

Utilisation d'un modèle global pour identifier sur un niveau piézométrique des influences multiples dues à diverses activités humaines

D. THIERY

Bureau de Recherches Géologiques et Minières Service Géologique National, Département Eau, Orléans, France

RESUME Ce papier montre sur un exemple réel comment il est possible d'étudier une grandeur hydrologique influencée simultanément par des phénomènes naturels (pluie) et par des influences humaines (captages). On montre que dans les cas complexes et mal connus il n'est pas possible d'appliquer un modèle conceptuel classique tenant compte simultanément de toutes les influences. Par contre il est facile d'utiliser un modèle global à entrées multiples pour résoudre efficacement les problèmes linéaires.

INTRODUCTION

Il arrive assez souvent en hydrologie ou en hydrogéologie qu'on soit confronté à des grandeurs influencées à la fois par des phénomènes naturels (précipitations) et par des activités humaines (captages, barrages etc ..). Il est alors très difficile d'étudier les phénomènes naturels comme la relation pluie-débit de rivière ou au contraire de déterminer les conséquences d'une influence humaine ou d'une expérience comme un pompage d'essai par exemple. Dans un certain nombre de cas, le problème est simplifié car il est possible d'isoler des périodes pendant lesquelles ne se produit qu'un seul phénomène: par exemple en l'absence de pompage il est possible d'étudier la relation pluie-debit et en l'absence de pluie on pourra interpréter une expérience.

Cependant d'une part ces conditions idéales ne se présentent pas très fréquemment surtout quand on réalise une expérience de longue durée, d'autre part on n'est jamais assuré qu'un phénomène - naturel ou humain ne provoque pas d'interactions qui se poursuivent beaucoup plus longtemps qu'on le pense et que les grandeurs à étudier soient toujours influencées. Il faut alors prendre en compte simultanément toutes les influences - naturelles et humaines - dans un même modèle.

Le texte qui suit présente un exemple dans lequel le niveau dans un puits est influencé:

- par le débit pompé dans ce puits
- par les débits pompés dans 4 puits voisins appartenant au même champ captant (situés à quelques centaines de mètres),
- par les précipitations
- par les variations de niveau d'une rivière proche,
- par le débit prélevé dans un nouveau forage géothermique situé à environ 2, 5 kilomètres
- par 2 forages voisins non contrôlés dits "forages pirates".

La question posée consiste à séparer chaque influence et en particulier à déterminer l'influence du nouveau forage géothermique

Les méthodes de calcul

La méthode qui parait *a priori* la plus logique consiste à réaliser un modèle hydrodynamique, classique avec prise en compte des précipitations, des débits dans chaque forage, des variations de niveau de la rivière etc.... Cette méthode très lourde semble la plus rationnelle et la plus physique mais elle est tout a fait inapplicable pour les raisons suivantes

La région dans laquelle sont réalisés les forages a un contexte géologique extrêmement complexe et mal connu. Il est formé de couches sédimentaires plissées (Jurassique, Crétacé et Tertiaire) traversées par des dômes de sels qui affleurent parfois jusqu'à la surface. Il n'est donc pas question de réaliser un modèle hydrodynamique maillé car les différentes couches sont mal définies et leur continuité non assurée. Il faut remarquer qu'un tel modèle - même s'il était réalisable - serait peu adapté au problème posé qui est de calculer des influences en un point bien précis et non de déterminer un niveau en chaque point pour en déduire une carte piézométrique.

A la place d'un tel modèle nous avons mis au point un modèle global multi-influences beaucoup plus léger et ne nécessitant pas de connaissances hydrogéologiques préalables.

Principe du modèle global utilisé

Nous avons postulé que chaque phénomène avait une influence LINEAIRE sur le niveau à analyser et pouvait être représenté par un Système Linéaire Invariant (S.L.I.). On sait qu'un Système Linéaire Invariant est caractérisé par une Réponse Impulsionnelle RI. La sortie Y du système est le produit de convolution (note *) de l'entrée X par la réponse impulsionnelle RI.

$$Y = X * RI$$

En fait comme il y a plusieurs influences simultanées, la grandeur Y à analyser est composée de la somme de chaque influence élémentaire Y_i multipliée par son coefficient d'amplitude a_i qui exprime en fait la part de chaque influence:

$$Y = \sum_i a_i Y_i + Y_0$$

$$Y = x_i * RI_i$$

Les coefficients a_i (et la constante Y_0) proviennent du fait que les réponses impulsionnelles RI sont unitaires (leur intégrale est égale à l'unité).

Le problème consiste donc à déterminer simultanément pour chaque influence sa Réponse Impulsionnelle ainsi que son coefficient d'amplitude de façon à simuler au mieux la grandeur Y sur toute sa période d'observation.

Vérification des hypothèses de linéarité

Il est évident que la relation pluie-niveau n'est pas linéaire mais il est possible de calculer une pluie efficace c'est-à-dire une pluie dont on déduit l'évapotranspiration réelle ETR. La relation pluie efficace-niveau est alors linéaire.

D'autre part la relation (débit dans le puits étudié) - (niveau dans le puits) n'est pas linéaire à cause des pertes de charges singulières qui dépendent du débit. Il est cependant possible en première approximation de considérer que la relation est à peu près linéaire dans la plage des débits observés.

La structure du modèle

La relation pluie-niveau peut être représentée par un modèle global simple à réservoirs faisant intervenir:

- une Réserve Facilement Utilisable (RFU) pour le calcul de la pluie efficace
- deux réservoirs dont l'un est caractérisé par le temps de transfert TT de la surface jusqu'à la nappe et l'autre par le temps de vidange TV de la nappe.

Le schéma de fonctionnement de ce modèle élémentaire est illustré sur la Fig. 1(a).

Les autres réponses impulsionnelles ont une formulation mathématique qui pourrait être exprimée analytiquement dans les cas idéaux d'une nappe homogène et d'extension infinie (formule de Theis pour un pompage et fonction erfc pour une variation de niveau dans un cours d'eau rectiligne). Cependant comme nous l'avons déjà expliqué le cas étudié n'est pas idéal. S'il n'y avait qu'une seule influence ou si chaque influence était indépendante on pourrait calculer séparément chaque influence par déconvolution. Les influences ne sont visiblement pas indépendantes; en particulier la pluie efficace et le niveau de la rivière auront des influences relativement corrélées. On a donc utilisé une autre méthode en postulant que chaque réponse impulsionnelle peut être représentée raisonnablement bien par deux paramètres:

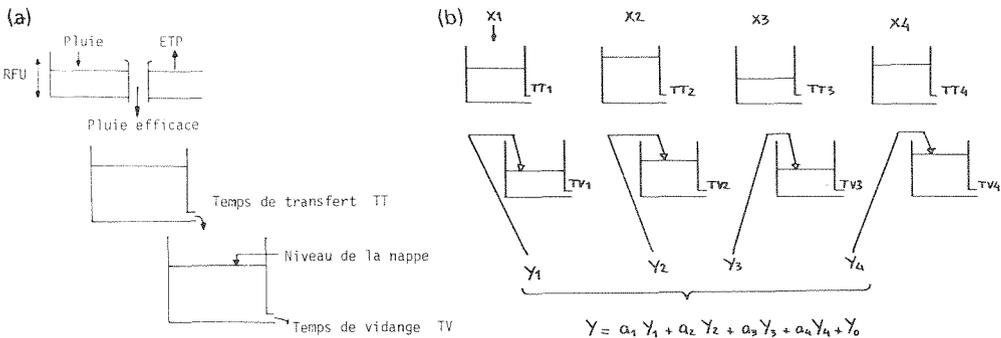


FIG. 1 (a) Schéma de fonctionnement du modèle; (b) Schéma global du modèle.

- un temps de montée (analogue au temps de transfert TT),
- un temps de redescente (analogue au temps de vidange TV).

Il faut donc déterminer pour chaque influence i deux paramètres TT_i et TV_i et en plus un paramètre RFU pour la pluie. D'autre part il faut également déterminer les coefficients d'amplitude a_i .

Le calage du modèle

Le calage du modèle consiste à déterminer tous les paramètres RFU, TT_i , TV_i , ainsi que les coefficients d'amplitude a_i et la constante Y_0 . A chaque date Y est donc calculé par une convolution des influences des dates précédentes par leurs réponses impulsionnelles propres. C'est donc une relation qui n'est pas directement linéaire. Pour déterminer les valeurs des paramètres qui permettent de reconstituer le mieux les valeurs observées de la grandeur Y on utilise une procédure d'optimisation automatique qui permet de maximiser un critère d'ajustement.

La méthode d'optimisation utilisée est la méthode de ROSEMBROCK, bien connue des hydrogéologues, avec laquelle on maximise le coefficient de corrélation multiple entre Y observé et Y calculé. La méthode de Rosembrock est en fait une méthode qui procède par tâtonnement à pas variable en fonction du succès rencontré. Les coefficients d'influence a_i (et la constante Y_0) sont donc calculés en même temps par regression multiple. Le schéma global du modèle est représenté sur la Fig.1(b).

Les influences prises en compte

Pour éviter de multiplier les paramètres et obtenir une relation stable on a regroupé certaines influences. Les influences retenues sont les suivantes:

- somme des débits des 4 forages du champ captant = X1
- débit du puit influencé étudié = X2
- débit du nouveau forage géothermique = X3
- niveau de la rivière = X4

On n'a pas utilisé directement la pluie efficace car après un premier essai il est apparu qu'elle avait une influence très corrélée avec le niveau de la rivière. Les données de pluies ont cependant été utilisées dans une première phase pour compléter des observations de niveau de la rivière absentes pendant une partie de la période d'observation.

Il convient de remarquer que l'influence des 2 forages dits "pirates" n'a pas été prise en compte car leur débits d'exploitation n'étaient pas connus (d'où leur nom).

La période d'observation de Y et des 4 influences X1 à X4 s'étend sur 8 mois d'octobre 1980 à mai 1981. Toutes ces données sont journalières. En particulier, pour les débits qui sont assez variables au cours de la journée on a utilisé une seule valeur prise à heure fixe ce qui introduit une erreur qui est relativement faible comme le montrera le calage qui est très bon.

Toutes les données sont représentées sur la Fig. 2. Cette figure fait apparaître l'influence du niveau de la rivière en particulier les crues de Décembre et Janvier sont assez visibles. L'influence

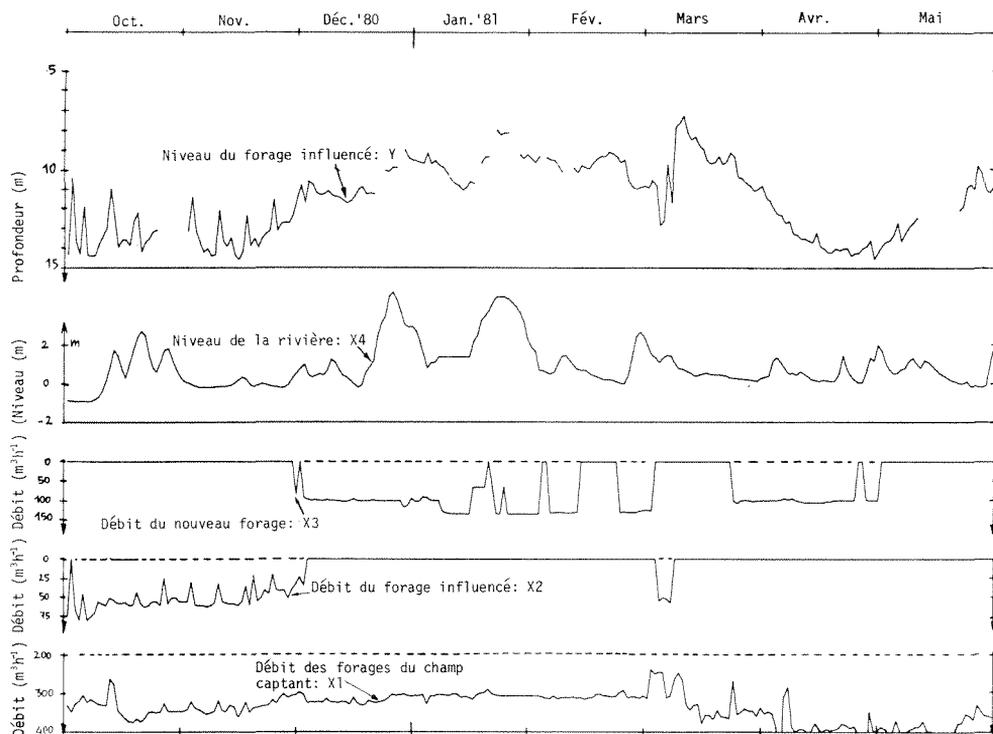


FIG. 2 Données observées.

de X2 est assez cachée à part le petit épisode de Mars; l'influence du nouveau forage X3 est elle aussi noyée au milieu des autres.

Les résultats

Le calage du modèle a permis de reproduire le niveau observé avec un coefficient de corrélation multiple de 0.969 ce qui est très

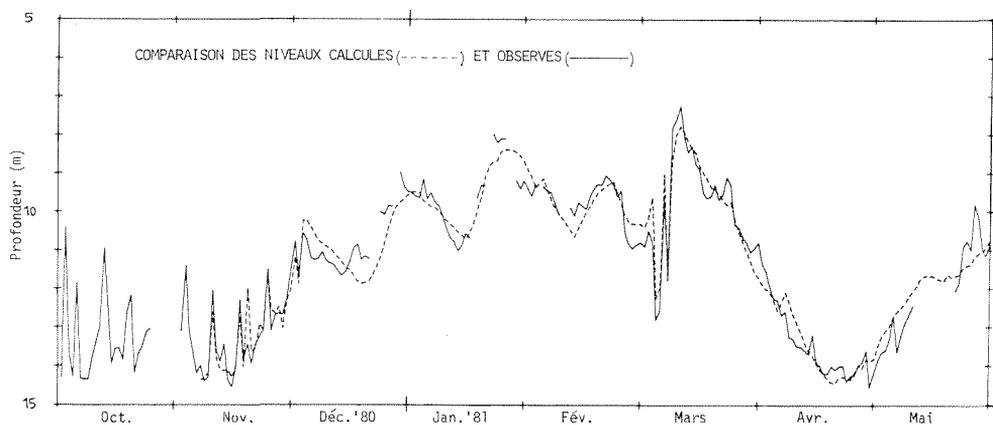


FIG. 3 Comparaison du niveau observé et calculé.

satisfaisant compte tenu:

- des pertes de charges,
- des forages "pirates",
- de la variation journalière des débits

La Fig. 3 montre que la comparaison du niveau Y observé (en trait continu) et calculé (en trait pointillé). Il apparaît ainsi que la simulation est correcte sur tout le domaine d'amplitude des niveaux.

Le modèle calé permet ainsi de calculer chaque réponse impulsionnelle et d'estimer l'importance de chaque influence caractérisée par son coefficient de corrélation partielle r_p et son coefficient d'amplitude. Les résultats sont les suivants:

<i>Influence</i>	<i>Coefficient de corrélation partielle</i>	<i>Coefficient d'influence</i>
<i>Débits du champ captant : X1</i>	<i>0.899</i>	<i>3.74m pour 100m³/h continu</i>
<i>Débit du puits influencé : X2</i>	<i>0.894</i>	<i>6.82m pour 100m³/h continu</i>
<i>Débit du nouveau forage : X3</i>	<i>0.863</i>	<i>3.02m pour 100m³/h continu</i>
<i>Niveau de la rivière : X4</i>	<i>0.781</i>	<i>1.16*m par metre de variation maintenue</i>

* On remarque un coefficient d'influence un peu supérieur à 1 mètre par mètre, pour la rivière. Cette différence peut être due aux précipitations qui font remonter le niveau piézométrique plus que le niveau de la rivière.

On voit ainsi que les influences sont très bien individualisées avec en particulier la réponse au problème posé : l'influence du nouveau forage X3 est de 3.02 mètres pour un débit continu de 100 m³/h et le coefficient de corrélation partielle de 0.863 montre que cette influence est très nette.

A titre d'illustration on représente sur la Fig. 4:

- l'influence du nouveau forage : X3 (Fig. 4(a))
- l'influence du niveau de la rivière : X4 (Fig. 4(b))

On voit que ces influences sont du même ordre de grandeur et varient 3 à 4 mètres pendant la période d'observation. Sur la Fig. 4(c) on a représenté simultanément:

- l'influence calculée du nouveau forage X3 (en trait pointillé)
- le niveau du puits influencé Y corrigé des trois autres influences X1, X2, X4 (en trait continu).

On voit que l'ajustement est très bon c'est-à-dire que l'influence restante est bien due à l'influence calculée du nouveau forage X3.

CONCLUSION

Il est possible au moyen d'un modèle global de comportement d'étudier

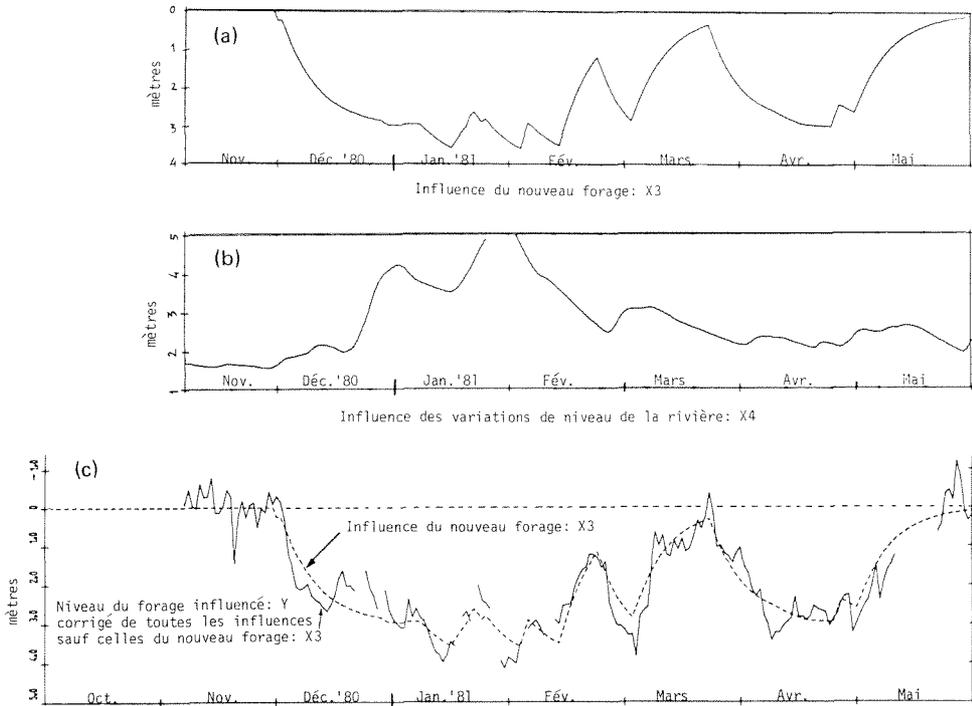


FIG. 4(a) l'influence du nouveau forage, (b) l'influence du niveau de la rivière, (c) l'influence calculée du nouveau.

une grandeur perturbée simultanément par des phénomènes naturels et des phénomènes artificiels. Un tel modèle est très souple d'emploi et est particulièrement adapté aux cas pour lesquels les relations bien que linéaires sont très complexes et mal connues et donc pour lesquels un modèle classique conceptuel plus orthodoxe ne pourrait pas être appliqué.

