre, également nettoyable en marche, mais d'une construction plus simple et plus économique, a été proposé à E.D.F. Il est encore prématuré d'en parler, bien que cette nouvelle technique semble prometteuse.

## 5.3.2 ÉCHAUFFEMENT DE L'EAU DE MER.

De nombreux essais effectués, à l'étranger, notamment en Grande-Bretagne, aux U.S.A. et en Italie, ont montré que les moules ne résistent pas à un échauffement de l'eau au-dessus de 40 °C maintenu pendant plus d'une heure.

Cette élévation de température peut être obtenue de différentes façons, notamment :

— par recirculation plus ou moins prolongée de l'eau de réfrigération des condenseurs, par exemple pendant 1/2 à 1 h à 40 ou 45 °C en réduisant la charge du groupe (en particulier pendant la nuit).

Bien entendu, cette méthode suppose :

- que la conception du circuit de réfrigération permette cette recirculation sans sujétions d'exploitation importantes (dérivations, batardeaux, etc.) d'où une plus-value sur le coût de ce circuit; on trouvera à la figure 8 un exemple de circuit permettant une recirculation d'eau chaude au condenseur;
- que la recirculation soit mise en œuvre avant que les moules aient atteint une taille dangereuse pour les tubes des échangeurs, les moules mortes étant aussi dangereuses que les moules vivantes à partir d'une certaine taille.

— par apports thermiques extérieurs à la tranche proprement dite, par exemple par injection de vapeur.

Une disposition de ce type a été prévue à Dunkerque mais n'a pas encore été utilisée, les dispositions adoptées ne permettant pas l'évacuation directe à la mer de la faune morte. Elle consiste en une circulation d'eau chaude (50 °C) à contre-courant, c'est-à-dire du condenseur vers la station de pompage. L'eau (300 m<sup>3</sup>/h au lieu de 18 000 m<sup>3</sup>/h en fonctionnement normal) prélevée sur une autre tranche en service, est réchauffée dans un échangeur par mélange alimenté en vapeur détendue.

Cette méthode, en principe un peu moins onéreuse d'installation et plus simple de réalisation que la précédente, conduit par contre à des sujétions d'exploitation plus importantes.

## 6. — Conception générale des installations

### 6.1 Vitesse de circulation de l'eau de réfrigération.

Les vitesses d'écoulement élevées ont plusieurs avantages, entre autres :

- elles empêchent la formation des dépôts solides;
- elles empêchent la fixation et le développement d'organismes vivants.

#### 6.1.1 GALERIES OU CONDUITES D'AMENÉE ET DE REJET D'EAU.

Les vitesses généralement rencontrées jusqu'à présent étaient de l'ordre de 2 m/s.

Les valeurs adoptées dans certaines centrales étrangères sur eau de mer semblent montrer qu'en maintenant les vitesses de circulation dans les conduites et dans les galeries au-dessus de 2,5 m (jusqu'à 3 m et 3,75 m/s en certains points du circuit de quelques centrales anglaises et italiennes), on gêne la fixation des micro-organismes végétaux et animaux et des coquillages.

A ce sujet, une étude récente d'E.D.F. sur le problème général des coups de bélier, a montré que des vitesses nettement plus élevées que celles adoptées jusqu'à présent sont possibles, ce qui permettrait peut-être — au prix d'un supplément de puissance de pompage mais avec une économie substantielle sur les frais d'investissement — de s'affranchir définitivement de tout traitement chimique ou thermique de l'eau de circulation. Il resterait seulement à assurer une protection finale simplifiée des tubes des échangeurs contre les quelques coquilles pouvant pénétrer quand même dans le circuit, par exemple, à l'aide d'un filtre interne type « Martigues » (voir plus haut en 5.2.2.2).

#### 6.1.2 ECHANGEURS DE CHALEUR.

Côté faisceau tubulaire, bien que les vitesses restent limitées aux alentours de 1,8 m/s, la fixation et le développement *in situ* des coquillages ne semblent pas à craindre, compte tenu, notamment, de l'action des composés cuivreux des tubes comme indiqué plus haut en 5.1.1.

Qu'il s'agisse des conduites d'eau de circulation ou des faisceaux tubulaires des échangeurs, les vitesses doivent être réparties aussi uniformément que possible de façon à ne pas créer de zones mortes.

De plus, les profils d'écoulement ne doivent pas comporter d'irrégularités favorisant l'érosion par des turbulences locales.

Bien entendu, outre les méthodes de protection énumérées plus haut, un certain nombre de dispositions doivent être respectées pour faciliter la surveillance et l'entretien des installations sans sujétions importantes d'exploitation (nettoyages manuels éventuels en particulier) :

- conception des boîtes à eau des échangeurs et de leur agencement interne évitant les zones mortes ou à faible vitesse de circulation tout en favorisant l'accès;
- tubes de condenseur rectilignes inclinés facilitant leur vidange et le contrôle visuel de leur bouchage par des corps étrangers éventuels;
- surveillance des rainures de batardeaux et des joints sur les galeries ou conduites;
- possibilité de vidange après rinçage. Cette mesure est destinée à empêcher l'action des bactéries et la décomposition des matières organiques en eau de mer sta-

gnante pendant les arrêts de longue durée (supérieurs à une semaine en principe).

### 6.2 Bassins de décantation (cas particulier du sable).

La notion de vitesse dans les circuits notamment dans les faisceaux des échangeurs, fait aussi intervenir celle de la teneur en sable dans l'eau de circulation, elle-même liée à la nature du rivage utilisé.

Si cette teneur en sable risque d'être importante (cas d'un littoral sablonneux à faible gradient de pente) un bassin de décantation spécial, ou dessableur, peut s'avérer nécessaire entre la prise d'eau et la station de filtration et de pompage. C'est le cas notamment, pour la centrale espagnole de Badalona et de certaines centrales italiennes (\*).

En effet, bien que les vitesses de passage dans les tubes de condenseurs restent modérées comme indiqué en 6.1.2, l'incidence de la teneur en sable est importante pour la tenue des tubes.

Malheureusement, ces bassins de décantation où, par définition, la vitesse de l'eau de circulation est fortement ralentie, peut devenir un véritable parc d'élevage des moules et autres mollusques sur lequel il faudra concentrer les moyens de traitement chimique ou thermique disponibles, tout en évitant l'envoi de coquilles mortes au condenseur.

Côté condenseur, il pourrait être intéressant de vérifier par des essais, éventuellement en liaison avec les fabricants de tubes, pour chaque nuance de tube, les vitesses et les teneurs en sable limites (\*\*).

Cette vérification permettrait ainsi :

- de concevoir et de disposer la prise d'eau en toute connaissance de cause;
- de ne recourir au dessableur et aux difficultés qu'il implique, que si les teneurs en sable dépassent le seuil critique.

## 7. — Conclusions

De ce rapide exposé du problème des corrosions liés aux salissures marines, on peut retenir les points suivants :

Malgré toutes les précautions prises lors de l'étude de l'implantation d'une centrale en bord de mer (prélèvements, stations d'essais, expérience d'installations voisines), il est difficile d'éviter entièrement les pollutions marines, d'origine minérale ou organique.

Cependant, par un choix judicieux des matériaux constituant les différentes parties des circuits de réfrigération, par une étude approfondie de la conception des installations projetées, on peut, soit s'affranchir de certains des polluants rencontrés ou, du moins, atténuer les effets des corrosions dont ils sont responsables.

Une action complémentaire peut être obtenue par la mise en œuvre de méthodes de protection (chimiques, mécaniques ou thermiques) interdisant la fixation et le développement de la flore ou de la faune marine.

La méthode la plus utilisée à l'heure actuelle est la chlo-

(\*) Ce problème n'est d'ailleurs pas entièrement spécifique des centrales sur eau de mer, ainsi le circuit de condensation de la centrale d'Artix (sur le Gave de Pau) a été doté d'un dessableur précédé d'un bassin de dégravage et d'un bassin de décantation débouchant lui-même dans un bassin de tranquillisation desservant les grilles filtrantes et les pompes de circulation.

(\*\*) A la centrale de Nantes-Chevire où il a été signalé que le poids de sable en suspension dans l'eau de Loire aspirée par les pompes de circulation était de 13,5 mg/l, aucun phénomène d'abrasion n'a été constaté jusqu'à présent dans les tubes de condenseurs.



ration de l'eau de circulation qui comporte cependant un certain nombre d'inconvénients surtout lorsqu'il s'agit de chlore liquéfié.

D'autres méthodes commencent à se développer qui utilisent, soit l'échauffement de l'eau du circuit de réfrigération pendant le temps nécessaire à la destruction des organismes

fixés, soit un accroissement important de la vitesse de l'eau dans les tuyauteries ou dans les galeries pour interdire la fixation des micro-organismes.

Bien entendu, la méthode de protection adoptée, tout en étant suffisamment efficace, ne doit pas constituer un danger pour l'écologie marine du site équipé.

## Discussion

Président : M. P. BERGERON

M. le Président remercie vivement MM. BOYER et BUREAU spécialistes de ces questions difficiles de nous avoir fait part de leur expérience.

Il semble résulter de leur exposé, dit-il, un certain nombre de conclusions qui recourent celles dégagées par les Conférenciers précédents. Ainsi, toute implantation de prise d'eau en mer devra être précédée d'une étude minutieuse du site; mais les résultats de cette étude doivent être utilisés avec prudence car l'aspiration ou le rejet de débits importants d'eau de mer peut modifier les conditions existant à l'état naturel.

M. Guiton nous avait mis en garde contre l'éventuelle nocivité des eaux dormantes dans ce genre d'installation: comme lui, MM. BOYER et BUREAU préconisent l'emploi de conduites « désiphonables » que l'on puisse vider lorsque l'installation est à l'arrêt.

Ces mêmes auteurs envisagent la limitation des vitesses dans les canalisations en vue de réduire la corrosion de celles-ci. J'avais moi-même souligné que dans les pompes, de nouvelles difficultés — à ce point de vue — étaient apparues lorsque l'on avait augmenté les « pouvoirs manométriques » et, par suite, les vitesses de l'eau qui les traverse.

La discussion s'ouvre sur la question suivante posée par M. CANAVELIS :

A-t-on observé une action bénéfique du vide dans la lutte contre les coquillages (contre les moules, par exemple)? On a cru observer que, soit du fait de la dépression ou du dégazage qui en est la conséquence, certains siphons d'alimentation sont relativement débarrassés de coquillages.

A la Centrale de Martignes — en fonctionnement depuis six mois seulement — les zones en dépression de 3 à 4 m d'eau semblent présenter un envahissement par les coquillages plus important que les zones en pression, répond M. GALLIOZ. Peut-être, n'en serait-il pas de même pour les vides plus poussés? Il semble d'ailleurs que l'on s'oriente actuellement vers l'élimination des siphons accusés, à tort ou à raison, de provoquer une certaine mortalité des poissons (tout au moins si la partie en siphon n'est pas protégée par des filtres).

M. GUITON pense que pour pouvoir lutter efficacement contre les proliférations de coquillages dans les canalisations, (et indépendamment de l'emploi de la chloration qui semble être une solution assez générale), on est amené simultanément d'une part, à maintenir des vitesses élevées dans les conduites et galeries, d'autre part

à donner à celles-ci des dimensions suffisantes pour pouvoir les curer facilement et aussi pour que en cas de début de prolifération, la rugosité relative et la diminution relative de section ne conduise pas à une augmentation trop rapide des pertes de charge. L'ensemble de ces conditions conduit à avoir des débits unitaires importants par galerie. Pour une zone d'aménagement industriel en bordure de mer, ceci peut amener à réaliser des prises d'eaux collectives communes à plusieurs usines dont les besoins individuels seraient trop faibles.

MM. BOYER et GALLIOZ rappellent que, dans les mers chaudes, l'épaisseur des revêtements de coquillages dans les grandes canalisations, peut atteindre 1 m si l'on n'intervient pas pour les enlever.

M. LEFOULON intervient en ces termes :

Je me plais à confirmer l'efficacité de l'augmentation à 3 m/s, de la vitesse de l'eau dans les conduites pour éviter la fixation d'une prolifération de coquillages, comme les moules. Il y a plus de vingt ans, pour éviter la formation de tuf provoqué par des micro-organismes contenus dans l'eau du Doubs, on a simplement augmenté jusqu'à 3 m/s, la vitesse de l'eau qui était inférieure à 2 m/s dans la galerie d'amenée des usines hydroélectriques du Doubs supérieur.

Un court débat auquel prennent part MM. CANDRÉA, GUITON, GALLIOZ et BOYER s'instaure sur la destruction des moules par rechauffage de l'eau de circulation. D'après des essais exécutés sur les côtes anglaises, dit M. BOYER :

- 90 % des moules sont détruites en 1 h dans l'eau à 40 °C;
- 80 à 90 % en une demi-heure dans l'eau à 45 °C.

M. GUITON croit que la température adoptée pour la Centrale de Vridi à Abidjan est un peu plus élevée.

Peut être que ce n'est pas seulement la valeur absolue de la température qui importe mais aussi son écart par rapport à celle de la mer, évidemment plus élevée en Côte-d'Ivoire qu'en Angleterre.

A la suite de l'exposé de M. GALLIOZ, M. CANAVELIS se demande si les quantités de chlore déversées sur le littoral par des centrales thermiques sont susceptibles de créer des nuisances pour l'écologie locale.

M. GALLIOZ ne le pense pas, car le chlore, relativement coûteux (500 F/t), est soigneusement dosé à l'entrée et sa concentration est de l'ordre de celle utilisée pour la verduisation des eaux potables; au rejet, la teneur est pratiquement nulle car le chlore réagit vivement sur toutes les matières organiques existant dans l'eau.

### Abstract

## The effect of marine fouling on corrosion of metals Anti-corrosion techniques

With the number of coastal power stations growing rapidly (see Fig. 1), Electricité de France has stepped up research effort on marine pollution, resulting metal corrosion and anti-corrosion techniques.

Conditions vary widely from site to site and tailored solutions must therefore be found for each. Research on a general level is nevertheless possible e.g. on the main types of contaminant and the way they affect the corrosion behaviour of metals.

Protective methods aim at preventing pollution or at minimising pollution effects. Application of antifoul coatings and chlorination

of circuit water are examples of *chemical protection techniques* (fig. 2). Mode of chlorine dosing and the advantages and disadvantages of various chlorine production methods are discussed. *Physical protection techniques* include continuous mechanical cleaning of tubes (Fig. 3), filtration (Fig. 4, 5, 6, 7) and sea-water heating (Fig. 8). Details of equipment used are given.

Plant design aims principally at providing sufficient flow velocities in pipes and heat-exchangers to prevent deposits of scale or living organisms. If water sand-content is likely to be high, it may be advisable to insert a settling basin between the water intake and the filtration and pumping station.

