

La démarche choisie pour déterminer les processus qui gouvernent en zone côtière le transport physique des polluants issus des rejets urbains a été l'observation du milieu par des mesures de longue durée (voir communication THOUVENIN *et al.* - Mesures de longue durée de températures et de courants en zone littorale) et l'utilisation de modèles mathématiques. Un site pilote a été choisi. Il correspond au rejet de Toulon Est, émis par 43 mètres de profondeur, à 2 kilomètres de la côte.

L'effluent subit deux étapes de dilution: la remontée, sous forme de "Panache", vers la surface ou vers une profondeur d'équilibre, et le transport par les courants horizontaux du "nuage" de pollution, qui se dilue au fur et à mesure qu'il s'éloigne de l'émissaire. Pour reproduire les mécanismes de mélange de l'effluent, une modélisation adaptée à chacune des deux étapes est nécessaire afin de prendre en compte les échelles spatio-temporelles différentes.

Choix des Modèles

La première étape de mélange, due à la tension de cisaillement développée par l'ascension du rejet vers la surface, a lieu sur une petite échelle de temps et d'espace (quelques minutes sur quelques dizaines de mètres). Moyennant des théories simplificatrices pour traiter statistiquement la turbulence en recherchant des solutions stationnaires, il est possible d'utiliser des modèles simples et d'obtenir des résultats satisfaisants, dans la mesure où l'on s'intéresse à une échelle spatio-temporelle plus grande, correspondant au devenir de l'effluent sur plusieurs kilomètres et pendant plusieurs heures. Un modèle de JET, développé par la SOGREAH (1988) a été appliqué ici en utilisant les mesures de courants et de stratification réalisées sur le site.

Pour la deuxième étape de mélange, les modèles simples, qui calculent analytiquement la concentration de l'effluent en fonction de la distance au rejet, font souvent des hypothèses qui ne conviennent plus aux échelles de temps et d'espace concernées par cette étape. Parmi ces hypothèses, la plus utilisée est celle du régime permanent, qui ne prend pas en compte les situations transitoires; celles-ci peuvent pourtant représenter des cas importants à étudier en terme de risque d'impact sur une zone donnée.

Par exemple, l'installation d'un vent fort suivant une période de vent calme et alternatif (du type régime de faibles brises côtières, courantes en Méditerranée) peut entraîner dans les premières heures le déplacement d'un nuage de pollution, très concentré, qui ne se dilue que lentement.

Nous nous sommes intéressés dans ce programme à une zone relativement proche de l'émissaire, dans laquelle les concentrations d'une majorité de substances issues du rejet sont encore mesurables. A partir des campagnes pluridisciplinaires sur le terrain, et du suivi pendant plusieurs heures de l'effluent marqué, on a constaté qu'à l'échelle de cette zone, les variations temporelles du courant étaient bien plus importantes que les variations spatiales.

Un modèle de transport et mélange multicouches a donc été appliqué; il ne calcule pas les courants dans la zone, mais utilise les mesures réalisées à plusieurs profondeurs; il fait l'hypothèse de l'uniformité horizontale des courants et considère que la profondeur est constante sur toute la zone. Le champ d'application est limité par des frontières ouvertes, c'est-à-dire qu'il n'y a pas de côtes dans la zone, ni d'obstacle perturbant les écoulements. On se place donc dans le cas d'un émissaire rejetant relativement loin de la côte, dans une zone où la topographie n'est pas trop accidentée.

Le modèle prend en compte le transport différentiel entre les couches qui induit une distorsion possible du nuage dans plusieurs directions selon la profondeur. Il simule également le transfert entre les couches à travers la diffusion verticale et la chute des particules.

Application des Modèles

A partir du modèle JET, on a pu déterminer l'importance du profil vertical de densité. Le comportement du panache dépend de la profondeur de la thermocline et de la différence de densité entre la couche du fond et la couche de surface. Pour chaque débit et chaque forme du profil de densité, on obtient une stratification limite inférieure en dessous de laquelle le panache arrive en surface, et une stratification limite supérieure au dessus de laquelle le panache est capté en profondeur et reste relativement stable. Entre ces deux stratifications limites, le panache est instable; sa profondeur, son épaisseur et sa dilution varient beaucoup en fonction des conditions du milieu.

La confrontation des résultats de ce modèle avec les campagnes de mesures sur le terrain a montré une bonne adéquation.

En tenant compte du profil mesuré des courants et de la stratification, le modèle permet de calculer les caractéristiques du panache en fonction du temps et d'évaluer le pourcentage de captage de l'effluent aux différentes profondeurs pendant une période donnée.

A partir du modèle de transport, on a pu déterminer les échelles de temps pour atteindre l'état stationnaire, et les dilutions qui dépendent des courants et des coefficients de diffusion utilisés. Les processus de diffusion verticale, de vitesse de chute et de floculation ont été testés, ainsi que le phénomène de mortalité apparente pour les germes tests.

La confrontation des résultats du modèle avec les campagnes de mesures sur le terrain est satisfaisante, compte tenues des incertitudes sur les données injectées dans le modèle et sur les mesures parfois hétérogènes dans l'espace et variables dans le temps.

Enfin, l'application du modèle à quelques "scénarios types" a permis de visualiser la zone d'impact du rejet pour deux paramètres importants du rejet: les détergents et les germes tests. Les premiers sont supposés conservatifs à l'échelle de quelques dizaines d'heures, les seconds disparaissent avec une cinétique de mortalité fonction de l'intensité lumineuse disponible; cette loi a été mise en évidence par des expériences réalisées au cours de ce programme d'études (POMMEPUY *et al.*, 1990).

Le stock de polluant présent dans la zone évolue en fonction du débit du rejet et des courants. Ces derniers piègent l'effluent dans la zone ou le font sortir rapidement selon les heures de la journée et les jours. On obtient ainsi des stocks très importants en profondeur, lorsque le nuage est capté dans des couches d'eau où les courants sont faibles. Les stocks sont moins importants en surface, mais le nuage étant plus étalé, les limites données par les normes de salubrité ou de toxicité sont parfois dépassées sur des distances assez importantes.

Ces distances qui décrivent l'impact du rejet sont très liées à la condition initiale dans le rejet et pour les bactéries au moment de la journée. En effet, l'impact d'un rejet bactérien est très faible pendant le jour, quand l'insolation provoque une disparition rapide des bactéries. Par contre, on peut considérer que les bactéries sont pratiquement conservatives pendant la nuit ce qui donne une zone d'impact qui peut être très étendue au petit matin.

Le devenir à plus long terme de l'effluent n'a pas été abordé dans cette étude. Cette troisième étape de dilution suppose de connaître cette fois la circulation générale dans la bande côtière et d'y intégrer les variations spatiales des courants, ainsi que les transformations lentes des paramètres du rejet.

REFERENCES

POMMEPUY M., GUILLAUD J.F., MARTIN UY., DUPRAY E., DERRIEN A. & CORMIER M., 1991.- Le devenir des bactéries en zone littorale IFREMER Actes de colloques 11 "La mer et les rejets urbains" Bendor 13-15 Juin 1990 pp89-100.
 SOGREAH, 1988.- Etudes des rejets urbains- Logiciel de calcul des jets et panaches SOGREAH: 60087R2.
 THOUVENIN B., 1991.- Caractéristiques et modélisation d'un rejet par émissaire. IFREMER Actes de colloques 11 "La mer et les rejets urbains" Bendor 13-15 Juin 1990 pp221-236.

Dans le cadre d'un programme d'études sur le devenir des rejets urbains en mer Méditerranée, des mesures de température et de courants ont été réalisées en un point fixe, situé dans la grande rade de Toulon, à 2 kilomètres de la côte, sur des fonds de 43 mètres. L'objectif de ces mesures, qui se sont déroulées sur un an et demi entre mars 1986 et septembre 1987, était d'observer et de définir un certain nombre de "situations types" caractéristiques du comportement de la masse d'eau au débouché de l'émissaire.

Deux chaînes de thermistances ont été mouillées, permettant d'obtenir un profil vertical de température, de la surface au fond avec une valeur tous les deux mètres. Un à quatre courantomètres, selon les périodes, ont mesuré les courants horizontaux à 1,5 mètre sous la surface, à 7 et 15 mètres de profondeur et au fond (-41,5 mètres). Une station météorologique, placée à la côte, mesurait simultanément l'intensité et la vitesse du vent, la température de l'air, la pression atmosphérique et l'insolation lumineuse.

Ces enregistrements de longue durée du profil de température ont permis d'observer la formation, l'évolution et la disparition de la thermocline saisonnière en un point proche de la côte:

- A l'échelle de temps journalière, la variabilité de la profondeur et de l'épaisseur de cette thermocline est très importante, et avant tout liée à la courantologie et à l'anémométrie. En effet, on observe une périodicité corrélée aux brises thermiques, celles-ci provoquent le basculement de la thermocline et font varier sa profondeur moyenne de plusieurs mètres (figure 1).

- A l'échelle de temps saisonnière, la formation et l'approfondissement de la thermocline n'est pas un phénomène local et spécifiquement vertical. Etant situé dans une zone très côtière, ce sont principalement les mouvements horizontaux qui déterminent l'apparition du gradient thermique et celle des conditions générales caractéristiques de la période. Il semble que la couche superficielle chaude ne s'épaississe pas seulement par mélange vertical à partir d'un réchauffement par la surface.

- A l'échelle de temps annuelle, les conditions générales thermiques de la méditerranée sont observées, avec une thermocline à mi-profondeur, instable pendant le début de l'été et une thermocline de plus en plus profonde jusqu'à l'automne où elle disparaît brusquement sous l'effet d'un coup de vent d'ouest (figure 2).

Les courants montrent une variabilité encore plus importante. Il est à noter l'influence prépondérante des brises thermiques, en été et même en hiver, qui provoquent une rotation des courants pendant la journée, en dehors des périodes de vent fort. D'autre part, de fortes pointes de courant (45 cm/s), dirigées vers l'Ouest, ont été observées; elles suivent de quelques heures des périodes de mistral.

Un seul point de mesure étant disponible, il n'est pas possible d'avancer des interprétations à ces observations. Mais les différents points signalés plus haut permettent de connaître avec plus de précision les échelles de temps qui caractérisent la variabilité des phénomènes en zone très littorale.

La bande côtière est en effet le receptacle de la plupart des rejets urbains et ces informations sont fondamentales pour la compréhension et l'évaluation des dilutions des effluents pendant leur remontée en surface et pendant leur transport horizontal. (voir à ce sujet communication THOUVENIN - Modélisation d'un rejet urbain par émissaire en mer méditerranée).

FIGURE 1 : BASCULEMENT DE LA THERMOCLINE AVEC LES BRISSES THERMIQUES

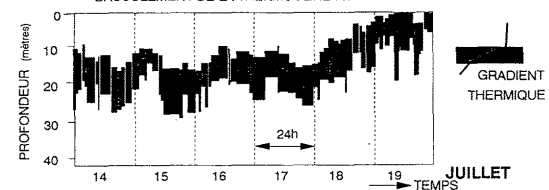
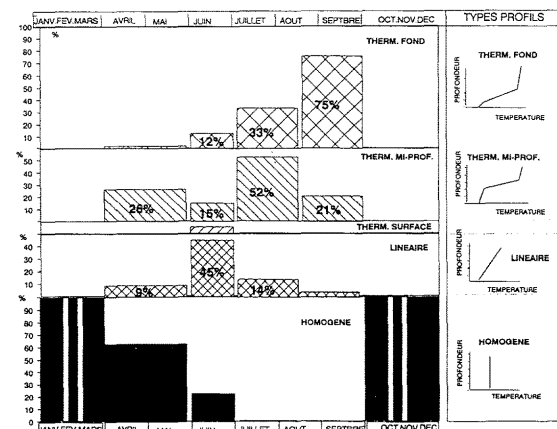


FIGURE 2 : FREQUENCE DES CAS TYPES DE THERMOCLINE



REFERENCES

THOUVENIN B., ROMANA L.A., LOARER R. & JOLY R., 1988.- Cycle annuel de mesures physiques dans le milieu récepteur marin. Mouillage T0 dans la grande rade de Toulon IFREMER DERO-88-01-EM.
 RAMADE A., 1991.- Identification d'états types de courants et de stratification dans la grande rade de Toulon. Analyse fréquentielle. A paraître.