

"EVALUATION DU TAUX DE DISPARITION D'UN POLLUANT SOLUBLE OU D'UN TRACEUR DANS UN ESTUAIRE SANS COURANT DE MAREE".

Georges LAPICQUE, Centre des Faibles Radioactivités,  
Gif-sur-Yvette (France).

Sommaire. Un modèle algébrique à deux dimensions permet de calculer le taux de disparition d'un polluant véhiculé vers le large à vitesse connue par un fleuve, à partir d'un réseau d'isohalines et de courbes d'isoconcentrations.

Summary. A mathematical model, yields the rate of disappearance in the sea of a soluble pollutant carried by a river. This factor is obtained after computing a set of simultaneous isohalines and pollutant iso-concentration curves. Current off the river mouth (where no tide is assumed) and plume width must be measured.

-----  
INTRODUCTION. Nous présentons ici un modèle permettant l'évaluation, à partir de quelques données expérimentales, du taux de disparition en mer d'un polluant d'origine fluviale, rejeté par un fleuve en l'absence de marée. Ce taux, variable, important pour de nombreuses études est généralement négligé dans les solutions proposées.

DONNEES IMMEDIATES. Comme noté déjà par DARWIN l'extension marine d'un fleuve est reconnaissable visuellement, les particules véhiculées servant de traceur. L'eau fluviale flotte sur la mer plus dense, tout en étant guidée à l'intérieur de frontières latérales très nettes que nous appelons "berges liquides", et qui sont liées à l'organisation d'un système de courants. Le plus fréquemment, le polluant se trouve fixé en majeure partie sur de fines particules ( $\ll 20\mu$ ) imbriquées dans la masse d'eau fluviale. Cependant, le contact avec une grande surface d'eau de mer est susceptible d'entraîner une brusque modification de l'état physico-chimique, variable d'un polluant à l'autre, avec disparition rapide (principalement par sédimentation). Les polluants radio-actifs se distinguent uniquement des isotopes stables s'ils ne sont pas rejetés dans le même état physico-chimique ou si leur période est courte par rapport à l'échelle de temps étudiée ( $\approx 24h$ ).

PARAMETRES PHYSIQUES. La vitesse de transport ( $V$ ), supposée due au seul fleuve est sensiblement constante (ordre du m/s), le glissement ayant lieu pratiquement sans frottement. A ce mouvement est associée une diffusion turbulente horizontale ( $D_H$ ) qui ne peut pas être négligée quoiqu'elle corresponde à une vitesse

( $V_D$ ) inférieur de deux ordres de grandeur à "V". De nombreuses mesures ont montré que  $D_H$  croît linéairement avec le temps de diffusion  $t$  ( $V_D$  étant constant). Quant au taux de disparition inconnu,  $k$ , il est à priori justifiable d'une relation classique de proportionnalité à la concentration ( $\frac{\partial C}{\partial t} = -kC$ )

MESURES PREALABLES. Il est indispensable de disposer de mesures simultanées sur le fluide porteur, le traceur et les frontières de l'extension : Réseau de surface d'isohalines, d'iso-concentrations, courant, et largeur des berges liquides (par relevés classiques ou photographie aérienne).

FORMULATION. L'équation de diffusion classique à l'état stationnaire avec concentration  $C(x,y)$  taux de disparition  $k$  ; transport  $V(x)$  et diffusivité horizontale ( $D_x, D_y$ ) entre les deux berges liquides distantes de "2a" ( $0 \leq x \leq 2a$ ) a pour solution le long de l'axe Ox (pour  $D_x \approx D_y$ ) :

$$\frac{C}{C_0} = \exp \frac{1}{2} \left[ \frac{V}{D_x} - \sqrt{\left(\frac{V}{D_x}\right)^2 + \frac{\pi^2}{a^2} + 4 \frac{k}{D_x}} \right] x$$

où  $V$  et  $D_x$  sont supposés constants (l'inexactitude de cette seconde hypothèse étant difficile à chiffrer) et où  $a$  peut éventuellement être rattachée au débit " $\Phi$ " et à la hauteur "h" de l'extension marine ( $a = \Phi : Vh$ ). Indiquons que "a" est mesurée au point de plus grande largeur du panache (point 0) et que sa constance est compatible avec la forme des isohalines.

UTILISATION. Le réseau d'isohalines permet de définir une "co-salinité" (1-s), de valeurs  $C_0$  au voisinage du point 0 et  $C_1$  au voisinage de l'extrémité vers la mer. Si  $\gamma_1 = C_0/C_1$   $x_1$  la distance correspondante, et  $u = V/D_x$ , le modèle donne pour  $k = 0$  (fluide porteur) :

$$u = \frac{1}{2} \left( \frac{\pi^2}{a^2} - B_1 \right) \text{ où } B_1 = \frac{2 \text{Log } \gamma_1}{x_1} \text{ est connu, ainsi}$$

que "a". D'où  $u$  et  $D_x = V/u$ . Le réseau d'iso-concentration du polluant permet, de même, de connaître  $B_2 = \frac{2 \text{Log } \gamma_2}{x_2}$

où  $\gamma_2 = \frac{C_0}{C_2}$  se réfère au polluant. D'où, par application du modèle :

$$k = \frac{D_x}{4} \left[ \left( \frac{B_2 + u}{a} \right)^2 - \left( u^2 + \frac{\pi^2}{a^2} \right) \right]$$

APPLICATIONS. Ce modèle, d'utilisation essentiellement locale, peut être grossièrement testé de par le fait qu'il fournit également  $D_x$ , paramètre ayant fait l'objet de nombreuses publications. Il suppose une constance rigoureuse de l'immersion des échantillons comparés.

ADDENDUM. Pour une même valeur  $x$  de  $x_1$  et  $x_2$  c'est-à-dire pour 2 points de mesure seulement il est possible d'obtenir une expression intéressante de "k" par élimination des paramètres U et D, soit :

$$k = \frac{v}{sc} \log \frac{\gamma_2}{\gamma_1} \left[ \frac{(\pi sc : 2a)^2 - \log \gamma_1 \log \gamma_2}{(\pi sc : 2a)^2 - (\log \gamma_1)^2} \right]$$

qui se réduit à la valeur très simple :

$$k = \frac{v}{sc} \log \frac{\gamma_2}{\gamma_1} = \frac{1}{t} \log \frac{\gamma_2}{\gamma_1} \quad (t \text{ étant le temps}$$

de trajet du fluide entre les 2 points de mesure) à condition que les termes du second degré en  $\log \gamma_1$  et  $\log \gamma_2$  soient négligeables devant la quantité  $(\pi \frac{x}{2a})^2$ . Cette condition de simplicité traduit une limitation de la dilution maximale (en échelle Log) devant l'allongement du panache ( $X : 2a$ ), lié au rapport entre le courant de transport et la vitesse de diffusion. Ceci est toujours réalisé en ce qui concerne la pénétration de l'eau douce dans l'eau de mer [variation de concentration de l'ordre de 35/1000 soit  $\log \gamma_1 =$

$$\log \frac{1000}{965} = 0,0356 \ll \left( \pi \frac{x}{2a} \right)^2 \text{ et pratiquement aussi pour le polluant } \log \gamma_2 \ll \left( \pi \frac{x}{2a} \right)^2 \cdot \frac{1}{\log \gamma_1} ]$$

L'expression trouvée peut s'écrire :

$$k = \frac{1}{t} \log \left[ \frac{C_0 \text{ polluant}}{C_x \text{ polluant}} \cdot \frac{C_x(\text{porteur})}{C_0(\text{porteur})} \right]$$

Elle est bien de la forme intégrale de l'équation différentielle de définition de k et indique qu'un terme correctif (toujours valable pratiquement) permet de tenir compte de la variation de concentration du fluide porteur entre les 2 points de mesure. L'expression ne dépend pas formellement des paramètres de transport et de diffusion, qui interviennent par l'intermédiaire des concentrations.

LAPICQUE, G.

*"Evaluation du taux de disparition d'un polluant soluble ou d'un traceur dans un estuaire sans courant de marée"*

Paper presented by G. Lopicque (France)

### Discussion

C.N. MURRAY: Comment

I believe that there is a great deal of information on the Var river in the Bay des Ahges Nice which could well be used to do an initial testing of your model. The results would be most useful in checking the applicability for other types of pollutants.

G. LAPICQUE: Were it only for this remark, our meeting would have proved very useful indeed. I am at your disposal for further work with your laboratories either for the use of existing data or for new measurement campaigns.

A. AVOGADRO: Dans quelle mesure ce modèle mathématique tient-il compte des interactions polluant/mat. suspendue? Le profil de concentration n'est il pas aussi fonction de cette sédimentation?

G. LAPICQUE: Vous avez raison de poser cette question: je n'ai pas assez indiqué que le modèle ne s'applique pas à la zone rapprochée qui suit immédiatement l'embouchure et où se produisent toutes sortes d'effets de turbulence et de sédimentation des grosses particules. La zone considérée, qui est la zone principale, se situe à partir de la partie élargie du panache, où on doit avoir un écoulement relativement tranquille de particules fines, ayant tendance à disparaître principalement aux interfaces. De toute façon l'étude des séchements proches de l'embouchure doit permettre de savoir le sort des grosses particules, et servir de complément à la zone étudiée par nous.