Saisie des rejets thermiques par télédétection

Observation of « thermal » effluent by teledetection

Philippe Aussourd

Chef du Département Sites-Environnement-Information
EDF – Direction de l'Équipement

Electricité de France met en œuvre un important programme de centrales nucléaires dont le fonctionnement aura des conséquences sur l'environnement qui tiennent aux rejets de chaleurs fatales de telles centrales utilisant des turbines à vapeur.

Chaque fois que cela est possible, on utilise la technique du circuit ouvert, soit en bordure de fleuve ayant un volume de débit suffisant pour accepter l'eau échauffée, soit en bordure du littoral.

Il faut prédire la façon dont l'eau réchauffée se diluera dans le milieu à l'aide de modèles et connaître l'impact du rejet par des mesures in situ :

- Ces mesures vont permettre d'établir un "état initial" du milieu avant tout rejet.
- Après rejet, elles serviront à vérifier que la tâche thermique correspond bien à celle obtenue par le calcul.

C'est à partir de la télédétection que l'on capte globalement "l'état de lieux" thermique des masses liquides.

S'agissant de la température d'un fluide, il faut distinguer, d'entrée, la nature de la masse liquide :

a) Mers à marées

Pour capter la répartition thermique de ce milieu, trois états au moins de saisies de données sont nécessaires :

- à mi-jusant
- à l'état de basse mer
- à mi-flot

b) Mers sans marées

Ces mers sont influencées par des effets extérieurs dont le plus sensible paraît être le vent qui induit des courants d'intensité et de direction variables.

c) Fleuves et rivières

Les masses d'eau sont ici caractérisées par un courant de direction privilégiée, connu, mais variable en fonction :

- de la masse d'eau transportée
- des débits prélevés, reçus ou rendus (nappes phréatiques, affluents, prises et rejets)
- du profil
- des ouvrages construits

d) Lacs naturels et artificiels

Seules les conditions atmosphériques peuvent apporter à ces masses, naturellement stables, quelques perturbations.

Cette distinction entre les différentes masses liquides est utile pour l'application d'une méthode de saisie de données thermographiques, spécifique à chaque milieu.

Méthodologie appliquée pour une saisie thermographique

Une saisie thermographique en mer nécessite :

a) sur les lieux :

- une mission aéroportée équipée d'un capteur thermique
- une équipe en mer pour :
 - matérialiser un "canevas flottant" par des bouées émettrices de chaleur
 - identifier les températures du milieu lors du passage du capteur
 - procéder à divers relevés (courantologie et verticales de températures)
- une équipe au sol pour déterminer la position des bouées au moment du passage du capteur

b) au stade de la restitution des données, l'enregistrement thermique va subir une succession de transformations pour aboutir à la carte thermographique.

La première opération thermographique pour E.D.F. s'est déroulée en 1975 sur le site de Paluel (Seine Maritime) avec la participation de :

- l'Institut Géographique National pour la prise en charge de la saisie thermographique et de la restitution
- la Société Sico-mer pour la matérialisation du "canevas flottant"
- une équipe de topographes E.D.F. pour :
 - la détermination des bouées de "canevas flottant"
 - le relevé des températures
 - les mesures de température en profondeur et celle de la courantologie

La réussite d'une opération de relevé thermographique nécessite :

- des conditions météorologiques acceptables (vent < 10 m/s et visibilité correcte)
- un programme préalablement établi et suivi
- une synchronisation parfaite entre les différentes équipes reliées entre elles par liaison radio

Déroulement d'une opération sur le site

a) Matériel utilisé pour l'enregistrement de données (mission aéroportée)

L'obtention d'une thermographie nécessite la mise en œuvre d'une chaîne d'appareils constituée par :

- un capteur (ou plusieurs) : le scanner ou balayeur infrarouge
- un enregistreur
- une baie de transcription du signal enregistré sur un film sensible (non embarquée)

Le capteur : schéma général des "balayeurs" infrarouge. Le scanner est un appareil à balayage mesurant l'énergie du rayonnement reçu.

Figure 1 — Schéma théorique d'un scanner.

b) Equipe en mer

La matérialisation en mer d'un "canevas flottant" va servir à localiser et identifier l'enregistrement thermique. Généralement, six à huit bouées judicieusement réparties en fonction du plan de vol suffisent à la localisation d'une superficie de l'ordre de 3 000 hectares.

Une fois sur sa position (calculée en coordonnées), la balise est larguée et ancrée.

La partie supérieure de la bouée est équipée d'un brûleur à gaz qui est alors allumé. Il se dégage de la bouée un cône de chaleur qui va permettre au capteur thermique de la repérer. L'ensemble des bouées ainsi repérées servira à caler géométriquement les bandes du relevé.

L'équipe en mer procède alors au relevé des températures à proximité des bouées.

D'autre part, durant toute la journée au cours de laquelle sont programmés les différents relevés, en fonction du cycle de marées, d'autres mesures vont avoir lieu concernant :

- la vitesse et la direction des courants à différentes profondeurs,
- des verticales de température.

c) Equipe au sol

L'équipe topographique au sol, qui dans un premier temps a procédé au guidage pour l'implantation des bouées, relève la position des bouées au moment même du passage du capteur.

La réussite de l'opération tient essentiellement au fait que la coordination et la synchronisation, pour l'ensemble des équipes, soit assurée par une seule et même personne (P.C.). Pour un site en mer, trois passages sont généralement réalisés en fonction du cycle des marées. Ils permettent de réaliser :

- 3 saisies à grande échelle donnant naissance à un rendu cartographique au 1/10 000 (échelle approximative de la saisie au 1/50 000);
- 1 saisie plus étendue (25 000 hectares) à moyenne échelle pour un rendu cartographique à l'échelle de 1/50 000.

Rendus cartographiques

Les bandes d'enregistrement magnétiques vont être transformées par I.G.N. en films. Sur ces films apparaissent différentes densités allant du gris sombre au gris clair. L'examen de ces densités comparées à un échantillonnage test fait apparaître, différenciellement, les variations thermiques. En étalonnant ces densités par rapport aux relevés ponctuels repérés sur les films par la trace de la bouée émettrice de chaleur, on obtiendra les températures absolues du milieu⁽¹⁾.

Suivant la qualité de l'enregistrement, les incertitudes peuvent être comprises entre :

- 10 et 30 m sur la localisation
- 0,1 à 0,5°C sur l'identification.

(1) Il s'agit dans tous les cas d'une température de surface.

Dès lors, la carte thermographique peut être établie. Sur celle-ci apparaîtra :

- le littoral et les villes ou communes en bordure de mer
- la limite des eaux
- la position des bouées
- les courbes isothermiques échelonnées tous les $0,5^{\circ}\text{C}$
- la vitesse et la direction des courants.

Bilan

Pour la mer, les thermographies ont été établies à ce jour sur les sites de :

- Gravelines
- Paluel
- Flamanville
- Penly

Tous ces sites se situent sur la Manche et chaque dossier comprend :

- 3 relevés au 1/10 000 correspondant à un cycle de marée
- 1 relevé au 1/50 000 plus étendu.

En Méditerranée, sur les deux relevés thermographiques réalisés en 1976, pour capter le rejet de la centrale thermique de Martigues, les courbes isothermiques définissent bien les limites de la tache thermique.

Pour les fleuves, deux cartographies thermographiques viennent d'être établies en 1977 : la première pour le

Rhône, depuis St-Genix jusqu'à son rejet en mer, et la seconde pour la Loire, depuis le bec d'Allier jusqu'à l'Atlantique.

Ces thermographies font apparaître les taches thermiques de centrales en cours de fonctionnement, implantées en bordure de ces fleuves.

La saisie des données réalisée en une seule journée, a été cartographiée à l'échelle du 1/100 000 à partir de la carte existante.

Pour plus de clarté dans le tracé des isothermes, le profil en travers du fleuve a été décalé et cartographié à l'échelle du 1/20 000 dans le sens de la largeur.

Enfin, pour compléter cet ensemble de données thermiques, une carte vient d'être dressée par l'Ecole Nationale des Mines pour la représentation des isothermes sur tout le pourtour du littoral français.

Cette cartographie représentative des isothermes a pu être établie à partir des données du satellite NOAA.

Conclusion

Les capteurs thermiques, devenus depuis quelques années opérationnels, arrivent à propos pour enregistrer dans un temps très court et sur un espace relativement important la situation thermographique en surface d'un milieu, et pour en définitive détecter et localiser les variations d'une tache thermique.

Les difficultés de mise en application de cette méthode qui tiennent à la rigueur de l'organisation et l'importance des conditions météorologiques sont le prix du progrès technique ainsi obtenu.

Discussion

Président : M. C. LEFROU

Le Président remercie M. AUSSOURD et pose la première question.

Monsieur ARMANGAU a indiqué que lorsqu'il y avait mélange d'eau douce et d'eau de mer, la salinité intervenait et que l'on déterminait à la fois les variations de salinité et les variations de température. Comment arrive-t-on à distinguer les deux dans l'interprétation ?

M. AUSSOURD. — Sur la thermographie, les courbes de température sont du même genre que la tache qu'on a pu voir sur la prise du captage qui avait été fait. Notre problème, en fait, est de perfectionner cette méthode de façon à pouvoir mesurer des effets ultérieurs, dans des zones où l'on prendra de l'eau de mer qu'on fera transiter par la centrale et qui sortira réchauffée : autrement dit, il n'y aura pas de variation de salinité.

Ce sera moins commode lorsqu'on voudra appliquer ce genre de méthode à une centrale qui serait sur un estuaire ; il y aura là un problème plus délicat à résoudre. L'hypothèse de travail, que nous nous étions fixée était de faire des mesures sur les zones où l'on prenait de l'eau salée.

Le Président. — Que signifient les courbes de température à l'estuaire de la Loire qu'on nous a montrées tout à l'heure, dans lesquelles il y a des problèmes de variations de salinité ?

M. AUSSOURD. — Ce sont plutôt des courbes pour l'illustration. Il peut y avoir un coin salé qui ait des propriétés particulièrement perturbatrices. Disons que les courbes sont probablement erronées sur ce plan, je le concède.

M. OSCHÉ. — Je voudrais compléter la réponse de M. AUSSOURD. En fait, il y a des mesures de température qui sont prises partout et nous recalons toujours localement les isothermes sur les mesures in situ. D'autre part, l'influence de la salinité n'est pas considérable, d'après ce que nous avons pu constater sur diverses opérations pratiques. Nous n'avons jamais fait aucune expérience en laboratoire, mais, dans les cas pratiques, nous avons mesuré à la fois la température et la salinité et nous avons appliqué nos méthodes de traitement. Finalement, la salinité n'a pas eu une grande importance. Il y a peut-être d'autres paramètres qui ont une grande importance, je ne les connais pas, et, au fond, ce n'est vraiment pas important de les avoir du moment qu'on a un appui au sol qui permet de se recalculer localement.

M. BANAL. — D'après ce qui vient d'être dit, je découvre que la salinité a une influence très importante sur ce qu'on voit avec la boîte noire. Cela me paraît très important. J'aimerais bien que les Agences nous disent quelles sont les informations qu'elles ont sur ce point.

Le Président. — M. ARMANGAU avait montré des photos intéressantes où il y avait inversion du résultat.

M. OSCHÉ. — J'ai parlé d'eau douce et d'eau de mer, je n'ai pas uniquement parlé de salinité. Le facteur important, c'est le facteur émissivité ; tout ce qui est susceptible de modifier l'émissivité de l'eau a, sur le signal, une réponse très importante. On mesure des écarts par rapport à une référence et non pas des températures absolues. Partant de là, tout est dans la

variation du signal. La conclusion fondamentale est que l'émissivité, en matière de mesure dans l'infrarouge, a une importance aussi grande et même beaucoup plus importante, que la température.

M. BANAL. — Quelle est l'influence de la salinité sur l'émissivité ? Cette question est bien connue : il y a des formules claires qui donnent l'émissivité et la salinité.

M. ARMANGAU. — Toutes les formules qui permettent de corriger les mesures de salinité en fonction de la température sont raccordées à une température de 20°, et un degré de plus ou moins d'émissivité de l'eau suivant la température à laquelle on mesure la qualité de l'eau aboutit à des valeurs différentes.

M. BURKHALTER. — L'émissivité de l'eau douce est de 0,95, celle de l'eau salée de l'ordre de 0,98. Personnellement, je n'ai jamais vu de courbes de variation de ce genre.

M. BANAL. — Si l'on regarde la courbe de M. AVIAS, on voit qu'elle varie énormément en fonction de la longueur d'onde, et ce n'est pas très rassurant.

M. ARMANGAU. — Le problème que j'ai soulevé est qu'il ne faut pas interpréter une thermographie sur l'eau comme donnant uniquement des répartitions de température. On ne peut parler de thermographie donnant une courbe de température que dans la mesure où l'eau rejetée dans le milieu est de même nature que le milieu. Voilà le point essentiel sur lequel je suis catégorique.

Le Président. — En milieu d'estuaire, le problème va se compliquer.

M. ARMANGAU. — Je ne pense pas que la thermographie soit applicable pour la détermination de la salinité. Par contre, en combinant les thermographies et les micro-ondes pour ce genre de problèmes, les unes permettant de recalculer l'information température, les autres davantage sensibles à l'information salinité, on peut arriver à faire du bon travail.

M. AUSSOURD. — De toute façon, avant le résultat définitif, on contrôle en permanence les mesures de température faites à la main ; par conséquent, on peut voir s'il y a des variations de températures absolues mesurées en certains points. Pour l'instant, on va recorriger un peu les résultats.

Vous avez vu tout à l'heure ce que nous avons appelé les "points pirates" qui sont des mesures de températures en certains points, mais ces mesures n'ont pas permis de vérifier, de

notre bureau, que les restitutions étaient bonnes. Or, elles sont très bonnes.

M. OSCHÉ. — La température dépend de l'émissivité du sol ; cette émissivité dépend de la salinité, mais aussi de tout ce qu'il y a dans l'eau. Peut-être qu'en estuaire le problème ne se pose pas entre de l'eau salée et de l'eau non salée, mais entre de l'eau de mer qui en général est assez propre, et de l'eau de rivière qui est beaucoup plus sale.

J'ajoute que, pour l'affaire de saisir des zones salées, le problème ne se pose pas de trouver des zones de littoral, mais il se pose lorsque l'eau du littoral arrive assez loin en mer et remonte du fait qu'elle est douce, donc qu'elle est moins lourde. Cette eau, en arrivant à la surface, a à peu près la moitié de la salinité de l'eau environnante, mais elle est quand même salée.

Dans les recherches d'eau douce il faut opérer dans une période de l'année où il y a le maximum de différence de température entre l'eau de mer et l'eau de la nappe prise dans des puits.

A la suite d'une observation de M. ARMANGAU, la discussion s'engage sur la comparaison des différents vecteurs proposés pour la télédétection : avions ou hélicoptères d'une part, satellites d'autre part.

M. ARMANGAU, Mme VALERIO, M. AUSSOURD, M. FAGE échangent à ce sujet les réflexions découlant de leur expérience.

D'une façon générale, le choix de l'avion ou de l'hélicoptère dépend du type de prises de vues et de l'appareillage mis en œuvre ; l'hélicoptère présentant d'autant plus d'intérêt que le temps de vol nécessaire aux prises de vues est plus court.

Quant aux satellites, les missions particulières pour lesquelles ils sont définis, ainsi que la précision des appareils embarqués, ne permettent que rarement d'utiliser leurs résultats.

M. BANAL remarque que vis-à-vis de l'ampleur des grands phénomènes météorologiques et océaniques qui demeurent à explorer, l'utilisation des satellites pour des problèmes côtiers relativement secondaires est discutable.

M. ARMANGAU et Mme VALERIO conviennent que ces problèmes côtiers relèvent essentiellement aujourd'hui de la télédétection aéroportée, même si l'on peut espérer exploiter, à plus long terme, des satellites équipées à cet effet.

M. BANAL tombe cependant d'accord avec M. VUILLAUME pour ne pas négliger pour autant l'observation de certaines images de satellite d'ores et déjà disponibles.

Abstract

Observation of "thermal" effluent by teledetection

The most important potential environmental effects of the large number of nuclear power plants that Electricité de France ordered consists in thermal wastes. When it is possible E.D.F. uses once through cooling.

In order to study the effect on environment of that kind of cooling on coastal waters (with or without tides), rivers or lakes remote sensing methods have been used, which are different for these various cases.

For coastal waters

a) during operations we need

- a plane with a thermal sensor,
- a team at sea to light heat sources on buoys, to measure water temperature at the time of the flight plus various measurements
- a team on the ground in order to know the buoys positions.

b) the thermal chart is obtained from the recorded data

To succeed it is necessary :

- to have good meteorological conditions,
- a very precise program for the 3 teams.
- a constant link between the 3 teams.

The errors on the maps are between 10 and 30 meters and between 0,1°C and 0,5°C.

The first experiments took place in 1975 in Paluel after that other experiments were done for Gravelines, Flamanville and Penly (all sites in the Channel). For each site we get 3 maps (scale 1/10000) to describe the tidal effect and a larger map (scale 1/50000).

For rivers

Two experiments were conducted in 1977.

- Rhone from St Genix to the sea,
- Loire from Allier to the Ocean.

The scale of the maps is 1/100000 in the flow direction and 1/20000 in the other one.

With these measurements we shall be able to compare the thermal spot to the initial state and to check the numerical models.