

## Exercice n° HA 0601 - Corrigé

### Modélisation conceptuelle continue : estimation des paramètres du modèle ABC – Application à un bassin versant de régime hydrologique pluvial

#### Données de l'exercice :

L'exercice consiste à caler et valider les paramètres du modèle ABC pour le bassin versant considéré. Vous disposez pour cela de séries annuelles de données de pluies et de débits journaliers observés. Ces données sont regroupées dans le fichier « HA0601\_donnees.xls ». Un corrigé est aussi disponible dans le fichier Excel « HA0601\_corrige.xls ». Ce corrigé est un exemple de ce qu'il est possible de faire mais absolument pas la seule solution. D'autres démarches et d'autres outils peuvent être utilisés.

#### Question. Estimation des paramètres $S_0$ , $a$ , $b$ , $c$ du modèle ABC

##### ☉ Méthode à appliquer : Calage des paramètres à partir des observations pluie/débit

Dans le cas des modèles conceptuels, comme le modèle ABC, la seule possibilité d'attribuer une valeur aux paramètres consiste à les estimer à partir d'observations pluie/débit. Dans ce cas, la procédure, dite de calage des paramètres (syn. calibration du modèle, ajustement du modèle) vise à obtenir, par une « optimisation mathématique », le meilleur accord possible entre les résultats du modèle et les données observées, c'est à dire, à trouver les valeurs des paramètres du modèle qui minimisent l'erreur de modélisation.

La première étape du calage consiste en une sélection d'événements pluie/débit parmi ceux à disposition, et la deuxième consiste en l'estimation des paramètres proprement dite pour laquelle il est possible d'utiliser différentes approches (ajustement « manuel », calage successifs avec utilisation de fonctions-objectifs, ou mieux encore algorithme de Metropolis). L'utilisation de critères de calage comme le critère de Nash ou encore la somme des carrés des erreurs est courante. Le choix d'un ou plusieurs critères est subordonné à l'objectif fixé (simulation du débit de pointe, de l'allure générale de l'hydrogramme, des étiages, etc.). Dans cet exercice, nous présentons une méthode de calage qui est bien adaptée aux modèles conceptuels simples, comme le modèle ABC.

Par la suite, une procédure de validation doit être menée afin de juger des performances du modèle lorsqu'il est utilisé avec des données qui n'ont pas servi à son calage.

##### ☉ Démarche et Résultats :

**Étape 1. Choix des événements de calage.** Dans cet exercice, il s'agit uniquement de caler le modèle sur l'année de mesures journalières de pluies et de débits.

*Remarque : dans le cas de la simulation en continue et si l'on avait  $n$  années d'observations, un choix des événements pourrait être simplement : sur les  $n$  années existantes, on en prendrait la première moitié environ pour estimer les paramètres et la seconde pour la validation.*

**Étape 2. Construction du modèle ABC.** (cf. équations dans l'énoncé).

**Étape 3. Choix des critères de calage.** On propose de calculer le critère de Nash sur l'ensemble de la période de calage. Il est bien sûr possible d'utiliser d'autres critères notamment pour caractériser les étiages.

#### Etape 4. Procédure de calage.

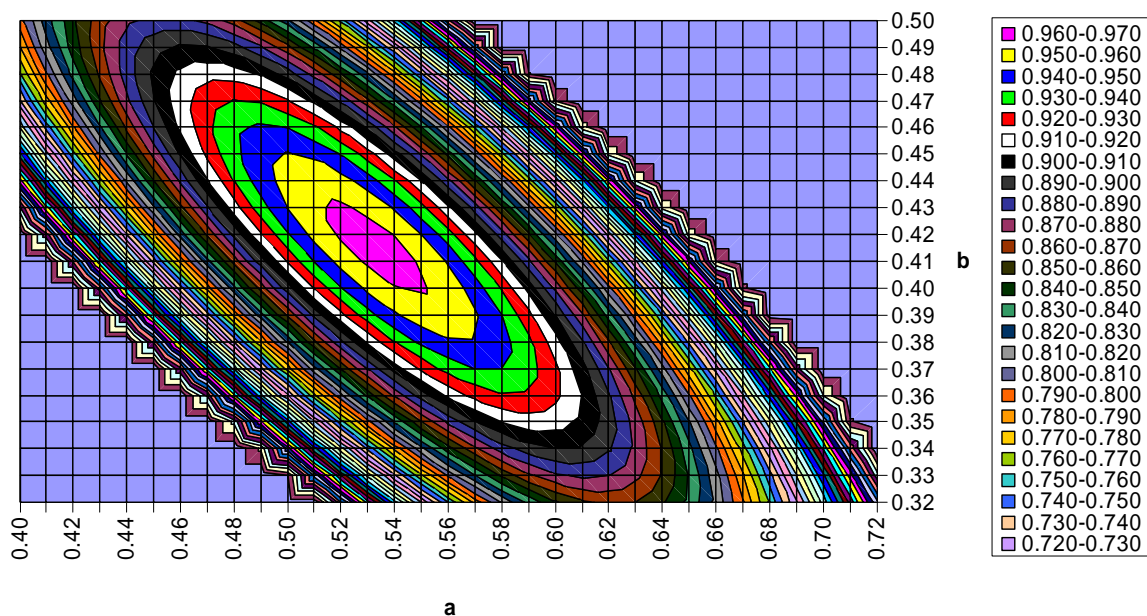
Le modèle ABC comprend une équation à un paramètre réglant l'écoulement provenant de la réserve souterraine (le coefficient  $c$ ) et une équation à deux paramètres réglant l'écoulement rapide de surface (les coefficients  $a$  et  $b$ ). Une des démarches possibles est alors d'effectuer un calage en deux temps :

- Dans une première étape, on peut fixer arbitrairement les paramètres  $a$  et  $b$  puis ajuster « manuellement » le paramètre  $c$  de façon à obtenir un débit de base vraisemblable. Il faut encore adopter une valeur pour le stock initial  $S_0$  (cette valeur influence la mise en route du modèle, c.a.d., les simulations des premiers pas de temps).

La procédure qui a été choisie ici est la suivante : on a fixé  $S_0=0$  et  $a=b=0.5$  (ceci exprime qu'il n'y a pas d'écoulement de surface). Les premiers essais de calage ont conduit à adopter une valeur de  $c$  de 0.15 puis une valeur de  $S_0$  de 40 mm. En fixant ces paramètres l'adéquation entre les courbes simulée et observée est déjà visiblement très bonne (observation de l'allure des courbes). Le critère de Nash est 0.81. Ceci donne une première indication sur la plage de valeur des paramètres  $a$  et  $b$  (proche de 0.5)<sup>1</sup>.

- Dans une seconde phase, les deux paramètres réglant la part de l'écoulement de surface sont estimés. Là encore, plusieurs méthodes peuvent être envisagées pour ajuster les valeurs de  $a$  et  $b$ . La manière la plus simple de caler ces paramètres consiste à les optimiser en les faisant varier de manière indépendante, puis en calculant le critère de Nash pour chaque couple  $(a, b)$  possible.

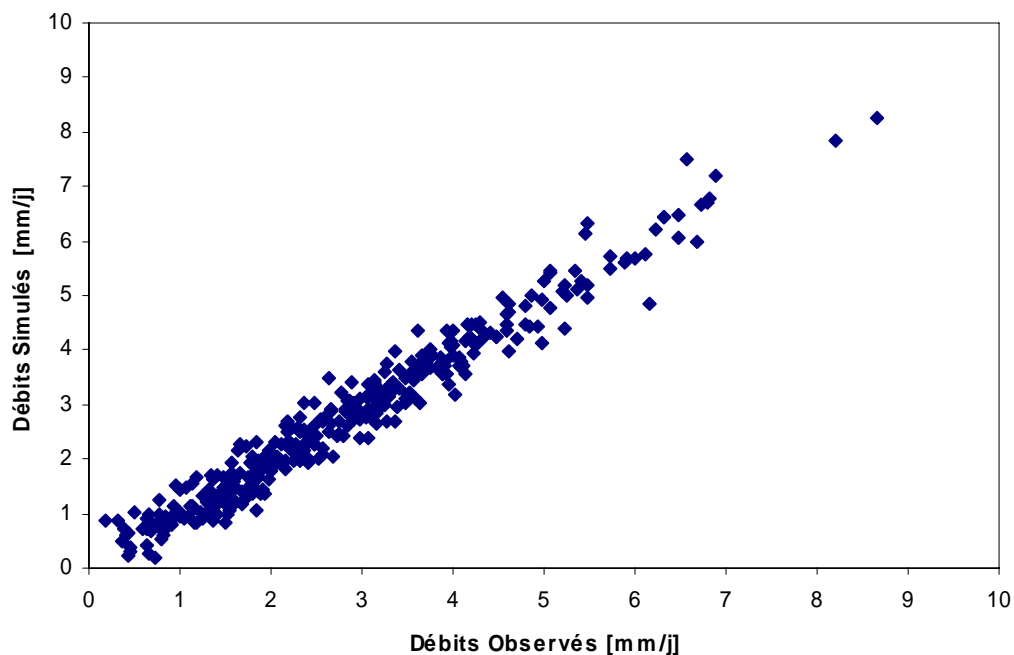
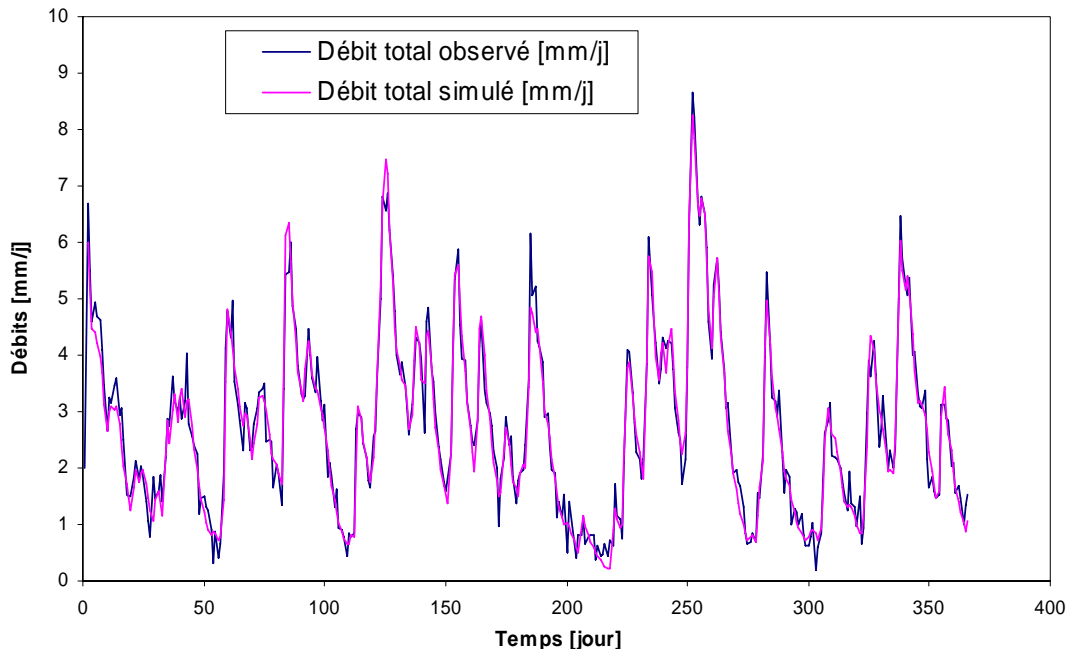
Pour la série pluie/débit considérée, il est ainsi possible de faire varier la valeur de  $a$ , respectivement celle de  $b$ , dans un intervalle donné (0-1) puis de calculer pour chaque couple  $(a, b)$  la valeur de la fonction-critère. Dès lors il est possible de représenter des surfaces d'iso-valeur de la fonction-critère ou surfaces de réponse comme proposé dans la figure ci-dessous (un programme simple en visual basic disponible sur le fichier Excel « HA0601\_corrige.xls » a permis de faire varier  $a$  et  $b$  et de construire cette figure). Celle-ci montre que l'analyse de sensibilité de la fonction-critère par rapport aux variations des paramètres du modèle permet de considérer non plus une valeur optimale des paramètres, mais un intervalle dans lequel leur combinaison donne des simulations « acceptables ».



<sup>1</sup> N'oubliez pas que le bassin étudié est un système théorique. Pour un système naturel, un modèle ultra simplifié comme le modèle ABC ne pourrait pas être calé aussi facilement, voir pas du tout !

Finalement les valeurs suivantes peuvent être retenues :  $S_0 = 40$  mm,  $a = 0.53$ ,  $b = 0.42$  et  $c = 0.15$ , (valeur du critère de Nash de 0.95). Les figures ci-dessous présente respectivement l'allure des courbes des débits simulés et des débits observés, ainsi que les débits simulés versus les débits observés.

*Remarque : Il est aussi possible d'utiliser simplement le solveur de Excel pour avoir un jeu de paramètres optimaux.*



**Remarques :**

La solution trouvée est très bonne mais rien ne garantit que ce soit la meilleure. En hydrologie, le problème d'équifinalité est souvent rencontré. C'est à dire qu'il y a plusieurs jeux de paramètres (pouvant être très différents) qui donnent des solutions de même qualité (cf. large surface de réponse avec  $Nash > 0.9$ ). Ceci est dû au choix d'un modèle conceptuel pour modéliser le bassin versant : il n'y pas de vraies valeurs puisque les composantes du modèle ne représentent pas une réalité physique. Le choix du jeu de paramètres à retenir peut être motivé par d'autres considérations que les critères utilisés pour la calibration.