

Impact des centrales de production d'énergie électrique sur l'environnement

*par C. DESMOULINS
Chef du Service Études à EDF
(Région Marseille)*

PRÉAMBULE

Les effets des centrales de production d'énergie sur l'environnement font l'objet depuis de nombreuses années d'études approfondies dans différents domaines.

Les résultats de ces études étaient, jusqu'à ce jour, portés à la connaissance du public et des administrations dans le cadre des différentes procédures administratives qui réglementent l'implantation des centrales thermiques classiques ou nucléaires.

Depuis le mois de juillet 1976, la loi sur la protection de la nature formalise "l'étude d'impact", le décret d'application d'octobre 1977 de l'article 2 de ladite loi définit, dans ses grandes lignes, le contenu de cette étude qui est désormais obligatoire pour tous les projets soumis à enquête publique dès le 1^{er} janvier 1978.

Pour le cas particulier des centrales nucléaires, une circulation ministérielle, élaborée par les Ministères de l'Environnement et du Cadre de Vie, de l'Industrie, de l'Agriculture, définira très prochainement dans le détail le cadre de cette étude d'impact.

Il est bien évident que ce n'est pas en si peu de temps que je pourrai aborder tous les impacts de tous les types de centrale. C'est pourquoi je me limiterai à l'impact thermique. Par contre, dans la discussion qui suivra, j'essaierai de répondre à toutes les questions que vous voudrez bien me poser en ce qui concerne les autres impacts.

RAPPEL DES DONNÉES GÉNÉRALES SUR LA RÉFRIGÉRATION

La réfrigération est l'une des fonctions essentielles qui connecte la centrale au milieu extérieur. La thermodynamique (Principe de Carnot) impose le transfert à une source froide d'une partie de la chaleur produite par la source chaude, si l'on veut qu'un travail soit produit au cours du cycle décrit par le fluide thermodynamique. Cette source chaude est constituée par la chaudière pour le thermique classique et par le réacteur pour le thermique nucléaire.



Dans le cas de nos centrales les rendements sont les suivants :

- 40 à 42 % pour le thermique classique,
- 33 % pour le nucléaire, filière PWR.

On remarque donc, dans ce dernier cas, que les 2/3 de la chaleur produite va vers le milieu extérieur, milieu qui, on le verra dans quelques instants, peut être soit l'eau, soit l'air.

En d'autres termes, pour une tranche de 1000 MW, 2000 MW seront rejetés à "l'extérieur" dans le cas d'une tranche nucléaire alors que dans le cas d'une tranche classique il n'en sera rejeté que 1500 MW.

Si j'ai pris un peu de temps pour rappeler ces quelques chiffres, c'est pour montrer qu'en fait le problème des rejets thermiques n'est pas un problème lié au nucléaire et qu'avec les centrales classiques nous serions confrontés à des rejets du même ordre de grandeur.

Comme je vous l'ai précisé il y a quelques instants, il y a deux façons d'évacuer les calories dans le milieu environnant :

- dans un cas nous avons affaire au circuit dit ouvert,
- dans l'autre cas au circuit dit fermé (voir figure 1).

Dans le premier cas la totalité des calories est rejetée à la rivière ou à la mer ; dans le second cas la plus

-- CIRCUITS DE REFRIGERATION --

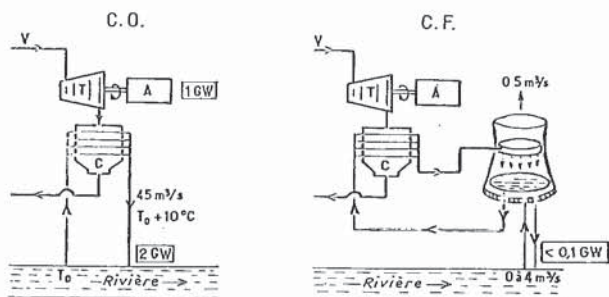


Fig. 1

grande partie des calories est rejetée à l'atmosphère, une très faible partie (de l'ordre de 5 %) allant à la rivière.

Comme vous pouvez le constater, les débits en jeu sont importants :

On a parlé ces dernières années de 200 GW en l'an 2000 qui nécessiteraient donc un débit de réfrigération en circuit ouvert de près de 10.000 m³/s ; pour prendre des chiffres plus probables, ceux de la prochaine décennie : 70 GW en 85 nécessiteraient près de 3000 m³/s de débit de réfrigération, chiffres à rapprocher des débits des fleuves français à l'étiage :

- 50 m³/s pour la Seine à Paris
- 350 m³/s pour le Rhin à Bâle
- 400 m³/s pour le Rhône à Beaucaire

Ces données font apparaître d'une manière évidente qu'il fallait abandonner les circuits ouverts sur rivières, à quelques exceptions près, et prendre l'orientation suivante :

- circuits ouverts sur le littoral
- circuits fermés sur les fleuves et rivières.

Les programmes à court et moyen termes permettent de donner les pourcentages suivants :

	Énergie produite		
	1975	1985	1990
Sur le plan général			
mer			
mer + rivière	20 %	26 %	32 %
Sur le plan rivière			
circuit ouvert	87 %	47 %	30 %
circ. ouv. + circ. fer.			

IMPACT THERMOÉCOLOGIQUE

En fonction du système de refroidissement retenu, la nature des impacts est différente.

Pour les centrales refroidies en circuit ouvert, l'eau échauffée est rejetée directement dans le milieu naturel et les études porteront principalement sur les écosystèmes aquatiques.

Pour les centrales refroidies en circuit fermé, la puissance résiduelle est rejetée à l'atmosphère par l'intermédiaire de réfrigérants atmosphériques de

grande taille qui injectent dans l'air ambiant un flux d'air chaud saturé de vapeur d'eau.

Nous allons nous intéresser, dans un premier temps, aux niveaux de température atteints dans les mers et rivières en fonction des équipements projetés.

IMPACT THERMIQUE

Des études prévisionnelles sont réalisées par E.D.F. afin de déterminer la répartition des flux thermiques et des courbes isothermes au voisinage des centrales.

Ces études sont réalisées à partir de modèles mathématiques de simulation qui prennent en compte le mélange et la diffusion dans l'eau, les courants et les échanges avec l'atmosphère.

Les résultats sont très différents suivant l'hydrodynamique du site, aussi nous examinerons successivement le cas des centrales situées sur des mers à marées, sur des mers sans marées, sur les estuaires et sur les rivières.

1. Sites marins avec marées

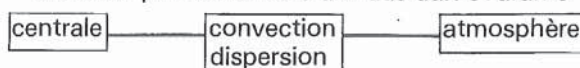
Très schématiquement l'on peut dire que l'échauffement des eaux résulte d'un équilibre entre :

- la source d'énergie que présente le rejet de la centrale
- et
- le puits d'énergie que constitue les échanges atmosphériques.

Entre cette source et ce puits le mécanisme de transfert se fait par :

- convection
- et
- dispersion,

les deux phénomènes étant dus aux courants



Toute la complexité réside dans le transfert par convection et dispersion. Ce sont ces phénomènes qui gèrent le bilan thermique de chaque particule d'eau : ce bilan résulte :

- du nombre de fois qu'une particule passe par la centrale pour se charger en calories au gré des marées
- de la distance qu'elle parcourt ensuite en libérant ses calories soit au profit des particules voisines, soit dans l'atmosphère.

Les facteurs de **convection** sont :

- les courants de marée
- les courants induits par la centrale (prises et rejets d'eau).

Les vitesses n'étant pas les mêmes sur une verticale, il en résulte des échanges possibles entre les différentes colonnes se déplaçant à la vitesse moyenne des particules qu'elles contiennent ; ces échanges sont la cause du phénomène de **dispersion**. Ce phénomène suit les lois de la diffusion avec un coefficient pour nos écoulements qui est de l'ordre de 5 m²/s.

Convection et dispersion étalent les eaux réchauffées sur une certaine superficie où l'atmosphère puisera les calories.

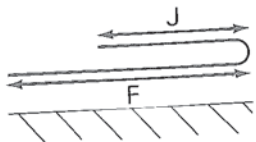
Nous allons maintenant comparer les résultats des calculs sur deux sites voisins :

- PALUEL situé en Manche orientale
- GRAVELINES situé en mer du Nord.

Conditions de calcul :

SITE DE PALUEL

- Puissance installée 5 GW (puissance rejetée 10 GW).
- Le champ des vitesses de la marée est reconstitué à partir de campagnes de poursuites de flotteurs et des enregistrements de courantographes. Ces mesures font apparaître des dérives de 1 à 4 km. Je voudrais rappeler ici ce que l'on appelle dérive. Au cours d'une marée, pendant le flot, les particules parcourent une distance F mais reculent ensuite d'une distance J pendant le jusant.



La différence F-J est ce que l'on appelle dérive. Au cours du flot et du jusant les particules peuvent se faire aspirer, réchauffer et rejeter. Certaines d'entre elles peuvent subir ce "recyclage" plusieurs fois mais la dérive en limite les possibilités.

- La dispersion est prise à $5 \text{ m}^2/\text{s}$ dans les deux directions.
- Le coefficient d'échange vaut $A = 100 \text{ W/m}^2\text{°C}$.

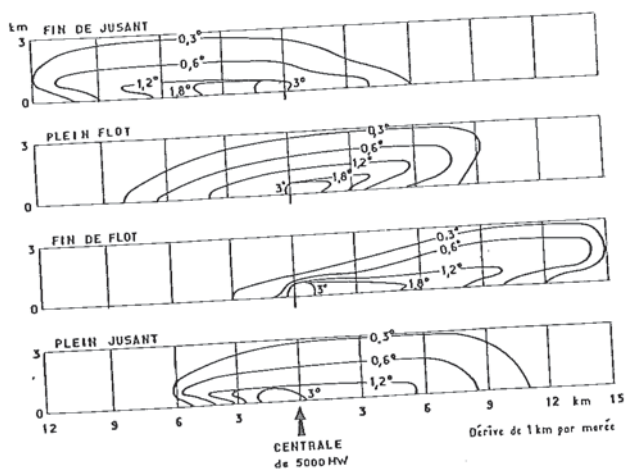
SITE DE GRAVELINES

- Puissance installée 3,6 GW (puissance rejetée 7,2 GW).
- Le champ de vitesse de marée a été mesuré sur le modèle réduit du Port de DUNKERQUE. La dérive est de l'ordre de 3 à 4 km par marée.
- Les coefficients de dispersion et d'échanges atmosphériques sont les mêmes que précédemment.

Les figures 2 et 3 indiquent pour le site de PALUEL les surfaces échauffées et les isothermes.

Fig. 2

SITE DE PALUEL -



Courbes d'egal échauffement pour une Centrale de 5000 MWe Nucléaire - Site à faible dérive longitudinale et sans effet de cap

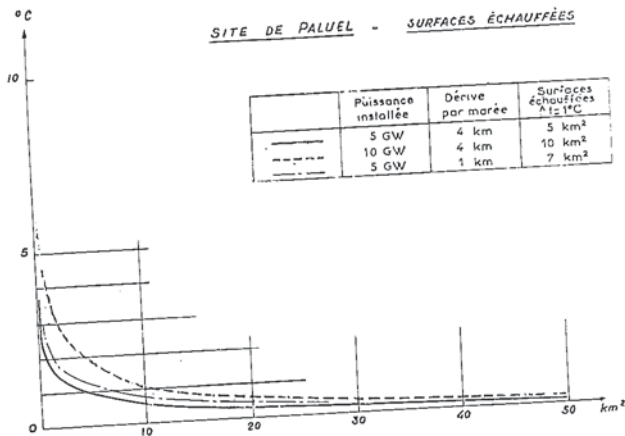


Fig. 3

La figure 4 permet de comparer les surfaces échauffées pour deux sites marins : PALUEL et GRAVELINES. On peut observer que pour des puissances identiques la surface à l'intérieur de laquelle l'eau est échauffée de 1°C est sensiblement le double à GRAVELINES, ce phénomène étant principalement dû à la présence des digues du port de DUNKERQUE.

D'autres études similaires ont été faites pour les sites de FLAMMANVILLE (Cotentin) et PENLY (Pays de Caux) : les surfaces échauffées de plus de 1°C sont sensiblement identiques sur ces deux sites et de l'ordre de 5 km^2 , donc inférieures à celle de PALUEL.

2. Sites marins sans marées

Si pour les sites marins avec marées, compte tenu des profondeurs relativement faibles, les eaux se mélangent très rapidement sur la verticale, il n'en est rien en Méditerranée ; on ne peut plus considérer que la température est homogène verticalement, d'où la nécessité d'un modèle à trois dimensions.

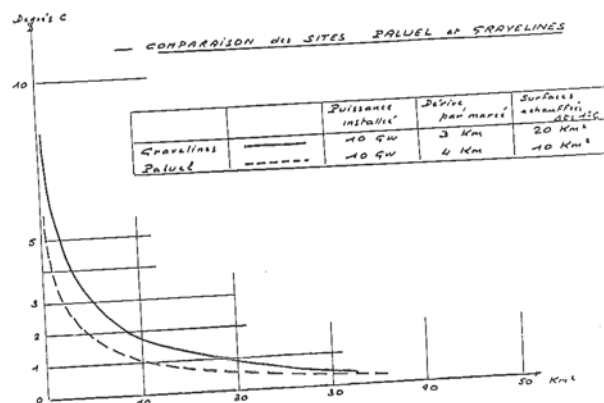
De plus, en Méditerranée, l'absence de forts courants fait que la flottabilité du jet d'eau chaude devient un paramètre essentiel. Le problème apparaît donc dans sa complexité maximale.

- tridimensionnel
- soumis aux facteurs météorologiques.

Pour les calculs il sera distingué deux zones :

- zone d'influence du jet
- zone non soumise au jet

Fig. 4



Zone d'influence du jet

Dans cette zone la dynamique de l'écoulement est principalement influencée par :

- vitesse du jet
- l'effet de flottabilité
- les vents
- les courants
- l'aspiration de la prise.

Pour cette étude E.D.F. dispose d'un modèle de jet flottant soumis à l'action du vent et des courants transversiers faibles (vitesse du courant $\frac{1}{10}$ vitesse du jet).

Zone non soumise au jet

Le jet a une quantité de mouvement initial ; par entraînement, il accroît sans cesse le débit d'eau déplacée et les vitesses diminuent. Lorsque la vitesse est devenue suffisamment faible la dynamique de l'écoulement est influencée par les courants, il se forme alors une tache et le champ thermique ne dépend plus que de trois paramètres :

- courants
- dispersion dans les courants
- échanges atmosphériques.

Les figures 5 et 6 font apparaître l'influence du facteur vent. Pour ce type d'études il est indispensable de faire intervenir la notion probabiliste des directions de vent.

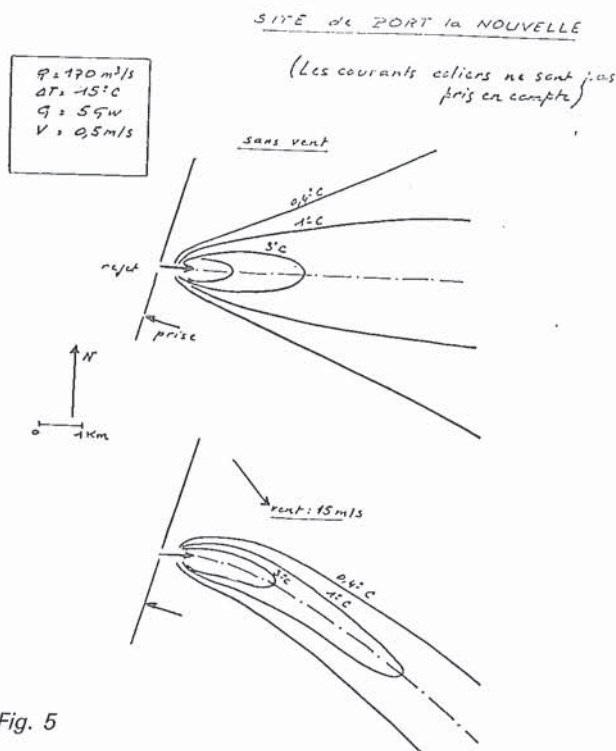


Fig. 5

En effet, les taches thermiques et les surfaces échauffées qui apparaissent sur les figures 5 et 6 sont des images relatives à un régime permanent. Or, l'obtention de ces régimes étant de l'ordre de 7 à 10 jours la dimension de la tache pour un t déterminé sera sans cesse modifiée compte tenu des régimes des vents de cette région pendant l'été. Ces régimes de vent peuvent se résumer ainsi :

- vent de N.O. 40 % du temps
- vent de S.E. 20 % du temps

SITE DE PORT LA NOUVELLE

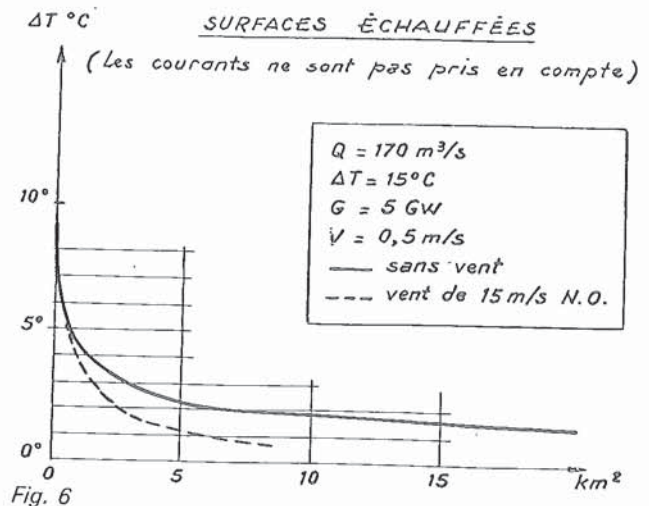


Fig. 6

- vent d'E. 13 % du temps
- calme plat 27 % du temps

D'où la notion d'enveloppe.

3. Sites d'estuaire

Deux paramètres règlent essentiellement l'hydraulique de l'estuaire :

- la marée qui va déterminer la distance parcourue par une particule d'eau pendant un jusant et un flot.
- les débits fluviaux de la Garonne et de la Dordogne qui assurent une dérive des particules vers la mer. Plus ces débits seront grands, plus faible sera le nombre de passages d'une tranche d'eau devant la centrale. Comme à chaque passage l'eau reçoit une certaine quantité de chaleur, la quantité de chaleur globale reçue par une tranche d'eau sera d'autant plus faible.

Outre les effets de la convection due à la marée et aux débits fluviaux l'échauffement de l'estuaire sera lié :

- à la dispersion due à la disparité des vitesses dans une section
- aux échanges atmosphériques
- aux échanges avec l'océan.

Les études ont été menées au moyen d'un modèle mathématique de l'estuaire de la Gironde. Il s'agit là d'un modèle unidimensionnel à trois branches : Dordogne, Garonne et Gironde.

Les calculs montrent que pour :

- une marée moyenne de coefficient 70
- des débits d'étiage moyen : Dordogne 100 m³/s et Garonne 200 m³/s
- 4,5 GW installés :

l'échauffement moyen de l'estuaire se fera sentir sur environ 20 km et il sera de l'ordre de 1,5°C (fig. 7).

La même étude a montré qu'une centrale implantée à Saint-Androny, soit à 10 km à l'amont du Blayais, aurait échauffé la Gironde de l'ordre de 2°C et que la même centrale située à Ambès, 30 km à l'amont, aurait échauffé l'estuaire de 4°C. Ceci est dû à la décroissance des débits de marées qui sont de l'ordre de 20 000 m³/s à Blayais, 14 000 m³/s à Saint-Androny et 8 000 m³/s à Ambès.

Une étude sur modèle physique à eau chaude a recoupé de façon remarquable ces résultats, un exemple en est donné sur la figure 8.

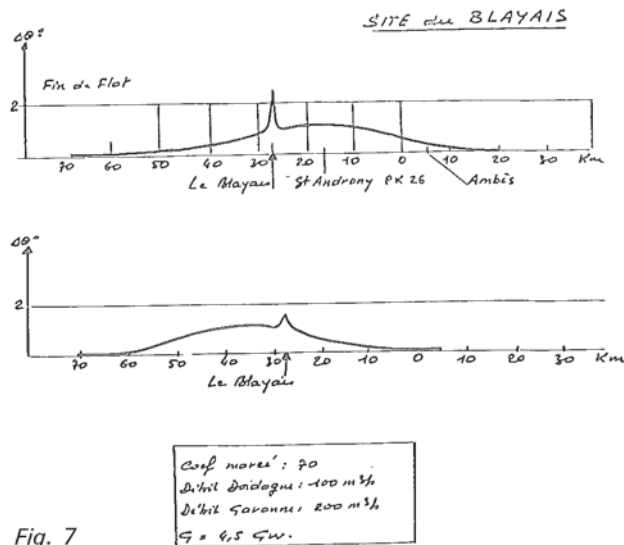


Fig. 7

4. Sites de rivières

Nous disposons là aussi d'un outil mathématique qui est un modèle de simulation thermique.

Ce modèle a été étalonné et contrôlé sur diverses rivières de la région parisienne et des applications récentes ont été faites sur le Rhône, le Rhin, la Moselle, la Seine, la Loire.

En quoi consiste ce modèle ? Il simule les échanges atmosphériques qui existent entre le cours d'eau et l'atmosphère et permet de reconstituer, à partir de données atmosphériques (températures, hygrométrie, vents, etc...), la température de la rivière. De longues chronologies atmosphériques sont nécessaires pour connaître statistiquement les niveaux thermiques et les échauffements induits par un rejet industriel de chaleur.

Pour le Rhône, notamment, dont je vous donne ici les résultats globaux de l'étude, les données d'entrée

ont porté sur une période de 15 ans, le pas de temps étant de 3 heures (fig. 9).

Principe du modèle

La variation de la température d'une masse d'eau résulte des échanges d'énergie entre cette masse d'eau et le milieu environnant. Pour un cours d'eau ces échanges ont lieu principalement à la surface libre (les échanges avec le sol sont négligeables).

Le bilan énergétique s'écrit pendant le temps :

$$CV \frac{dT}{dt} = (Rs + Ra + P - Re - Cv - Ce) S$$

V : Volume de la masse d'eau considérée

S : Aire de la surface libre

: Masse spécifique de l'eau

C : Chaleur spécifique de l'eau

Rs : Flux de chaleur dû au rayonnement solaire

Ra : Flux de chaleur dû au rayonnement atmosphérique

P : Flux de chaleur artificiel

Re : Flux de chaleur dû au rayonnement du plan d'eau

Cv : Flux de chaleur dû à la convection

Ce : Flux de chaleur dû à l'évaporation

Le pas de temps choisi est de 3 heures (pas de temps des données de la Météorologie Nationale). L'équation permet de calculer en tout point de la rivière :

- la température naturelle
- la température après échauffement
- en tenant compte :
- de la géométrie de la rivière (vitesse moyenne, profondeur moyenne)
- de l'hydrologie (affluents)
- des conditions météorologiques.

Réglage du modèle

L'opération consiste à comparer en un certain nombre de points les températures calculées et les températures mesurées et de "jouer" sur les coefficients sans dimension qui interviennent dans l'équation du bilan thermique.

CENTRALE NUCLEAIRE DU BLAYAIS — 2 TRANCHES

INFLUENCE THERMIQUE SUR LA GIRONDE

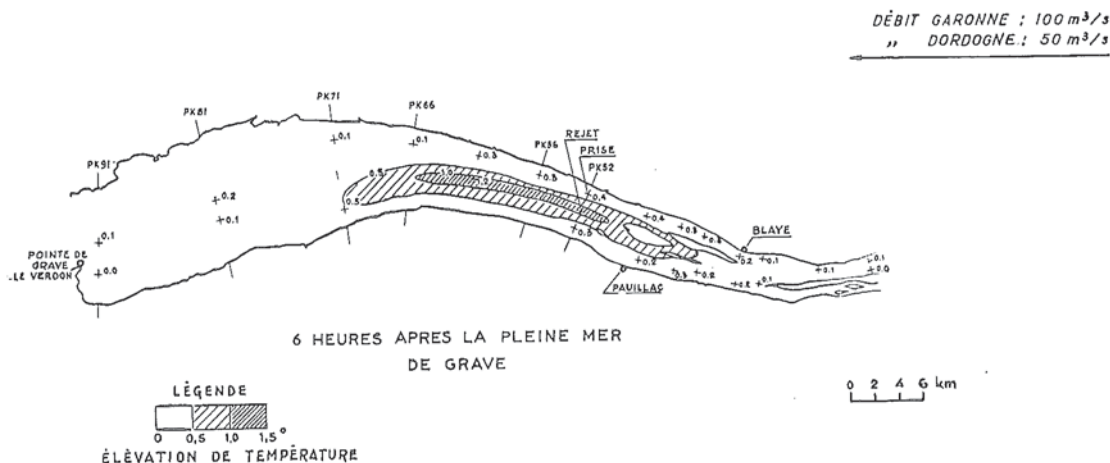


Fig. 8

		Fréquence de dépassement de :			Echauffement dépassé :	
		23°C	25°C	30°C	50 % du temps	10 % du temps
↑ Equipment 82	<u>CREYS</u>					
	. état naturel	1 %	0,1 %	0 %		
	. état échauffé	1,6 %	0,4 %	0 %	1,2°C	2,6°C
↓	<u>BUGEY</u>					
	. état naturel	1 %	0,1 %	0 %		
	. état échauffé	9 %	3,5 %	0 %	3,2°C	6,3°C
↓	<u>LYON</u> avant confluent Saône					
	. état naturel	1 %	0,1 %	0 %		
	. état échauffé		2,7 %	0 %	1,8°C	3,7°C
↑ Equipment 89	<u>RHÔNE CENTRAL</u> <u>ST MAURICE</u>					
	. état naturel	2 %	0,1 %	0 %		
	. état échauffé (2 tr. CO) (2 tr. CF)	11,9 %	4,9 %	0 %	1,8°C	4°C
↓	<u>TRICASTIN</u>					
	. état naturel	0,5 %	0 %	0 %		
	. état échauffé (2 tr. CO) à Rhône Central	8 %	2,2 %	0,2 %	1,8°C	3,2°C
↓	<u>ARAMON</u>					
	. état naturel	2 %	0,1 %	0 %		
	. état échauffé (2 tr. CO) à Rhône Central	8 %	1,7 %	0 %	1,2°C	2,3°C

Fig. 9

Fig. 10

— METHODOLOGIE DES ETUDES BIOLOGIQUES —

IMPACT BIOLOGIQUE

Comme précédemment je diviserai volontairement l'exposé en deux parties, la première partie portant sur le milieu marin, la seconde sur l'eau douce.

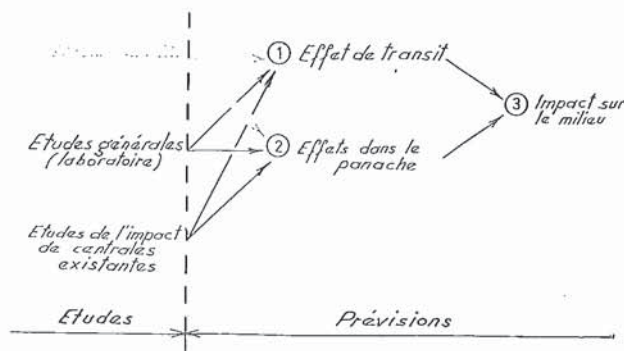
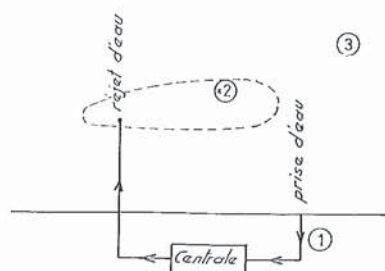
A. CENTRALES SITUÉES SUR LE LITTORAL

Les prévisions de l'impact écologique d'un rejet d'eau chaude sur le milieu marin reste un problème beaucoup plus délicat que l'estimation de l'étendue de la zone échauffée.

Cet impact sera la résultante de :

- des effets de transit dans les circuits de refroidissement
- des effets dans le panache d'eau échauffée.

La prévision de ces deux effets est elle-même très complexe, elle nécessite pour chaque site la connaissance détaillée du milieu et des études de simulation thermique de la manière vivante (fig. 10).



1. Études de sites et études générales

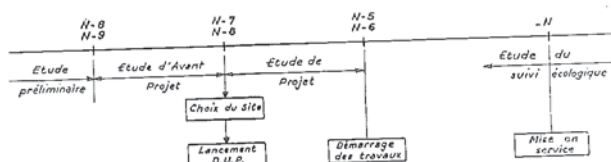
L'organisation de ces études a été exposée au cours des journées de la thermoécologie qui se sont tenues au CNEXO à BREST il y a 2 ans et qui avaient rassemblé 150 chercheurs du milieu marin, je les résumerai brièvement :

On distingue : (fig. 11).

— Les études préliminaires et d'avant projet : (N-9 à N-8)

Ces études ont pour but de déterminer le niveau de sensibilité écologique du site, elles durent 12 mois, soit un cycle biologique et sont surtout basées sur des mesures faites in situ ; elles sont confiées à des organismes spécialisés : Institut des Pêches, C.N.E.X.O., Laboratoires Universitaires.

SCHEMA DU DÉROULEMENT DES ÉTUDES ÉCOLOGIQUES



— Études de projet (de N-8 - N-6)

Ces études du milieu très complètes, menées pendant 2 ans, ont pour but de définir un état de référence détaillé avant l'implantation de la centrale et de dégager les paramètres principaux caractéristiques du milieu.

Elles comprennent des mesures des paramètres hydrobiologiques essentiels, un inventaire de la flore et de la faune, des estimations de biomasse et de production.

— Étude de surveillance (de N-2 à N+4)

Commencées deux ans avant la mise en service de la centrale, elles se poursuivent pendant son fonctionnement. Elles sont destinées à contrôler les perturbations éventuelles du milieu et à réajuster les études d'impact sur le milieu des prochains sites.

— Études générales réalisées en laboratoire

Ces études sont réalisées depuis 1975 dans plusieurs laboratoires dont les principaux sont les suivants :

Laboratoire de l'ISTPM
Laboratoire du CNEXO
Laboratoire du Professeur PERES à Marseille
Laboratoire du Professeur PARIS à Sète
Laboratoire du Professeur LUBET à Caen

Elles ont pour but de rechercher l'action d'un choc thermique sur diverses espèces planctoniques. Ces organismes ont été soumis pendant des durées variables à des échauffements pouvant atteindre 17°C. Ces expériences ont permis de constater que ces organismes étaient peu sensibles au choc thermique proprement dit mais que la température résultant de l'échauffement influait de façon prépondérante sur la survie des espèces expérimentées, une durée plus longue d'exposition accentuant le caractère léthal d'une température élevée.

Ces expériences ont mis en valeur la résistance de ces organismes (algues unicellulaires, larves de mollusques, de crustacés, œufs et larves de poissons) à l'action de la température car des mortalités de 50 % de l'effectif ne surviennent dans ces conditions expérimentales que pour des valeurs supérieures à 30°C.

Ce bref rappel sur les études de base étant fait, revenons aux effets de transit et aux effets dans le panache.

2. Effets de transit

On débordera ici des problèmes thermiques qui ne sont qu'un aspect du problème.

Dans le milieu marin les effets directs les plus à craindre porteront sur le plancton, les larves de poissons ou de jeunes poissons qui entrent ou transitent dans les circuits de refroidissement de la centrale. Il est connu que les organismes qui transitent dans ces circuits sont soumis à des chocs dits mécaniques, chimiques ou thermiques.

— Les chocs mécaniques

Ils sont liés au passage dans la station de pompage et de filtration et, dans une moindre mesure, dans les galeries d'amenée et de rejet et dans le condenseur. Un effet de variation de pression peut être à craindre.

— Les chocs dits thermiques

Ils proviennent de l'élévation très rapide de la température au cours du passage dans le condenseur de la centrale ; en moins d'une dizaine de secondes la température de l'eau peut être élevée de 8 à 15°C. En pratique il semble que ce choc thermique ne soit le principal effet thermique, mais que le problème réside plutôt dans le niveau final de la température qui peut pour des échauffements très forts et en été, correspondre à des températures ayant des effets létaux ou sublétaux.

— Les chocs chimiques

Ils proviennent de la nécessité de protéger les circuits du "fouling" par des organismes marins ; la prolifération de moules par exemple peut conduire à des dommages très sérieux. Le maintien d'un état de propreté suffisant des tubes du condenseur peut se faire soit par nettoyage mécanique, soit aussi par injection d'un produit biocide.

La pratique la plus courante est l'injection de chlore ou d'hypochlorite de sodium dans l'eau de circulation à faibles doses (habituellement de 0,5 à 1 mg/l) de façon continue durant toute la période pendant laquelle la température de l'eau de mer est supérieure à 10°C ou 12°C le reste de l'année des injections intermittentes à doses plus importantes sont pratiquées pour maintenir l'état de propreté correcte.

En résumé, des expériences in situ et en laboratoire, menées ces dernières années dans divers pays, ont permis de donner une estimation des effets de ce transit sur le plancton marin :

- Sur le phytoplancton les chocs thermiques et mécaniques ont un effet pratiquement négligeable ; en revanche la chloration même à faible dose arrête complètement la production primaire ; même dans le panache d'eau chaude après mélange les effets de la chloration restent sensibles, ce n'est

qu'après une forte dilution (correspondant à des teneurs en chlore résiduel inférieures à 0,05 mg/l) que la production primaire reprend ; elle est alors favorisée par l'élévation de la température. Le bilan final est positif.

- Sur le zooplancton les chocs mécaniques et thermiques ne semblent avoir qu'un effet très limité. Des mortalités inférieures à 20 % peuvent être considérées comme une estimation majorante. Les effets de chloration ne sont pas franchement élucidés, elle aggrave très certainement la situation sans que les mortalités deviennent très importantes.

En revanche, il paraît difficile d'éviter une importante mortalité pour les larves et juvéniles entrant dans le système de réfrigération : les écrans qui peuvent être utilisés pour les poissons adultes ne sont guère efficaces pour les jeunes. Ce peut être un point à prendre en considération quant au choix du site ou de la position de la prise d'eau en mer. L'expérience actuelle n'a pas montré que cela constituait un problème, mais pour des sites particuliers le risque existe peut-être.

3. Effets dans le panache d'eau chaude

Le panache d'eau chaude peut affecter directement les organismes benthiques fixes ou sédentaires vivant sur le fond ou les zones intertidales ; les modifications des peuplements benthiques seront limitées aux zones où l'échauffement reste élevé, en pratique il s'agit d'un domaine extrêmement limité, quelques centaines de mètres carrés. Elles porteront sur l'abondance et la diversité des peuplements ; sauf si le milieu récepteur était totalement échauffé ces modifications ne peuvent avoir de répercussions perceptibles sur les ressources du milieu.

Ces modifications peuvent aller dans le sens d'une augmentation de l'abondance et de la diversité dans des zones naturellement froides ou vers un appauvrissement là où les espèces benthiques sont particulièrement sensibles. Il est en général délicat de traiter de ce problème et les expériences à ce sujet sont souvent contradictoires ; en tout état de cause son importance est des plus limitée.

Les poissons peuvent aussi être affectés par le panache d'eau chaude, il est connu qu'ils peuvent éviter le plus souvent une zone où la température leur est défavorable. Pourtant des mortalités de poissons sont rapportées, mais elles concernent des épisodes d'arrêt brutal du fonctionnement d'une centrale entraînant une baisse brutale de la température dans le milieu récepteur.

Peut-il exister une barrière thermique pour la migration des poissons dans un estuaire ou le long d'une côte ? Non, d'après certaines observations in situ comme la remontée du saumon dans la Columbia River ou l'apparition de nouvelles frayères de harengs au voisinage de la centrale de BRADWELL. Mais cela est un peu en contradiction avec l'observation faite qui montre que le poisson évite les zones de températures défavorables. Probablement le comportement du poisson en migration est différent de celui du poisson sédentaire et poussé par d'autres éléments que la nature du milieu qui l'entoure il pourra franchir des zones d'hétérogénéité de tempé-

rature dans la mesure où celles-ci ne sont pas trop fortes.

Des craintes ont été exprimées quant à la possibilité qu'un échauffement, même faible, au voisinage de frayères de harengs les fasse désertier par ces poissons, on ne peut évidemment répondre catégoriquement à cette question et il apparaît préférable d'éviter une telle situation. Le régime thermique de la mer semble être un élément fondamental dans la reproduction des poissons et il est à craindre qu'un échauffement sensible de zones de reproduction puisse modifier la période de reproduction ou même la compromettre. Ici encore l'exemple de la centrale de BRADWELL est instructif à ce sujet : de telles craintes avaient été formulées lorsque sa construction a été envisagée. Pourtant après sa mise en service non seulement il n'a pas été noté de diminution dans les stocks de harengs mais de nouvelles zones de pêches se sont ouvertes dans l'estuaire en amont des rejets thermiques.

4. Estimation de l'impact sur le milieu

La prévision de l'impact écologique d'un rejet d'eau chaude sur le milieu marin reste un problème très délicat. En ce qui concerne l'effet sur le plancton marin les modèles de calcul de dispersion de l'eau chaude peuvent être employés pour faire une première estimation surtout pour le phytoplancton qui a un temps de renouvellement relativement court. Le modèle doit être modifié pour tenir compte d'une mortalité dans le transit par le système de refroidissement de la centrale, mais aussi pour incorporer la modification dans la production primaire dépendant du niveau de température. Le modèle peut calculer l'évolution de la biomasse ou même le déplacement de la population : modification dans la répartition respective des espèces.

Une première estimation faite pour le site de PALUEL a montré qu'en supposant une mortalité de transit totale et sans prendre en compte la régénérescence du plancton, on constate qu'un déficit de l'ordre de 10 % sera confiné dans une surface de 10 km².

Ce type de modèles peut encore être employé pour le calcul de l'impact sur le zooplancton. La connaissance de mécanismes plus complexes est alors nécessaire : durée de vie des animaux, durée de la phase juvénile, sexe ratio, nombre d'œufs par femelle, etc... et cela en fonction de la température. Ce type de modèle devient donc vite très complexe. Il a été appliqué par exemple à une centrale projetée sur la Gironde, cas particulièrement simple car une seule espèce représentait environ 90 % de la population ; l'étude a permis de montrer que l'effet de mortalité dans le circuit de refroidissement de la centrale était compensé par la modification du comportement des copépodes concernés, en particulier la réduction du temps pour parvenir à l'âge adulte.

Les prévisions d'impact sur les populations de poissons et les ressources halieutiques n'ont pas encore été abordées par de telles techniques pour des centrales implantées sur la mer. C'est plutôt des considérations qualitatives qui prévalent encore aujourd'hui pour aborder ces problèmes. Il semble même douteux qu'on puisse aborder dans un avenir

rapproché des estimations quantitatives étant donné la complexité du problème.

En ce qui concerne les échauffements induits par la centrale au niveau du fond, le benthos connaîtra des variations cycliques au rythme des marées dont l'amplitude dans le champ lointain est comparable à celle des variations thermiques naturelles de même fréquence (de l'ordre de 2°C). D'après les observations japonaises faites au voisinage des rejets des nombreuses centrales, il semblerait que des variations de 3°C cycliques constitueraient une limite de tolérance pour la plupart des espèces. Si l'on retient à titre provisoire cette valeur critique, ce serait donc une surface de 4 à 6 ha qui serait altérée à l'égard du benthos pour une centrale du même type que PALUEL ou GRAVELINES.

Pour terminer sur le milieu marin, j'ajouterai que des études menées sur des sites de centrales existantes permettent de confirmer les estimations d'impact. Ces études sont réalisées en France sur les sites de MARTIGUES-PONTEAU et de DUNKERQUE.

A MARTIGUES-PONTEAU il a été mis en évidence que le facteur thermique n'intervient que dans une zone limitée et que son action est plus sensible sur le benthos que sur le plancton, des études en cours de dépouillement devraient permettre de donner des ordres de grandeur des différents impacts : thermique, chimique, mécanique.

A la centrale de DUNKERQUE l'étude du phytoplancton a permis de dégager les grandes idées suivantes : l'effet de l'échauffement est bénéfique pour la production primaire tant que la température de l'eau à la prise ne dépasse pas 20°C, soit 27°C après échauffement, la stimulation est de l'ordre de + 30 %. Pour une température plus chaude au rejet, de l'ordre de 30° C, le déficit observé est de l'ordre de 20 %, la plage est donc très étroite.

B. CENTRALES SITUÉES SUR LES COURS D'EAU

La même méthodologie d'études a été retenue pour les centrales situées sur les rivières, à ceci près que dans le domaine des eaux douces le laboratoire d'hydrobiologie de Montereau, situé dans l'enceinte de la centrale d'E.D.F. depuis 1962, a permis d'effectuer de nombreuses études sur les effets thermiques et chimiques des centrales thermiques classiques de la région parisienne.

A ce sujet, je signalerai que les échauffements que j'ai annoncés pour le Rhône il y a quelques instants et qui sont en moyenne annuelle inférieurs à 2°C (de l'ordre de 1,8°C, sauf pour BUGEY où ils sont plus élevés), sont des échauffements courants pour les grosses centrales de la région parisienne (2,2°C pour PORCHEVILLE, 1,5°C pour VITRY-sur-SEINE, MONTEREAU et VAIRES-sur/MARNE, plus de 2°C pour BLENOD sur la Moselle, etc...), les échauffements maximaux du mois d'été étant multipliés par deux ou trois suivant les rivières.

Or, pour ces centrales thermiques, des études globales d'impact ont été faites. Quels en sont les résultats ?

Depuis 1973, E.D.F. mène, avec l'Agence du Bassin Seine-Normandie, des études sur le site de POR-

CHEVILLE (près de 3 000 MW - débit du refroidissement de 126 m³/s - $\Delta t = 7^\circ\text{C}$). Ces études n'ont pas mis en évidence un quelconque impact négatif. Au contraire, on a pu mettre en évidence qu'en période estivale le taux d'oxygène dans le bras de Seine échauffé était supérieur de 0,8 mg/l au taux de la Seine non intéressée par le rejet qui était lui-même de 2 mg/l.

On a également mis en évidence la stimulation de la photo-synthèse par les échauffements.

En fait, on se trouve en présence de deux phénomènes contraires, l'effet bénéfique de la photosynthèse planctonique étant limité par l'augmentation de la consommation en oxygène (D.B.O.), le bilan qui en résulte étant positif.

Dans le même ordre d'idées, le Ministère de l'Environnement a dirigé, durant l'été 1975, une étude sur cinq centrales d'E.D.F. : BEAUTOR, CHAMPAGNE/OISE, MONTEREAU et PROCHEVILLE sur la Seine et VAIRES sur la Marne. Le but de cette étude était la recherche des paramètres significativement influencés par les rejets thermiques ; trois stations ont été systématiquement étudiées : amont de la centrale — rejet — aval après mélange. Sur une cinquantaine de paramètres analysés dans les domaines physico-chimique, biologique, bactériologique, trois sont modifiés pour les composants du milieu :

- la conductivité qui augmente légèrement de 5 à 10 %
- l'oxygène dissous qui diminue de l'ordre de 0,5 p.p.m.
- la limpidité de l'eau qui diminue.

Ces écarts directement trouvés dans la zone du rejet tendent à disparaître dans la section où le mélange est réalisé.

Pour les composantes biologiques on observe que :

- les diatomées sont moins importantes dans les rejets
- les chlorophycées sont moins nombreuses
- les cyanophycées se développent particulièrement bien dans les rejets.

On remarque également que dans la zone du mélange les différences diminuent.

Je voudrais, en définitive, pour ceux qui ont encore des doutes sur les effets des rejets thermiques en rivière, préciser que la charge thermique des rivières est en train de diminuer ou diminuera dans un proche avenir. En effet, compte tenu du fait que tou-

Volumes d'eau prélevés annuellement pour la réfrigération en milliards de m³	1975	1985	1990
Seine-Normandie	3,9	2,5	1,6
Loire-Atlantique	2	1,9	0,5
Adour-Garonne	0,6	0,5	0,5
Rhin-Meuse	1	2,2	2,1
Rhône	1,4	10,3	10,9
Plan national	8,9	17,5	15,6

tes les nouvelles centrales seront en circuit fermé et que la durée de fonctionnement des anciennes centrales va décroître, on montre que les volumes d'eau échauffés, au plan national, sont en train de diminuer. Ainsi, en prenant un découpage géographique correspondant à celui des Bassins hydrographiques :

CONCLUSION

Je ne voudrais pas terminer ce survol rapide sans vous préciser que toutes les études biologiques dont je vous ai parlées sont longues et coûteuses. Je donnerai les ordres de grandeur suivants :

Coût pour un site marin

- avant projet (1 an) 0,5 MF
- projet (2 ans) 7 MF
- suivi (6 ans) 5 MF
- part des études générales 5 MF

soit un total de 17 à 18 MF. (1978)

Coût pour un site de rivière :

- avant projet 0,15 MF
- projet 0,85 MF
- suivi 1,2 MF
- études générales 2 MF

soit un total de 5 MF. (1978)

Les organismes spécialisés dans le domaine de la biologie aquatique auxquels E.D.F. a confié ces études, ont employé lors des récentes années écoulées, 150 chercheurs et techniciens dont une vingtaine à ÉLECTRICITÉ DE FRANCE.

Je rappellerai également que sur le plan général de l'environnement des centrales de production d'énergie, plus de 270 personnes travaillent sur ces problèmes.



G.T.A.S.

Géodésie Télémétrie Assistance

Tél 806.66.25

Réparation

Vente

Achat

Location

_____ *Toutes Marques*

Niveaux

Théodolites

Tachéomètres _____

G.T.A.S.

Géodésie Télémétrie Assistance

24 rue Rochebrune — 75011 — PARIS Métro : Voltaire — St-Maur