



PRÉSENTATION D'UN MODÈLE MATHÉMATIQUE DE LA PROPAGATION D'UN FRONT DE POLLUTION DANS UNE NAPPE D'EAU SOUTERRAINE

par J.-P. SAUTY

Ingénieur au Bureau de Recherches Géologiques et Minières

1. — Principe du modèle

Le but de ce modèle est de simuler la propagation d'un front de pollution dans une nappe, c'est-à-dire le déplacement et les déformations au cours du temps d'une ligne de séparation entre les eaux saines et les eaux polluées, sous réserve de validité des hypothèses suivantes :

a) Les phénomènes de dispersion sont négligeables; cela implique entre autre que le milieu poreux est localement homogène pour limiter les phénomènes de digitation;

b) La diffusion moléculaire n'intervient pas, ce qui est

le cas lorsque le mouvement de l'eau est suffisamment rapide (nombre de Péclet élevé);

c) Le polluant n'est pas fixé par le milieu poreux;

d) Le champ des vitesses n'est pas perturbé par l'avancée du front, ce qui signifie que la pollution ne modifie pas les caractéristiques hydrodynamiques de l'eau (viscosité, densité, propriétés capillaires).

Le programme restitue les lignes de courant correspondant à un écoulement stabilisé pour lequel les niveaux piézométriques ont été, soit observés *in situ*, soit reconstitués à l'aide d'un modèle permanent classique en nappe libre ou captive, homogène ou non. Les vitesses de déplacement des particules sur ces trajectoires permettent de situer la position du front à des instants successifs.

2. — Exemples

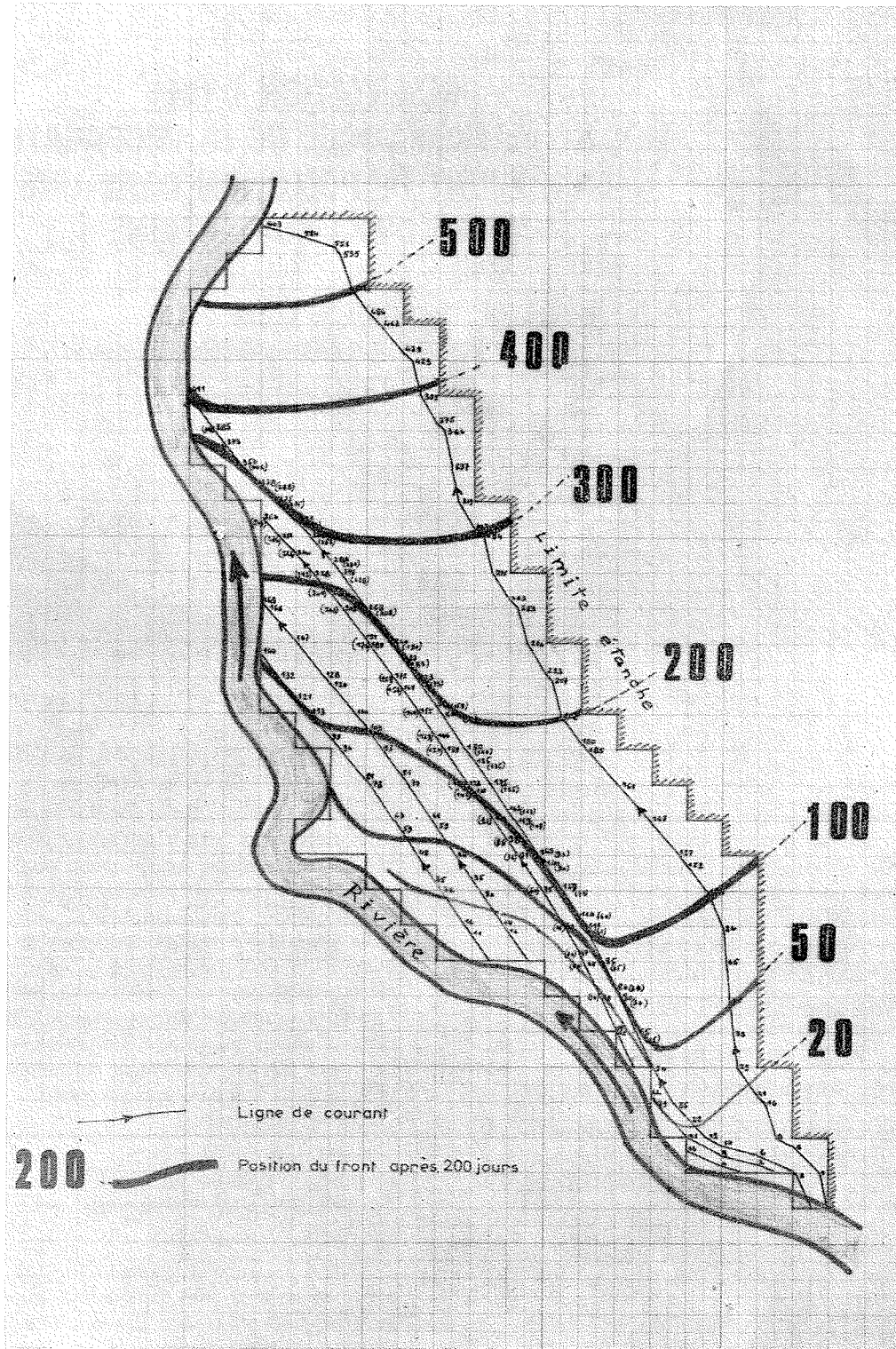
Les trois essais présentés ici concernent des états de nappe permanents, reconstitués à l'aide d'un modèle.

2.1. — Le premier exemple (fig. 1) montre une nappe alluviale peu exploitée, telle qu'elle se présente dans son état naturel. Cette nappe est comprise entre une limite étanche et une limite à potentiel imposé (rivière); cette dernière régit les écoulements dans l'aquifère par alimentation à l'amont et drainage à l'aval.

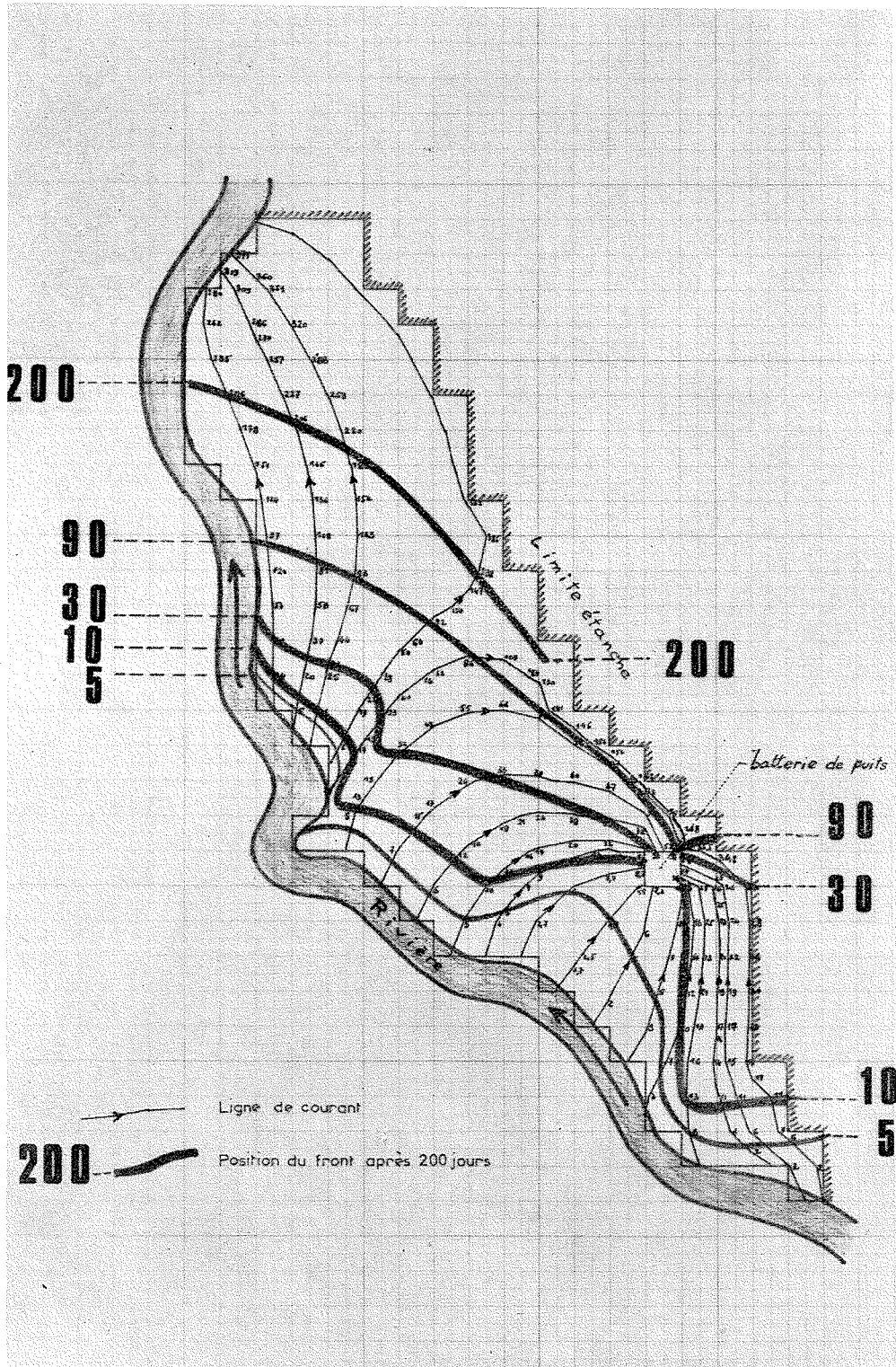
Dans l'éventualité d'une pollution du cours d'eau et sous réserve de validité des hypothèses énoncées au premier paragraphe, les courbes tracées sur la figure 1

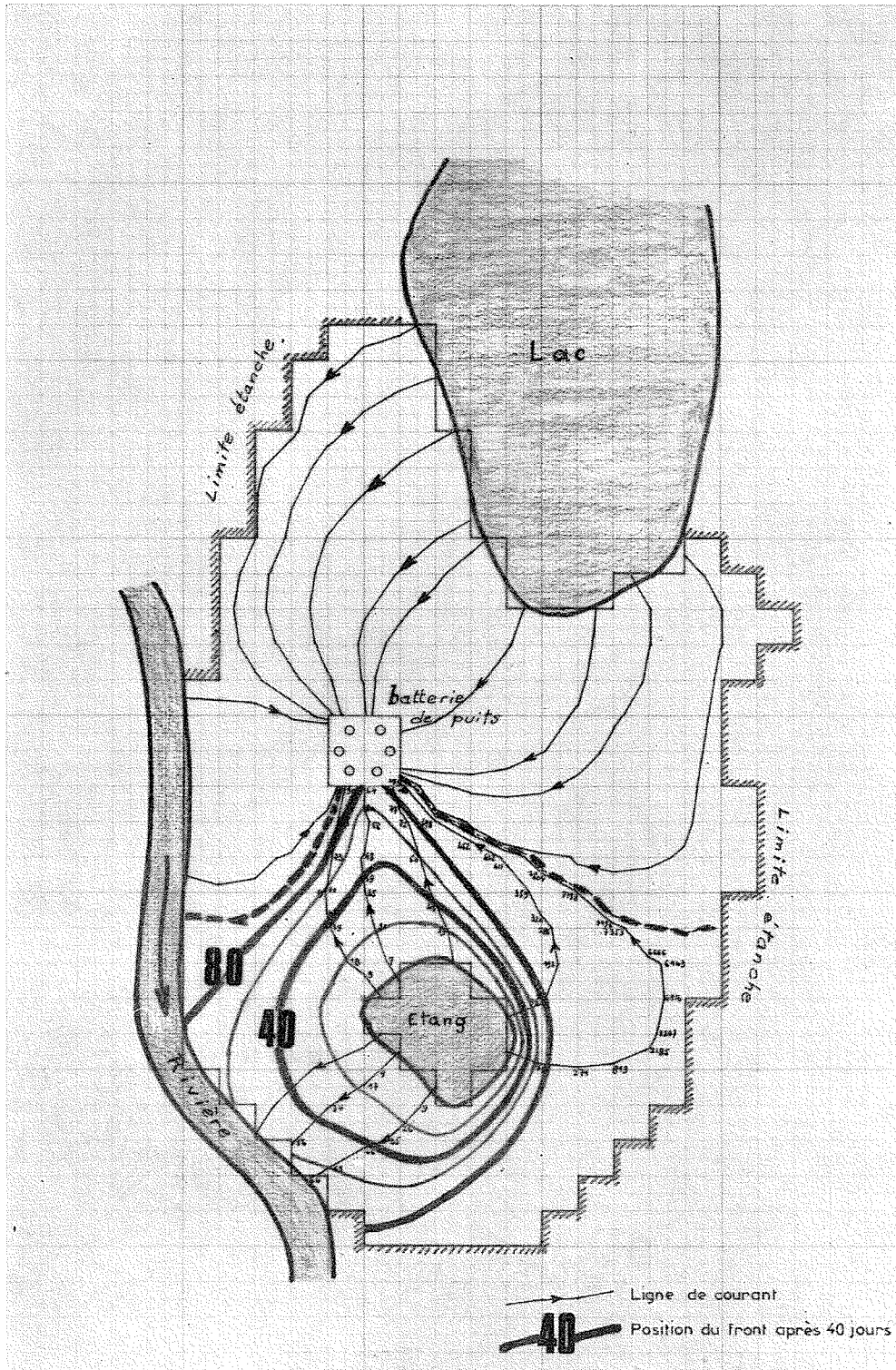
traduisent l'avancée du front au sein de l'aquifère 20, 50, 100, 200, 300 et 400 jours après le début de la pollution.

2.2. — Le second exemple (fig. 2) présente la même nappe soumise à une exploitation intensive par une batterie de puits d'exhaure pendant une durée suffisamment longue pour qu'au moment où survient la pollution, l'écoulement soit stabilisé. La répartition des vitesses restituée par le modèle hydrodynamique est modifiée de façon très sensible par rapport à celle du premier exemple. On voit que le front de pollution atteint la zone de captage dès le huitième jour; cependant les débits extraits du puits ne sont pollués dans leur totalité qu'après un délai d'une centaine de jours environ.



1/





3/

2.3. — La nappe représentée sur la figure 3 est alimentée au nord par un lac, et bordée au sud-ouest par une rivière qui alimente la nappe dans la zone amont et la draine dans la partie aval; par ailleurs, au sein du modèle, une batterie de puits rabat fortement les niveaux et plus au sud une petite étendue d'eau est maintenue artificiellement à niveau constant.

On a supposé qu'à partir d'une certaine date ce dernier plan d'eau est pollué. La figure 3 montre la progression du front qui va atteindre la batterie de puits d'un côté et la rivière de l'autre.

3. — Applications

L'estimation donnée par ce modèle de l'avancée du front de pollution indique les délais dont on peut disposer pour mettre en œuvre les mesures de protection de la nappe.

En considérant à des instants successifs les débits alimentant un puits et en provenance, d'une part de la zone atteinte par le front, et d'autre part de la zone non encore polluée, on obtient une estimation de l'évolution de la teneur des exhaures en polluant. C'est ainsi que l'examen de la figure 2 montre une teneur nulle au cours de la première semaine, 40 % après une dizaine de jours, 100 % au bout d'une centaine de jours.

Des considérations semblables peuvent être appliquées à une pollution limitée dans l'espace et le temps, telle qu'elle se produirait si la rivière de la figure 2 ne subissait une contamination que sur la portion aval de la zone d'alimentation de la nappe et ce, pendant quelques jours seulement. L'étude de la provenance des débits pompés conduit à une courbe passant par un maximum; il est à remarquer que les hypothèses simplificatrices adoptées conduisent à une

évaluation pessimiste (donc dans le sens de la sécurité), de la teneur maximale en polluant. En effet, les phénomènes qui n'ont pas été pris en compte (diffusion, dispersion cinématique, fixation par le terrain) concourent pour étaler les courbes de concentration.

L'outil présenté ici n'est que l'ébauche d'un modèle plus complet en cours de réalisation et dont le champ d'application sera agrandi par les extensions suivantes :

- un calcul auxiliaire d'étalement du front par dispersion cinématique longitudinale (évaluation par des formules semi-empiriques);
- un bilan-matière prenant en compte la dilution consécutive à des apports en eau douce (infiltration des pluies);
- une version de ces calculs en régime transitoire dans laquelle seront prises en compte les variations possibles des conditions aux limites (fluctuation des niveaux et débits) et des caractéristiques hydrodynamiques au cours de l'avancée du front dues à la modification des propriétés physiques du liquide.

4. — Conclusions

L'intérêt pratique de ce procédé de calcul réside dans sa simplicité. Chaque fois que les hypothèses énoncées ci-dessus sont acceptables, une intervention rapide et peu onéreuse devient possible pour évaluer l'ordre de grandeur de la rapidité des phénomènes.

Les modèles traitant le problème dans sa généralité (avec dispersion et diffusion) sont beaucoup plus séduisants d'un point de vue scientifique mais présentent l'inconvénient de faire intervenir des paramètres (tels que le tenseur de dispersion) dont les valeurs réelles sont généralement inconnues.

