

Exercice n° HA 1005 - Corrigé

Modélisation conceptuelle continue : le modèle ABC – Application à un bassin versant d'altitude de régime hydrologique pluvio-nival

Données de l'exercice :

L'exercice consiste à caler et valider les paramètres du modèle ABC couplé à un modèle de fonte pour le bassin versant considéré. Vous disposez pour cela en plus des séries annuelles de données de précipitations et de débits journaliers observés à l'exutoire du bassin versant, d'une série de températures moyennes journalières. Ces données sont regroupées dans le fichier « HA1005_donnees.xls ». Un corrigé est aussi disponible dans le fichier Excel « HA1005_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 1. Construction du modèle de fonte et d'accumulation

⊙ Méthode à appliquer : séparation pluie/neige et méthode empirique des degrés-jours

La séparation des précipitations en pluie ou en neige en haute montagne est une information importante pour l'utilisation des modèles pluie-débits impliquant la fonte de neige. La méthode la plus simple est de prendre une température seuil au-dessous de laquelle les précipitations sont solides. La température à la surface du sol et un seuil égale à 0°C sont généralement utilisés. D'autres critères sont parfois employés en combinaison avec la température de surface pour déterminer l'occurrence de neige ou pluie, comme les températures des niveaux supérieurs de l'atmosphère ou l'altitude de l'isotherme 0°C.

Pour prendre en compte le phénomène de fonte dans les modèles pluie-débit, la méthode relativement simple des degrés-jours (ou d'indice de température) est souvent employée dans les modules « neige » des modèles. Originaire des Etats-Unis (US Army Corps of Engineers, 1956), cette méthode présente l'avantage d'utiliser des données météorologiques généralement accessibles. Elle repose sur une équation extrêmement simple :

$$F_i = k \cdot (T_i - T_0) \text{ avec :}$$

- F_i : hauteur d'eau de fonte sur i jour en mm,
- k : coefficient exprimant l'influence des conditions naturelles et climatiques du bassin (excepté la température) sur la fonte de la neige. k est le facteur de fonte ou facteur degré/jour en mm par degré Celsius.
- T_i : température de l'atmosphère en °C. T_i est parfois la température moyenne, parfois la température maximale du jour.
- T_0 : température seuil au-dessus de laquelle la fonte se produit en °C. T_0 n'est pas nécessairement fixé à 0° C et ne correspond pas forcément à la température de seuil pluie/neige utilisée pour la séparation pluie/neige.

Malgré sa simplicité, cette méthode donne de bons résultats si elle est couplée à un modèle hydrologique de transformation pluie équivalente/débit. Elle est aussi encore l'objet de discussions considérables notamment du fait de l'évolution du couvert neigeux et de la variabilité spatiale et temporelle du facteur de fonte k .

⊙ Démarche et résultats

Le figure suivante présente la schématisation adoptée. On suppose ici que la température du seuil pluie/neige et la même que la température seuil au-dessus de laquelle la fonte se produit, et est égale à 0°C. On considère également que le facteur de fonte est constant durant toute la saison bien que cela soit peu probable vu la variabilité de l'albédo au cours de l'année.

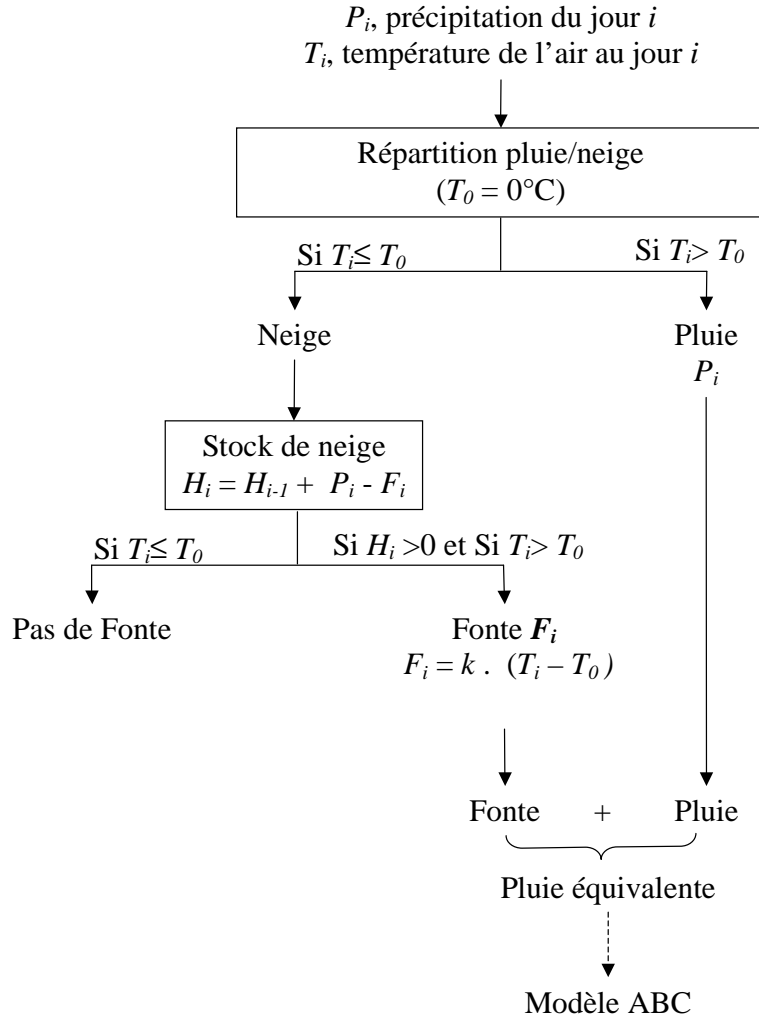


Figure 1. Schéma de modélisation de la fonte de la neige

En résumé, le modèle de fonte e d'accumulation présente un seul paramètre inconnu à caler : le facteur degré-jour k .

Question 2. Estimation des paramètres S_0 , a , b , c du modèle ABC et k du modèle de fonte

⊙ 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 par « essais manuels » successifs, procédure d'optimisation automatique...). 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 :

Etape 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.

Etape 2. Construction du modèle ABC et du modèle de fonte. (cf. équations dans l'énoncé + question 1).

Etape 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 final est composé de deux « modules ». Plusieurs méthodes peuvent être envisagées pour ajuster les paramètres. Une des démarches possibles est alors d'effectuer un calage en deux temps :

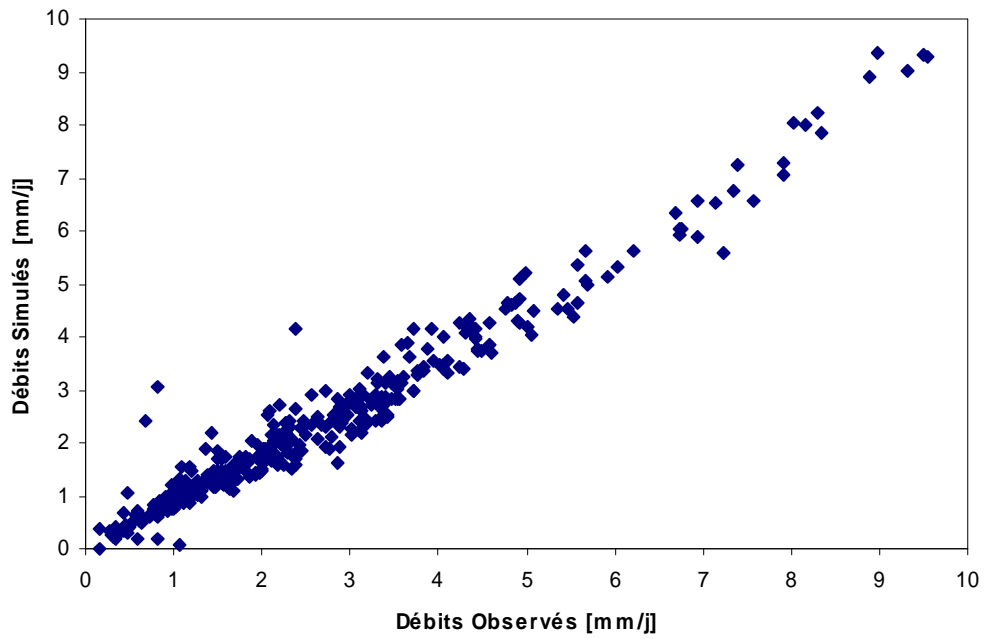
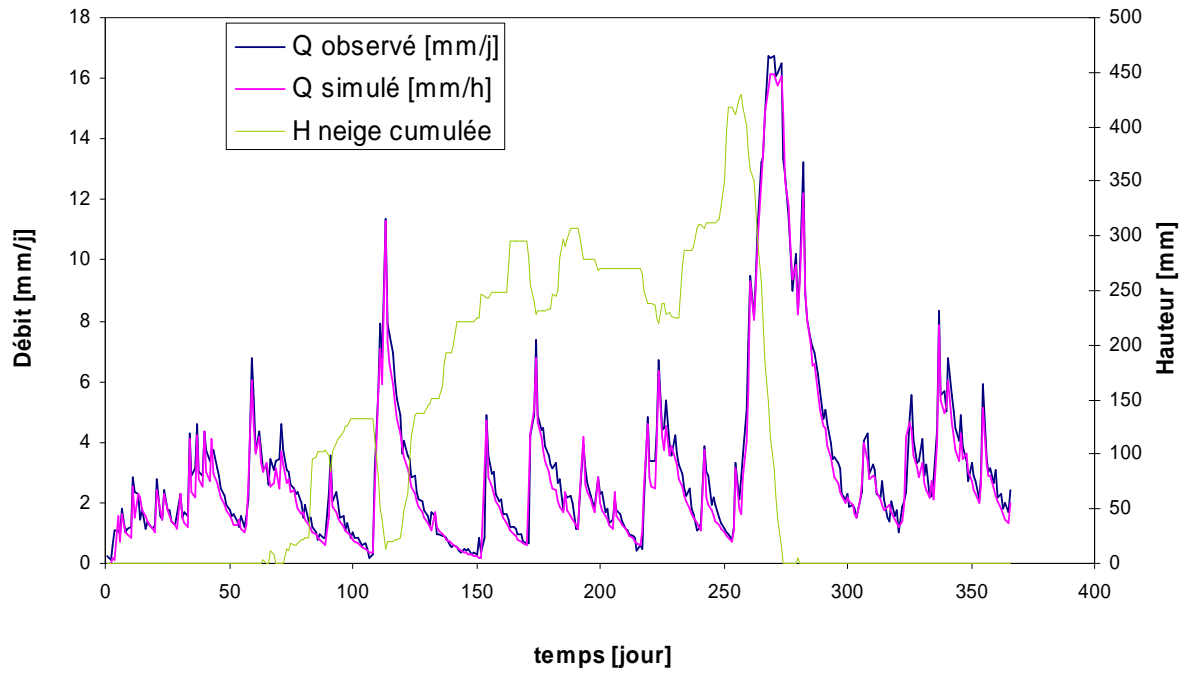
- dans un premier temps les paramètres du modèle ABC peuvent être calés sur la période pour laquelle le stock initial de neige H_0 est supposé nul et pour laquelle les précipitations sont pluvieuses, c'est à dire pendant la période août – septembre (voir un exemple de procédure dans l'exercice HA0601).
- Dans un second temps, il est possible de caler le paramètre du modèle de fonte k , afin d'obtenir la meilleure adéquation entre les débits observés et simulés. Il est ensuite aussi possible d'optimiser les paramètres a et b du modèle ABC en les faisant varier de manière indépendante, puis en calculant le critère de Nash pour chaque couple (a, b) possible.

Finalement les valeurs suivantes peuvent être retenues (valeur du critère de Nash de 0.97) :

- Paramètre modèle ABC : $S_0 = 0$ mm, $a = 0.53$, $b = 0.42$ et $c = 0.15$,
- Paramètre du modèle de Fonte : $H_0 = 0^\circ$ mm, $T_0 = 0^\circ$ C et $k =$

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 observés¹.

¹ N'oubliez pas que le bassin étudié est un système théorique. Pour un système naturel, un modèle ultra simplifié comme le modèle ABC, même couplé avec un modèle de fonte, ne pourrait pas être calé aussi facilement, voir pas du tout !



Voir aussi remarques de l'exercice HA0601 et de l'exercice HA0602.