REJETS EN MER DES EAUX RÉSIDUAIRES FAIBLEMENT RADIOACTIVES DU CENTRE DE LA HAGUE

Communication
présentée au Comité technique
de la Société Hydrotechnique de France
le 22 novembre 1968

PAR R. AUSSET *

Etude du site

d'Hydraulique de Chatou et du Laboratoire de Mécanique des Fluides de Grenoble pour les recherches sur modèle réduit.

Rappel historique.

En 1959, une nouvelle usine chimique de traitement des combustibles irradiés, UP 2, était lancée, un an après le démarrage de la première usine, UP 1, implantée à Marcoule. Cette décision était prise corrélativement à celle de la construction par l'E.D.F. de la centrale nucléaire de Chinon, mais aussi en prévision du développement attendu pour le programme des réacteurs électrogènes, à partir du III^e Plan d'équipement.

Le Département de Construction des Usines (**) opta pour la région du cap de La Hague afin d'y situer UP 2 dans un nouveau Centre du Commissariat à l'Energie Atomique. (Fig. 1 : carte de La Hague).

Le choix de cette région de faible densité démographique était en partie dicté par la possibilité présumée de rejeter à la mer d'assez grandes quantités d'eaux résiduares de faible radioactivité spécifique, ce que l'expérience britannique avait, à l'époque, montré comme intéressant.

L'étude physique de la dispersion des eaux rejetées (choix du point de rejet, heures favorables aux rejets, mesures des concentrations) fut confiée, en 1961, par le C.E.A. au Groupe d'Etudes Atomiques de la Marine qui reçut le concours du Laboratoire

* Chef du Bureau Recherches et Développement au C.E.A., Centre de La Hague.

(**) Après la suppression du Département de Construction des Usines, c'est le Service de Construction des Usines de Traitement des Combustibles Irradiés (de la Direction des Matériaux et Combustibles Nucléaires), qui a été chargé des travaux.

1/ Carte de La Hague.

Map of Cap de La Hague area.

Origine et nature des eaux résiduaires.

Toute usine chimique doit éliminer, après épuration, des déchets liquides qui, par leur volume, ne peuvent pas être conservés. Les installations du Centre de La Hague n'échappent pas à cette servitude et leurs déchets liquides sont de deux sortes :

- les eaux vannes du réseau d'assainissement, soit une centaine de mètres cubes par jour;
- les eaux résiduaires industrielles, représentant 500 à 600 m³ par jour dont environ le tiers est faiblement radioactif. Les effluents radioactifs qui arrivent à la station de traitement sont de trois catégories suivant leur provenance (ateliers nucléaires, laboratoires) : moyenne activité, faible activité, suspects de contamination. Suivant leur nature, ils subissent un traitement approprié qui va de la simple filtration à une neutralisation suivie d'une coprécipitation et filtration. Les boues sont stockées définitivement sur le Centre; les eaux résiduaires dont certaines sont encore faiblement radioactives sont rejetées en mer.

Tous ces déchets liquides sont neutres et leur densité varie de 1 à 1,1; leur température est la température ambiante. Les eaux résiduaires industrielles contiennent essentiellement des nitrates, les éléments radioactifs étant en majeure partie sous forme ionique, quelques-uns sous forme complexe.

Les eaux vannes contiennent également des nitrates mais aussi des produits tensioactifs.

Etude du site marin de La Hague.

PROBLÈMES DES REJETS.

C'est essentiellement l'aspect radioactif des eaux résiduaires qui a posé le problème de leur rejet en mer. Biologistes et écologistes ayant défini les voies de retour à l'homme, (fig. 2 : schéma du retour à l'homme) indiqué le jeu des reconcentrations des radioéléments par les organismes marins et la répartition des produits de la mer dans la consommation des populations, on arrive ainsi à la connaissance d'une concentration maximale admissible de ces radioéléments dans la mer en différentes zones.

Il s'agit alors d'évaluer la concentration moyenne dans le temps qu'apporteront les rejets effectués en régime permanent de fonctionnement, ce qui donne la limite d'activité que l'on peut introduire sans risque dans la mer.

On notera que le processus de retour à l'homme des radioéléments est différent si le rejet est fait en mer ou s'il est fait dans un cours d'eau : dans ce dernier cas, on doit atteindre rapidement la norme de l'eau potable d'où la notion de rapport de débits et d'activité spécifique, alors que dans le premier, le risque étant indirect et la dispersion plus complexe, la limite aux rejets se place dans les quantités maximales pendant une période relativement longue : mois, trimestre, voire année.

CHOIX DU SITE.

Le choix du point de rejet et la détermination des heures favorables au rejet sont liés. La solution de ce double problème est obtenue en tenant compte de nombreux critères qui souvent interfèrent et dont les principaux sont les suivants :

- obtention rapide d'un bon mélange des eaux résiduaires dans la masse d'eau de mer, en profitant de la turbulence créée par les courants;

- absence de courant portant directement à la côte;
- période favorable au rejet la plus longue possible;
- émissaire le plus court possible;
- facilité de pose et bonne tenue sur le fond de la canalisation.

La position géographique du Centre de La Hague permettait d'envisager deux zones possibles pour y faire aboutir un émissaire d'eaux résiduaires : l'une au nord dans l'anse Saint-Martin, l'autre au sud-ouest dans les parages du nez de Jobourg. La seconde a été préférée à la première pour diverses raisons, les principales étant que l'émissaire aboutirait dans le raz Blanchard où les courants sont très forts et très turbulents, que cette zone n'est pas une zone de pêche et qu'il n'est pas possible d'y chaluter et d'y mouiller un navire.

Dans la zone choisie, un grand nombre de points pouvaient être retenus pour y faire aboutir l'émissaire; il était impraticable de les expérimenter tous *in situ* (carte n° 3 : possibilités de rejet en divers points de l'anse de Vauville).

On a donc procédé de la manière suivante : le Laboratoire National d'Hydraulique de Chatou a étudié, sur le modèle réduit du golfe de Saint-Malo, seize points et a retenu celui qui paraissait le plus convenable, à charge au Groupe d'études atomiques de la Marine de vérifier que ces conclusions étaient correctes par des expériences en vraie grandeur.

ETUDES SUR LE MODÈLE RÉDUIT DE CHATOU.

Les conditions hydrauliques de la région sont très complexes, les courants de marée très violents par suite de la différence de marnage qui existe entre la baie du Mont-Saint-Michel et la partie centrale de la Manche. Mais le fort courant du Raz Blanchard provoque la formation des zones tourbillonnaires surtout dans les baies et les anses.

On voulait rejeter les eaux résiduaires pendant le flot, c'est-à-dire lorsque le courant porte au nord, en évitant qu'elles soient entraînées dans les tourbillons vers la côte.

Le rôle du Laboratoire National d'Hydraulique a donc consisté à établir d'abord une carte des courants de la région considérée, pour trois coefficients de marée différents, 45, 70 et 95 (carte n° 4 : exemple de champ de courant par marée de coefficient 95 à l'heure de la pleine mer de Dielette).

Ces données de la maquette furent confrontées avec les mesures relevées par la Marine nationale ou l'E.D.F. à l'aide de courantographes. Puis ayant dressé des cartes de champs de courant, heure par heure, à rechercher le point et la période les plus favorables pour effectuer le rejet en mer des eaux résiduaires. La méthode choisie fut d'enregistrer par chronophotographie les trajets des flotteurs (carte n° 5 : exemple du cheminement des flotteurs lestés, lâchés 3 h avant la pleine mer de Dielette).

Le point et les heures finalement retenus pour les essais en mer correspondaient aux critères suivants :

- courant de flot bien établi;
- zones tourbillonnaires près de la côte évitées autant que possible;
- sortie complète des eaux résiduaires hors du Raz Blanchard avant la renverse de courant;

2/

3/

2/ Schéma du retour à l'Homme.

The full cycle back to Man.

3/ Possibilités de rejet en divers points de l'anse de Vauville.

Possible discharge points in Vauville bay.

4/ Champ de courant. Marée de coefficient 95 à la pleine mer à Diélette.

Current pattern. Tide coefficient : 95 full tide at Diélette.

4/

5/ Cheminement des flotteurs lestés lâchés 2h avant la pleine mer à Diélette (Coefficient : 95). Les lignes de niveau du fond sont cotées par rapport au N.G.F. L'origine des heures sur les trajectoires est l'heure de la pleine mer à Diélette. Les heures affectées du signe — sont comptées avant l'heure d'origine + après

Paths of weighted floats released two hours before high water at Diélette.

6/ Aspect schématique du panache. Observation par hélicoptère les 12 et 13 novembre 1964. Vent SW 20 n.
General slick outline (observed by helicopter).

7/ Loi de la dispersion / Scatter curve.
x expérience avec colorant / dye tests;
● expérience avec tracer radioactif / radioactive tracer tests.

- période minimale de rejet de 3 heures par marée;
- émissaire le plus court possible.

VÉRIFICATION DES RÉSULTATS ET MESURES DE LA DISPERSION.

Trois expériences de rejet en vraie grandeur ont été réalisées dans l'été 1962 pour vérifier les données recueillies sur le modèle réduit du Laboratoire National d'Hydraulique et pour mesurer la dispersion de l'effluent, ce qui n'avait pas pu être effectué en laboratoire.

Ces expériences ont eu lieu respectivement par coefficients de marée 48, 71 et 110.

L'effluent expérimental était une solution à 10^{-3} g/cm³ de Rhodamine B dans de l'eau de mer. Sa préparation se faisait en diluant 100 kg de colorant en poudre dans 10 m³ d'eau douce additionnée de glycérine pour augmenter sa densité. La solution obtenue était ensuite mélangée à 90 m³ d'eau de mer dans un des réservoirs du pétrolier *Lac Chambon* et énergiquement brassée. Par ce procédé, on obtenait finalement une solution de densité 1,025.

Le *Lac Chambon* était amarré sur coffre au point de rejet et l'effluent injecté pendant 3 h à débit constant de 30 m³/h dans une canalisation terminée par une buse lestée, s'orientant librement dans le sens du courant, au voisinage du fond de la mer, à environ 30 m d'immersion pendant le rejet.

Trois ou quatre dragueurs de mines ont eu pour mission de prélever les échantillons d'eau de mer dans le panache et à son voisinage, à des profondeurs de 5, 10 et 15 m, toutes les 5 mn, à l'aide de trois pompes aspirant dans des tubes différents. Au-delà du Raz Blanchard les prélèvements se faisaient à 10 m toutes les 15 mn. On remplissait ainsi des flacons de 2 l, repérés, à des positions connues généralement par le procédé de navigation Decca et à des heures notées.

Les échantillons prélevés ont ensuite été analysés par extraction du colorant à l'aide d'alcool isoamylique et mesure de la concentration par fluorimétrie.

La validité du point retenu à partir des essais sur modèle réduit a été reconnue et les résultats suivants ont été relevés.

Le colorant est apparu en surface à 400-500 m environ en aval du point de rejet, 20 à 40 mn après l'heure du début de rejet, sous forme de « bouffées » s'élargissant et se fondant en panache à une distance de 750 m, restant visibles sur environ 4 km (fig. 6 : aspect schématique du panache).

Au-delà, les prélèvements ont été effectués autour de flotteurs lestés ayant dérivé librement; les résultats positifs ainsi obtenus ont confirmé l'hypothèse que les déplacements de l'effluent et des flotteurs munis d'une « drogue » convenable sont comparables.

Les concentrations ont été rapportées à la distance réellement parcourue par l'effluent depuis le point de rejet (fig. 7 : courbe empirique de la loi de dispersion). Une première constatation a été faite, celle de la grande dispersion des mesures à une distance donnée. Elle tient à l'hétérogénéité de la dispersion de l'effluent dans la masse d'eau, au moins au début, à l'étroitesse relative du panache qui présente sur les limites latérales un fort gradient, peut-être à des mélanges erratiques avec de

l'eau pure, par exemple dans les tourbillons de courants ou les variations de la profondeur de la mer.

Il est apparu légitime de considérer l'enveloppe de ces mesures comme représentant sensiblement le maximum de la concentration en fonction de la distance. Après quelques kilomètres, la concentration varie comme l'inverse de la distance, au moins dans le domaine de l'expérience.

CHEMINEMENT DE L'EFFLUENT.

Le modèle réduit du Laboratoire National d'Hydraulique de Chatou, par construction, ne permettait pas de suivre le trajet de l'effluent après son premier passage dans le raz Blanchard. La confiance à accorder à la route suivie par un flotteur lesté avait été acquise pendant les expériences de rejets de colorant.

En 1963, cinq expériences furent réalisées en suivant pendant deux jours un flotteur lâché au point de rejet, le flotteur était composé d'une bouée utilisée par les dragueurs avec un feu clignotant : elle était en position très immergée par un lest et une drogue, d'un maître couple de $0,5 \text{ m}^2$ était suspendue à une profondeur de 15 m.

On a constaté ainsi une série d'allers et retours, dont l'extension gagne dans l'est à raison d'une dizaine de kilomètres par jour : par contre, à partir du deuxième aller-retour, la tache ne pénètre plus dans le Raz Blanchard (fig. 8 : carte du déplacement d'un flotteur lesté).

Enfin, le déplacement lointain des eaux fut étudié en lançant des cartes témoins de courant qui ont confirmé que l'eau de la Manche dérivait vers le Pas-de-Calais et la mer du Nord, observation faite depuis longtemps par les océanographes.

Trois lancers furent exécutés dans l'été 1962, six entre mai et juillet 1963, ces époques étant reconnues favorables puisqu'elles correspondent à une fréquentation importante des plages et donnent une bonne chance de retrouver les cartes (effectivement

16 à 30 % d'entre elles furent découvertes sur le littoral).

Les dates correspondaient à trois types de marée : morte eau, vive eau, et coefficient moyen. Les lancers se faisaient de demi-heure en demi-heure au point et pendant la période favorable du rejet des eaux résiduaires.

Les cartes témoins de courant fournies par le Service Central Hydrographique flottant en surface, on pouvait croire que leur dérive serait en grande partie due au vent et ne représenterait pas celle de l'eau dans sa masse.

Pour y remédier, au moins partiellement, la procédure suivante a été retenue : à chaque opération on dispersait 100 cartes « libres » à la surface, 20 cartes contenues dans des bouteilles en polythène remplies d'eau de mer de façon que le bouchon seul affleure, 30 cartes fixées sur des flotteurs lestés de trois types (dérive à 5 m, 10 m et 15 m ; support en surface réduit à une simple croix en bois ; lest formé d'un sac rempli de galets). Avec des succès différents on a retrouvé de façon générale dans les mêmes zones les divers types de flotteurs et de cartes libres.

L'influence du coefficient de marée sur le déplacement des cartes paraît négligeable ; celle du vent ne peut être niée mais la corrélation entre le vecteur vent (qui n'a pu être connu qu'au voisinage du rejet) et le retour des cartes à la côte est difficile à établir.

Le résultat qui a paru le plus intéressant est le suivant : les cartes ont été retrouvées essentiellement sur la côte ouest et nord du Cotentin (de Carteret à Cherbourg), dans le Pas-de-Calais (près de Boulogne) sur la côte des Pays-Bas (nord et îles de la Frise occidentale). Assez grossièrement dans la première région les retours à la côte se font dans les premiers jours (au maximum une semaine) ; dans la deuxième, un mois après le rejet ; dans la troisième, 2 à 4 mois après le rejet.

8/ Carte de déplacement d'un flotteur lesté.

Path of a weighted float.

Ces données n'ont qu'une valeur indicative; on peut calculer à peu près sûrement que la dérive de l'eau de La Hague au Pas-de-Calais se fait à la vitesse moyenne de 0,2 nœud. On observe aussi, régulièrement, que la baie de Seine est en dehors du trajet des cartes, de même que les côtes à l'ouest du Cotentin et celles du sud de l'Angleterre. Il serait évidemment abusif d'interpréter ces résultats en termes de contamination du littoral, mais ils peuvent présenter une certaine utilité pour les océanographes et ils ont servi à recalculer le modèle réduit de Grenoble.

ETUDES SUR LE MODÈLE RÉDUIT DE GRENOBLE.

A ce stade des expérimentations, il échappait encore la connaissance :

- de l'accumulation locale de l'effluent, après une série répétée de rejets identiques consécutifs;
- du déplacement du colorant vers l'est, qualitativement et quantitativement.

Afin d'orienter les expériences *in situ*, ces études furent confiées au Laboratoire de Mécanique des Fluides de Grenoble, et exécutées sur le modèle réduit tournant de la Manche. Par injection de colorant au point de rejet et chronophotographie du nuage le déplacement de l'effluent vers l'est peut être observé; des mesures de concentration mirent également en évidence un phénomène d'accumulation au voisinage du cap de La Hague.

EXPÉRIMENTATION DE L'ACCUMULATION *in situ*.

Une expérience *in situ*, baptisée Rhodolécia-Bêta, avait été conçue à partir des données recueillies à Grenoble. Elle fut réalisée en octobre-novembre 1964, lorsque la conduite sous-marine qui venait d'être posée put être réalisée.

Une série de trente rejets de Rhodamine, consécutifs, furent effectués dans les conditions même de fonctionnement du Centre de La Hague. Chaque rejet portait sur 90 m³ d'eau douce, contenant 300 kg de colorant (livré en solution acétique) et durait 3 heures. Cette solution avait été adoptée pour prolonger les limites de sensibilité des appareils de détection par mesure directe et par analyse en laboratoire. Bien entendu l'effluent n'avait plus qu'une densité de 1,002 mais, comme on l'a vérifié (*), cela ne devait avoir qu'une influence très négligeable sur la dispersion en raison de la dilution quasi immédiate en milieu turbulent à un taux élevé (1 000 en quelques dizaines de mètres).

Cette opération a mis en œuvre dix navires de la Marine nationale et des équipes de prélèvements à la côte de Saint-Malo à Arromanches, l'effort étant accentué sur la portion littorale de Carteret à Barfleur.

La solution rejetée était analysée par colorimétrie, avec un appareil Jean & Constant. La concentration dans l'eau de mer était mesurée *in situ* à l'aide d'appareils Turner, après une mise au point sur l'écoulement de l'eau (contrôlée par un débitmètre de précision) en évitant les bulles, sur la « contamination » des circuits après passage dans une zone de plus forte concentration, enfin sur la formation de buées. Elle était aussi mesurée en laboratoire, sur les échantillons (3 200 environ) essentiellement par fluorimètre Jobin-Yvon et selon le procédé utilisé dans les expériences précédentes.

L'expérience Rhodolécia a permis de vérifier les observations précédentes de la dilution dans le panache, du trajet de la tache de colorant et l'homogénéité de la concentration dans de l'eau de mer sur toute la hauteur d'eau. Mais son objectif principal était de délimiter la zone couverte par la contamination consécutive à une suite de rejets assimilables à un fonctionnement normal du Centre, de tracer les courbes d'isoconcentration, de connaître le processus d'accumulation et d'observer ce qui se passe à la côte. Voici les principales conclusions :

1. La dilution est sensiblement proportionnelle à la distance parcourue par l'effluent depuis son point de rejet (Cf. : la courbe de la figure 7) confirmant ce qui avait été déjà trouvé en 1952.

2. La dilution dans le plan vertical paraît pratiquement homogène très rapidement à partir d'une distance comprise entre 3 et 5 km; ce phénomène réduit l'importance de l'entraînement des eaux superficielles par le vent, encore que l'on puisse considérer que c'est l'ensemble de la masse d'eau qui se déplace dans ce cas, en raison de la profondeur relativement faible de la mer dans la région intéressée. Il faut noter qu'il s'agit de rejet d'eau de densité voisine de celle de l'eau de mer, avec un débit faible comparé à celui du milieu récepteur, soumis à un brassage turbulent énergétique.

3. La zone balayée par l'effluent coloré au cours du premier cycle de marée, élaborée à partir des données recueillies sur l'ensemble de l'opération Rhodolécia-Bêta et dont les contours latéraux sont sensiblement à la limite de détection du colorant, recouvre de façon très satisfaisante les trajets des flotteurs lestés lancés au début et à la fin des heures favorables au rejet et suivis en 1963 (fig. 9 : zone balayée par le rejet pendant les premières douze heures).

4. Ces concordances avec les résultats des expériences antérieures étant vérifiées, Rhodolécia-Bêta a permis d'établir la carte des isoconcentrations maximales trouvées pendant les 15 jours de l'expérience (fig. 10).

5. L'accumulation du colorant, dans le Raz Blanchard essentiellement (fig. 11) a été décelée en effectuant des mesures systématiques en huit points.

Le dépouillement de ces relevés donne deux types de courbes (fig. 11-1 et 11-2); l'échelle des temps ayant pour origine l'heure du rejet. Le premier type de courbe correspond à un point où se produit une accumulation dans le temps : on remarque le passage de la tache et un « bruit de fond » qui se stabilise dès le dixième jour de l'expérience (vers 7.10^{-11} g/cm³).

Le second ne montre que le passage de l'effluent : on le relève en dehors du Raz Blanchard.

6. A la fin de l'expérience, la disparition de la Rhodamine a été suivie pendant un mois environ. La zone balayée est indiquée sur la figure 12; il faut environ sept jours pour que le colorant passe du cap de La Hague à celui de Barfleur ce qui correspond à la même dérive que celle mesurée à partir des flotteurs lestés ou des cartes témoins de courant (4 à 5 naut. milles/jour).

7. Quelques petites masses d'eau marquées de Rhodamine ont été trouvées à la côte (anse de Vauville, côte ouest du cap de La Hague).

(*) Vérifications faites en laboratoire et *in situ*.

- (C) route suivie par un flotteur lesté lâché au début du rejet.
(Coef. de marée 89)
- (A) et (B) route suivie par un flotteur lesté lâché à la fin du rejet.
- (A) Coefficient de marée 63
(B) Coefficient de marée 68
- $t_a - t_b$ Limite de la zone balayée par la tache du colorant entre les heures t_a et t_b rapportées à l'heure du début du rejet concerné.

9/ Zone balayée par le rejet pendant les douze premières heures.

Area covered by discharge during first twelve hours.

Les heures t écrites en caractère droit sont rapportées à l'heure du début du rejet correspondant au lâcher du flotteur.

Times t in upright letters are with reference to initial discharge when float released.

Les heures t' écrites en italique sont rapportées à l'heure du début du rejet immédiatement suivant.

Times t' in italics are with reference to initial discharge immediately following above.

10/ Carte des isoconcentrations maximales pendant les rejets.

Maximum concentration curves during discharge.

11/ Graphiques d'accumulation de la rhodamine. Le premier rejet a eu lieu le 30 octobre. Les pointes de concentration correspondent au passage du colorant au point d'observation. Les courbes en pointillé figurent la contamination résiduelle, s'accumulant en fonction du temps dans l'eau de mer (rejets effectués régulièrement à chaque marée).

Rhodamine accumulation charts.

11-1/ Observations de la concentration. Point A.

Observed concentration at point A.

11-2/ Observations de la concentration. Point H.

Observed concentration at point H.

Il s'agit d'un phénomène aléatoire, qui ne paraît pas lié au passage de la tache (les heures ne sont pas concordantes et la concentration souvent plus élevée mais au maximum 10⁶ fois plus faible que celle de la solution rejetée). Ces taches se déplacent lentement le long de la côte et ne se retrouvent pas après Barfleur; elles se diluent lentement.

Aucune explication satisfaisante de leur cause n'a pu être trouvée; elles ne sont apparues que vers le dixième jour, dans une période où le vent de sud-ouest était établi et fort, mais il n'est pas exclu non plus qu'elles n'aient pas été « introduites » par les conditions opératoires des prélèvements (0,1 g de Rhodamine suffisant à marquer au niveau de détection le plus élevé un volume de 100 m³ d'eau de mer).

VÉRIFICATION DES RÉSULTATS.

La dispersion des eaux résiduaires dans le pancha a fait l'objet d'une expérience de vérification avec un effluent radioactif, le 8 novembre 1966. Le rejet était exactement du type de ceux que le Centre est appelé à faire en fonctionnement normal et sa radio-activité avait été montée à 120 curies. La densité des eaux résiduaires est voisine de celle de l'eau de mer.

Les mesures de concentration dans la mer ont été faites par sondes immergées pendant 30 mn, 1 h ou 2 h, ou par prélèvements d'échantillons de 30 ou de 400 l, analysés en laboratoire. Elles ont corroboré les résultats obtenus avec la Rhodamine.

Conclusion.

L'étude préliminaire du site marin, au point de vue de la dispersion des eaux résiduaires, a été faite essentiellement par des expériences soit en laboratoire, soit en vraie grandeur dans les conditions mêmes prévues pour les rejets. Cette action a été entreprise car le traitement mathématique de ce problème paraissait très difficile, en raison notamment des conditions physiques du site lui-même, mais aussi parce qu'il n'existe pas de théorie très sûre.

Il aurait fallu d'une part, effectuer d'assez nombreuses expériences pour mesurer les paramètres à introduire dans les équations et d'autre part en

exécuter d'autres pour vérifier les résultats du calcul.

Le choix d'un colorant plutôt que d'un traceur radioactif s'est imposé très vite pour de multiples raisons :

- commodité d'emploi : pas de précautions particulières, matériel classique, concentration constante de la solution dans le temps, ce qui permet de différer une expérience si la météo est mauvaise;
- coût comparable et probablement inférieur, compte tenu de l'absence de décroissance du tracer, ce qui permet de n'en approvisionner que la quantité exactement nécessaire et de la stocker;
- sensibilité des mesures plus grande : on a pu constater que des échantillons de 2 l d'eau de mer suffisaient, au lieu de prélèvements de 30 à 400 l comme ce fut le cas dans l'expérience du 8 novembre 1966; le Turner donnait des indications immédiates sur la concentration du colorant au lieu de devoir immerger une sonde une demi-heure à une heure pour mesurer la radioactivité.

La Rhodamine B l'a emporté sur la fluorescéine par sa plus grande sensibilité de détection et surtout par sa parfaite constance dans le temps : les échantillons pouvaient être analysés sans hâte et sans correction dans les laboratoires; des échantillons mesurés à 1 mois d'intervalle ont donné exactement les mêmes résultats.

Il faut remarquer enfin que dans notre cas particulier les résultats de la dispersion doivent être interprétés en termes de concentration moyenne dans le temps qui seuls ont une signification du point de vue sanitaire puisque c'est d'eux que dépendra la contamination des espèces marines donc l'irradiation des hommes.

Description de l'installation de rejet

Principe.

L'installation de rejet des eaux résiduaires, qui part de la station de traitement des effluents à la cote + 178 m, comprend deux parties, l'une terrestre, l'autre sous-marine, l'extrémité étant à la cote - 28 m (cotes rapportées au nivellement général). L'écoulement des eaux résiduaires se fait par gravité, à surface libre, le débit étant celui des pompes de transfert et pourrait atteindre 100 m³/h. Cette solution a évité de construire une conduite forcée d'un coût nécessairement plus élevé.

Conduite terrestre (fig. 13).

La partie terrestre de la conduite de rejet, longue de 2 500 m va du bac relais A au bac relais M situé dans un ouvrage à la cote + 30 m.

Elle comprend sept tronçons séparés par le bac relais D 1 et cinq ballons brise-charge. Chacun de ces tronçons est constitué de tuyauteries en polyéthylène dont le nombre et le diamètre sont fonction de la pente moyenne de la portion de canalisation considérée.

Le polyéthylène a été choisi car il ne subit pas de

12/ Plan de disposition du colorant.
Extent of dyed water.

corrosion et il est assez souple pour épouser les courbes du terrain. Les tubes livrés sont assez longs pour relier ballons et bacs sans soudure intermédiaire.

Un autre tuyau en polyéthylène, de plus faible section, fait communiquer l'atmosphère, d'une part, du bac relais A et du ballon B, d'autre part, des autres ballons et bacs. La mise à l'air libre se fait au bac relais D 1 par l'intermédiaire de filtres qui évitent à la contamination radioactive de se répandre dans l'atmosphère extérieure.

Les bacs relais et les ballons brise-charge sont en acier inoxydable.

Les tubes de polyéthylène et les ballons sont placés dans un caniveau en béton étanche; les canalisations sont plaquées aux parois latérales par des cales de béton qui dégagent le fond du caniveau, en forme de V, afin que l'écoulement des fuites et infiltrations puisse se faire librement jusqu'à l'ouvrage dans lequel se trouve le bac relais M; elles y sont collectées dans une cuve enterrée. Le caniveau est couvert de dalles et de terre, protégeant la conduite et faisant écran aux rayonnements ionisants émis par les radioéléments, bien que l'émissaire passe dans un terrain propriété du C.E.A. où personne ne circule.

Comme certaines fuites pourraient sécher avant d'atteindre la partie inférieure de la conduite, le caniveau peut être rincé par injection d'eau en tête. On contrôle la radioactivité de ces eaux recueillies au niveau de la cuve de collecte. Enfin des orifices dans la couverture du caniveau, ménagés de place en place et munis de bouchons, ont été prévus pour effectuer des prélèvements intermédiaires et déceler les contaminations.

Conduite sous-marine.

Au bac relais M commence la partie marine de la conduite de rejet. Elle comprend d'abord deux canalisations en polyéthylène de 130 mm de diamètre intérieur, placées dans une tranchée remblayée.

De plus, à la traversée de la plage et dans la zone de marnage elles passent dans des tubes d'acier et sont protégées par une couverture de béton d'une épaisseur de 1 m.

Au niveau de la basse mer, les deux tubes en polyéthylène sont raccordés à un collecteur unique formé d'éléments en acier, de 22 cm de diamètre intérieur, 1 cm d'épaisseur, 10 m de longueur, vissés les uns aux autres par des manchons filetés.

L'émissaire sous-marin, long de 5 500 m, décrit une ligne polygonale à trois côtés rectilignes raccordés entre eux par un coude arrondi spécialement fabriqué.

Jusqu'à 12 m de profondeur, limite à laquelle la houle peut être sensible au fond, la conduite est fixée à des portiques d'acier, scellés dans le rocher, dont le nombre, l'espacement et la structure ont été préalablement déterminés sur maquette au Laboratoire National d'Hydraulique de Chatou. Au-delà, l'émissaire repose directement sur le fond de la mer préparé par déroctage.

L'extrémité de la conduite est maintenue à 1 m au-dessus du fond rocheux par deux massifs réalisés en sacs de béton immergés par scaphandriers. Elle n'a pas de forme spéciale (clarinette par exemple), des expériences sur maquette à Chatou,

reproduisant les conditions de houle et de courants ayant montré que les changements que l'on pouvait apporter tant à la direction du jet relativement à celle du courant qu'à la forme de l'extrémité du tube, ne modifiaient pas la dispersion au-delà des quelques premiers décamètres. Une ouverture simple présente alors le sérieux avantage de ne pas risquer de s'obstruer facilement.

Au cours d'une campagne préalable, le Service Hydrographique de la Marine a relevé une carte précise des fonds et étudié la marée locale, facilitant ainsi le travail ultérieur de pose de la conduite.

Les conditions océanographiques de cette région sont très sévères : l'amplitude de la marée y atteint 10 m en vive eau et le courant 3 à 4 m/s avec une étale de courte durée. En cas de coup de vent des secteurs ouest et sud-ouest, la mer sur cette côte devient rapidement très mauvaise et il n'y a pas d'abri portuaire à proximité.

Le remède à ces difficultés a été trouvé par l'emploi d'une plateforme flottante autoélevatrice sur dix colonnes verticales de 50 m. En position haute et solidement ancrée, elle servait de base de travail à partir de laquelle les trois tronçons de l'émissaire sous-marin ont été lancés. La rampe de lancement comprenait un banc de vissage des tubes, une cage à pneus et des diabolos pour le guidage, un frein à mâchoires pour la retenue. La conduite était tirée sur le fond depuis un ponton équipé d'un treuil puissant.

La cadence de pose a été de 100 m/h.

La mise en place des portiques a été faite en utilisant les deux tours de forages mobiles, montés sur la plate-forme. Des scaphandriers finissaient le portique au fond de l'eau et y fixaient l'émissaire.

Il a fallu cinq mois pour accomplir ces travaux.

Fonctionnement.

Deux catégories d'eaux résiduares sont rejetées par la conduite.

- celles qui sont produites à la station de traitement des effluents;
- les eaux vannes du Centre.

Les premières, faiblement radioactives, sont analysées et si l'autorisation de les rejeter est donnée par la Section de Protection contre les Radiations, elles sont introduites par pompage dans le bac relais A d'où elles s'écoulent par gravité.

Cette opération est faite en temps voulu avant la

13/ Schéma de la conduite terrestre de rejet.

Disposal arrangements ashore.

période favorable à leur évacuation en mer, leur volume étant inférieur à celui de l'émissaire sous-marin. Au moment choisi pour le début du rejet, elles sont chassées par de l'eau de mer aspirée dans un réservoir de 400 m³ et introduites dans le bac relais M. Le débit de la pompe de refoulement de l'eau de mer est réglé pour que les eaux résiduaires soient expulsées pendant les trois heures de la période favorable et l'opération se termine par un rinçage à grand débit.

Les eaux vannes sont collectées dans une cuve de 200 m³ à la cote + 157 m d'où elles s'écoulent dans le bac relais D 1. Une vanne permet d'interrompre leur évacuation lorsqu'on effectue le rejet des eaux radioactives.

Schéma de surveillance du site marin

Principe.

Les expériences décrites au premier chapitre et les études géologiques et écologiques complémentaires ont permis l'élaboration d'un plan de surveillance du site marin, comme il y en a un pour le contrôle terrestre et un autre pour celui de l'atmosphère, les trois étant bien entendu inter-dépendants : les retombées atmosphériques, par exemple, se retrouvent dans les trois domaines.

Le plan de la surveillance marine a été défini conjointement avec le département de la Protection sanitaire du C.E.A., qui a la responsabilité générale des normes relatives à l'hygiène. Sa mise en application, pour le site rapproché, soit dans un rayon d'une trentaine de kilomètres autour du Centre, a été confiée au Service de Protection contre les Radiations qui est directement rattaché à la direction du Centre et par conséquent est fonctionnellement indépendant des unités d'exploitation et des laboratoires actifs.

De son côté, le Service Central de Protection contre les Radiations Ionisantes (S.C.P.R.I.) du ministère des Affaires sociales exerce son propre contrôle sur l'ensemble du site, donc sur le milieu marin, soit directement (prélèvements et analyses dans ses laboratoires), soit indirectement en exploitant les renseignements qui lui sont fournis systématiquement par le Centre de La Hague.

La surveillance de la mer porte :

- d'une part sur les eaux résiduaires rejetées : mesures d'activité, mesures physico-chimiques (analyse, nature et quantité des divers radioéléments, pH, etc.);
- d'autre part sur la contamination du milieu marin qui découle de ces rejets.

On vérifie ainsi que l'exécution des rejets en mer, dans les limites imposées au Centre par les autorités responsables de la santé publique, apporte au milieu récepteur une radioactivité acceptable, c'est-à-dire qu'il n'en résulte pas d'irradiation des populations, supérieure aux normes publiées par les organismes internationaux (Commission internationale de Protection contre les Radiations).

Le taux de contamination radioactive admissible de la mer ainsi défini est à un seuil largement insuffisant pour modifier de façon appréciable la vie, la reproduction et le développement des animaux et

des plantes vivant même au voisinage de l'émissaire.

Ce plan de surveillance n'est pas intangible : l'expérience progressivement acquise par des années d'exploitation dictera les corrections à lui apporter, en accord avec les autorités responsables; pour le moment il apparaît suffisant pour couvrir de façon satisfaisante la zone intéressée et détecter l'apparition d'anomalies éventuelles.

Autorisation des rejets.

Les études préliminaires du site, commencées cinq ans avant les essais du Centre, ont été présentées dans un dossier au ministère des Affaires sociales, au secrétariat général à la Marine Marchande et à la Préfecture de la Manche.

Le Préfet du département, en application de la loi de décembre 1964 (l'émissaire sous-marin débouche dans les eaux territoriales) donne au Centre de La Hague une autorisation annuelle.

Il lui est rendu compte, tous les mois, des rejets effectués et de leur analyse détaillée.

Bases du calcul de l'incidence sanitaire des rejets.

L'incidence sanitaire des rejets sur la population a été déterminée en explorant les diverses étapes du schéma du retour à l'homme (fig. 2).

Les études ont donc porté sur le processus physique de dispersion des eaux résiduaires, exposé dans la première partie.

Elles ont été complétées par des recherches de sédimentologie dans la région, des enquêtes sur les habitudes de la population locale et des estivants, l'inventaire des espèces marines, la mesure de facteurs de concentration des principaux radioéléments par les animaux et végétaux marins, des statistiques économiques (tonnage, origine et répartition des pêches de poissons et crustacés, ramassage et emploi des algues).

Tous ces travaux ont été effectués par divers services du C.E.A., de la Marine nationale, de l'Université, de l'E.D.F., etc.

On est ainsi arrivé à calculer pour différents groupes de population (pêcheurs locaux, habitants du canton de Beaumont et de Cherbourg, estivants) l'irradiation annuelle qui résulterait des rejets d'une certaine quantité de radioactivité et proviendrait de la manipulation des engins de pêche ou des algues, de la consommation de produits de la mer, du séjour sur les plages, en prenant chaque fois les hypothèses les plus contraignantes.

Théoriquement, la dose annuelle intégrée par le groupe de population le plus exposé, due aux rejets autorisés par le Préfet, est inférieur à 10 mR pour l'ensemble de l'organisme. Ce chiffre est à comparer avec la norme de la Commission internationale de Protection contre les Radiations, à savoir 500 mR/an pour l'ensemble de l'organisme dans le cas des individus du public, c'est-à-dire de personnes qui ne sont ni en permanence, ni temporairement appelées à travailler sur des matières radioactives. Il est encore plus significatif peut-être de le rapprocher de la dose d'irradiation naturelle d'un homme se trouvant dans une région granitique au niveau de la mer, dose qui s'élève à 150 mR/an et se répartit comme suit :

- 35 mR dus au rayonnement cosmique (davantage en altitude);

14/ Surveillance du site marin. Points de prélèvements.

Controlled sea area. Sampling points.

- 17 mR dus au rayonnement naturel émis par le potassium contenu dans les cellules du corps de l'individu lui-même,
- et le restant dû à la roche granitique (un terrain sédimentaire irradié quatre fois moins, mais certains terrains uranifères de l'Inde et du Brésil irradient cinq à dix fois plus).

Contrôle des rejets.

Le Service de Protection contre les Radiations du Centre effectue dans les cuves de la station de traitement des effluents des prélèvements des eaux résiduaires à diverses profondeurs pour obtenir un échantillon moyen.

Cet échantillon subit une analyse immédiate rapide (activité α , activité β , spectrométrie γ , pH). Au vu des résultats et connaissant le volume du rejet, l'autorisation est alors donnée à l'exploitant. Si elle lui est refusée, le rejet peut être fractionné ou retraité.

L'analyse rapide est ensuite complétée par une identification détaillée des radioéléments, émetteurs α , strontium, césium, ruthénium, etc).

Tous les mois, des échantillons d'eaux résiduaires sont envoyés pour contrôle au S.C.P.R.I.

Les ionnées sur les eaux résiduaires (quantité, activité, analyse par radioéléments), rejet par rejet, sont collationnées dans des états qui sont régulièrement envoyés aux autorités administratives responsables de la santé publique à l'échelon départemental et l'échelon national.

Surveillance du site.

DÉFINITION DES PARAMÈTRES.

Le processus essentiel de l'irradiation des populations consécutives aux rejets, est la consommation des produits de la mer, en ce qui concerne le site de La Hague.

Mais il ne peut être question de procéder à un contrôle systématique de la chaîne alimentaire, notamment en raison des fluctuations saisonnières dans la quantité et la nature des pêches locales.

Par contre, les facteurs de concentration étant déterminés, il est possible de connaître la contamination de l'eau de mer qui correspondrait à la limite admissible pour celle des espèces comestibles.

Mais la détection de la contamination de l'eau de mer est difficile; pour obtenir une meilleure sensibilité, le Service de Protection contre les Radiations mesure les variations de la radioactivité de la flore et de la faune qui accumulent les radioéléments contenus dans la mer; ce rôle d'indicateur est confié à des espèces communes, sédentaires et permanentes dans la région.

Enfin, la surveillance porte également sur les sédiments.

SURVEILLANCE COTIÈRE.

Elle s'exerce sur plus de 50 km de côtes en des points bien particuliers, toujours les mêmes (fig. 14) et une fréquence de 2 ou 6 mois suivant les cas, mais aussi par sondages occasionnels en d'autres lieux intermédiaires.

L'eau de mer est prélevée automatiquement pendant une vingtaine d'heures à l'aide d'un dispositif approprié (remplissage par une ouverture calibrée) de façon à avoir un échantillon moyen d'une dizaine de litres. Ces opérations se font soit en routine, soit à l'occasion des rejets particuliers par leur importance ou par les conditions météorologiques.

Comme la radioactivité artificielle est considérablement plus faible que celle du potassium de l'eau de mer, il faut employer des méthodes de séparation; celle qui a été mise au point est l'adsorption sur bioxyde de manganèse des radioéléments.

Les sédiments sont prélevés par dragages superficiels en bordure de côte et sur les plages.

Le contrôle le plus intéressant porte sur les algues fixées qui sont ainsi bien localisées et ont l'avantage d'un pouvoir élevé de concentration. Une vingtaine d'espèces sont présentes en abondance sur le littoral : cinq d'entre elles ont été retenues pour des contrôles bimestriels et l'ensemble est analysé deux fois par an. La mesure de leur radioactivité se fait au laboratoire; elle est rapportée à leur poids sec.

Enfin, la faune surveillée est représentée par trois espèces d'animaux fixés (patelles, balanes et nuelles).

Les mesures consistent à déterminer l'indice β (*) de radioactivité; le spectre γ et le taux de potassium naturel qui est prédominant (fig. 15 a et b).

La surveillance directe de la chaîne alimentaire est faite indépendamment par des organismes spécialisés du Département de la Protection Sanitaire ou du S.C.P.R.I.

SURVEILLANCE EN MER.

A la suite des expériences de rejets de colorants, dix points ont été prévus en mer (fig. 14) pour y effectuer des prélèvements d'eau. Ces opérations se font trois à quatre fois par an, avec le concours d'un dragueur de la Marine nationale.

Le volume des échantillons est élevé : plusieurs centaines de litres, dont il faut extraire les radio-

éléments pour pouvoir en mesurer l'activité. Le S.P.R. met au point un autre procédé par circulation d'eau de mer sur des résines.

La dispersion dans le panache fait l'objet de mesures particulières à l'occasion de rejets suffisamment actifs lorsque les conditions météorologiques le permettent.

Résultats.

Plusieurs années avant le démarrage en actif du Centre, des mesures systématiques de la radioactivité naturelle ont été faites; c'est ce qu'on appelle le « point zéro ». Au début, ces données ont été recueillies par le Groupe d'Etudes Atomiques de la Marine nationale et depuis 1965, elles ont été enregistrées par le Service de Protection contre les Radiations.

La contamination du milieu marin, de la faune et de la flore n'a pratiquement pas évolué et les seules pointes de radioactivité qui ont été relevées sont saisonnières et imputables aux retombées atmosphériques des essais aériens des armes nucléaires, en particulier des explosions chinoises.

Le contrôle dans le panache lui-même, qui est la seule zone où l'on puisse avoir des mesures significatives est en accord avec les expériences de dispersion de colorant.

Tous ces résultats sont régulièrement communiqués aux organismes centraux du C.E.A. chargés de la protection sanitaire et aux autorités administratives responsables de la santé publique. Le Service Central de Protection contre les Radiations Ionisantes procède de son côté à des mesures sur

15 a/ Spectre γ des balanes.

γ —chart for limpets.

15 b Spectre γ des fucus.

γ —chart for fucus.

des prélèvements qu'il effectue; des échanges d'échantillons avec le Centre de La Hague permettent des intercomparaisons.

Conclusion

C'est au Centre de La Hague que s'est posé la première fois en France le problème d'éliminer en mer des volumes relativement importants d'eaux résiduaires faiblement radioactives.

Windscale, Dounreay, et Winfrith avaient déjà exploré cette voie en Grande-Bretagne.

Les études préliminaires demandées par le Service de Construction des usines de traitement des combustibles irradiés, du C.E.A., ont commencé très tôt après que la décision de construire le Centre de La Hague ait été prise.

Elles ont été faites systématiquement dans tous les domaines et de nombreux organismes étrangers au C.E.A. y ont collaboré chacun dans sa spécialité.

Elles ont abouti à une bonne connaissance de la dispersion locale des eaux rejetées. Il est apparu qu'en raison du grand nombre de paramètres pouvant influencer sur le phénomène, il était préférable de procéder à des expériences en vraie grandeur sur le site même. En contrepartie il a fallu mettre en œuvre, avec le concours du Groupe d'Etudes Atomiques de la Marine, des moyens importants et utiliser près de 10 t de colorant.

Ces études ont aussi contribué à diverses recherches : sédimentologie par l'Université de Caen, (carte lithologique, étude du déplacement des sables

Photo 2/Exemple de fucus.

A fucus specimen.

sur les plages), courantologie de la Manche par l'Université de Grenoble et de la baie de Vauville par le Laboratoire National d'Hydraulique de Chatou, de biologie marine par le Museum d'histoire naturelle de Paris et l'Institut Océanographique, de radioécologie par le département de la Protection Sanitaire du C.E.A.

Les rejets effectifs du Centre, aussi réduits que possible, ne sont qu'au dixième de l'autorisation préfectorale, qui elle-même est à quelques pour-cent des possibilités théoriques déduites des expériences.

La marge de sécurité est donc considérable.

La surveillance systématique du site prouve la validité de ces évaluations et garantit qu'il ne peut résulter des rejets aucune incidence sanitaire sur l'homme.

Le Centre de La Hague pourra donc se développer progressivement en toute sécurité parce qu'on est encore très loin de ses possibilités et que des progrès constants sont enregistrés dans les procédés de traitement des effluents.

Bibliographie

- [1] BOWLES (P.), BURNS (R.H.), HUDSWELL (F.), WIPPLE (R.T.P.). — Exercise Mermaid AERA/E/R/26-25, AERE Harwell (1958).
- [2] PRITCHARD (D.). — Panel discussion n° 1 : circulation and mixing in estuaries and coastal waters, disposal of Radioactive wastes, 2, AIEA (1960).
- [3] Conférence de Monaco (16-21 novembre 1959) : Disposal of Radioactive waste.
- [4] AUSSET (R.) et FARGES (L.). — Utilisation de la Rhodamine β dans l'étude des caractéristiques hydrologiques d'un site marin de rejet d'effluents radioactifs. *Revue internationale d'océanographie médicale*, CERBOM, Nice.
- [5] AUSSET (R.) et CANTEL (J.). — Rejet en mer des eaux résiduaires du Centre de La Hague. *Disposal of Radioactive wastes into seas, oceans, and surface waters*, IAEA (1966).

Photo 1/Colonie de balanes et de patelles.

A colony of limpets and barnacles.

M. AUSSET présente sa communication. M. le Président le remercie et se félicite de la note pittoresque que ce remarquable mémoire apporte à nos austères séances.

La discussion débute par une intervention de M. ROUMEGOUX, qui tient à souligner le caractère exceptionnel et la haute qualité des observations à la mer, faites à l'occasion de l'étude suivie par le Groupe des Etudes atomiques de la Marine et le C.E.A. de La Hague. Il insiste notamment sur les difficultés d'exécution de certaines de ces observations effectuées en novembre dans les redoutables parages du Raz Blanchard. Il est très satisfait de voir sur les graphiques présentés par M. AUSSET l'accord des résultats obtenus au Laboratoire — tant à Chatou qu'à Grenoble — d'une part, et à la mer d'autre part.

Qu'advient-il des particules solides (boues résiduaires) en suspension dans l'effluent liquide, demande M. ROUMEGOUX ?

Ce problème de la sédimentation des particules solides est étudié de près par divers organismes de façon à estimer les risques, non seulement immédiats mais aussi à longue échéance. Les contrôles de radioactivité, effectués le long des côtes depuis 1967, n'ont révélé aucun indice en dehors des retombées dues aux explosions nucléaires. D'ailleurs, le régime des rejets est strictement réglementé et limité à une « activité » qui est de l'ordre de $1/10^6$ de celle des radiations naturelles.

M. le Président demande si des rejets effectués sur la côte anglaise ne pourraient pas parvenir sur la côte française. D'après un lâcher de petits flotteurs (cartes postales), effectué par les soins des autorités françaises, cela paraît peu probable, répond M. AUSSET.

M. GARANCHER souligne l'intérêt des essais relatés dans le mémoire de M. AUSSET pour l'étude des conditions de rejets en mer des eaux usées des collectivités côtières de la région (Carteret, par exemple), et pose les questions ci-après :

« 1° Quel est le prix de l'émissaire de La Hague ?

« 2° Pourquoi avoir réalisé la canalisation en acier et non en matière plastique ?

« 3° Est-il indispensable de moduler strictement le rejet en fonction de la marée ?

M. AUSSET répond :

« 1° Le prix de l'émissaire est de l'ordre de dix millions de francs, toutes études comprises;

« 2° La canalisation en matière plastique aurait dû être fortement lestée, afin de ne pas flotter; dans ces conditions, le poids du métal de lestage aurait été au moins du même ordre que celui d'une canalisation en acier;

« 3° Il n'apparaît pas qu'il soit dangereux d'augmenter la durée de trois heures de rejet, par marée, au risque de voir le panache de diffusion s'orienter à partir d'une certaine heure vers le sud; mais cela n'est pas envisagé. »

M. CHABERT-D'HIÈRES intervient brièvement pour préciser que :

« 1° De nouvelles recherches, qui ont été faites au Laboratoire de Mécanique des Fluides de Grenoble, ont montré que dans la Manche il existait un courant central portant vers l'ouest, alors que le courant moyen près des côtes était beaucoup plus fort et portait à l'est. Le débit résultant est dirigé vers l'est; mais cette distribution de courant moyen est très importante pour déterminer les chances de pollution réciproques entre la France et l'Angleterre.

« 2° La courbe « zéro » que donne M. AUSSET est, en fait, une courbe « zéro » à la sensibilité de la méthode de mesure. Le modèle réduit de Grenoble a, bien entendu, repoussé très loin cette courbe « zéro » puisqu'il était beaucoup plus sensible. »

La séance se termine par la projection d'un beau film représentant la pose de la canalisation de l'émissaire de La Hague et donnant une bonne vue d'ensemble de la région.

Le Président remercie les auteurs des communications, les réalisateurs du film et toutes les personnes qui ont contribué au succès de cette intéressante session.

Abstract

Discharge of slightly radioactive effluent from La Hague Centre at sea

by R. Ausset *

The construction of a large chemical treatment plant for radioactive Electricité de France reactor fuel has brought with it an effluent disposal problem, for which the possibility of disposal of slightly radioactive decontaminated effluent at sea has been investigated in the absence of a big river carrying a regular flow.

The attractive feature about the selected dumping area off Cap de la Hague is its powerful Raz Blanchard current which it was thought could be relied on to rapidly disperse the radioactive elements within a very substantial body of sea water. The project authorities considered it desirable to aim at minimum possible specific sea water contamination in the immediate vicinity of the disposal channel outlet. This meant studying contaminated water movements and establishing the safety margin attached to the scheme by tracing the radioactive effluent's route back to Man and calculating likely radiation therefrom. This safety margin was found to be very high. A further purpose of the preliminary studies was to determine the optimum site for the channel outlet and appropriate times at which to discharge the effluent (3 hours during each tide.)

The disposal duct runs overland for a short distance, followed by an underwater run 5,500 m in length. Technical design and pipe-laying problems have all been solved, especially as associated with the altitude of the Centre, the ground features and the strong local sea currents. Despite all the difficulties encountered, the undersea duct was laid in six months.

An original experiment with dye designed to simulate normal operating conditions during a fortnight was carried out as a check on the accumulation possibilities observed on the model. Thus, the general problem was dealt with by alternating model and real-life tests, which seemed to be the only way to do the job in view of the very numerous parameters on which dispersion depends in this region.

The experimental data were found to agree very closely with the initial data observed in real life. Careful systematic supervision of the area is ensuring that contamination of the sea water within the limits laid down by the local authorities (which are based on the preliminary studies carried out on site) does not endanger human life, i.e. that it is well within the limits specified by the International Commission for Protection against Radiation.

* Chef du Bureau Recherches et Développement au C.E.A., Centre de La Hague.