

Exercice n° HA 1006

Calage d'un modèle conceptuel semi-distribué en milieu de haute montagne – le modèle GSM_SOCONT (programmé dans l'environnement de programmation Matlab®)

Avant propos :

Cet exercice a pour but de caler un modèle conceptuel semi-agrégé pour un bassin versant de haute montagne à fort composante glaciaire. Le processus de calage proposé permet de se familiariser avec le fonctionnement du modèle et avec les principes de calage de base. On vous propose également d'utiliser le modèle calibré pour étudier les effets d'un potentiel changement climatique. Le modèle est programmé dans l'environnement de programmation Matlab®.

Objectifs et Questions

Le modèle avec lequel on travaille dans le présent exercice a été développé à l'Hydam et est intitulé *GSM_SOCONT* (Schaepli B. et al. 2004). Une brève description est donnée dans l'ouvrage des PPUR « Hydrologie, Une science de l'ingénieur » ainsi que dans l'annexe de cet énoncé.

L'objectif de l'exercice est :

- De comprendre le fonctionnement du modèle hydrologique et la manière dont les différents sous-modèles reproduisent le régime d'un bassin versant de haute montagne.
- En se basant sur ces connaissances, d'utiliser différents critères de calage pour calibrer le modèle hydrologique pour un des bassins versants proposés.
- A l'aide du modèle calibré, d'analyser les effets d'un potentiel changement climatique sur un bassin versant de haute montagne.

Données de l'exercice

Copiez le dossier « ExoHydroMontagne » sur votre compte local. Vérifiez qu'il n'est pas en lecture seule. Les données de débits, météorologiques et hypsométriques utilisées dans l'exercice peuvent être visualisées avec Excel. Le contenu des différents fichiers est expliqué ci-dessous :

- barrage_hypsoglacier.txt : courbe hypsométrique pour la partie glaciaire de Mauvoisin (1^{ère} colonne : pourcentage de surface inférieur ou égal à l'altitude donnée dans la 2^{ème} colonne)
- barrage_hypsononglacier.txt : courbe hypsométrique pour la partie non glaciaire de Mauvoisin
- debit_gletsch7499.txt : débit du Rhône à Gletsch pour les années 1974 – 1999, en mm/jour
- etp_gletsch7499.txt : série d'ETP pour Gletsch, 1974 – 1999, en mm/jour données provenant du projet WRINCLE, séries mensuelles (calculées avec Penman-Monteith sur grille 0.5° x 0.5° pour toute l'Europe)
- pluie_gletsch7499.txt : pluie de la station d'Oberwald, en mm/jour
- temp_gletsch7499corrvispurtmann.txt : température provenant de la station d'Ulrichen en °C, les données manquantes avant 1981 et après 1995 ont été recalculées sur la base des stations de Turtmann respectivement Visp.
- Pour Lonza, les fichiers ont des noms analogues. La station météorologique est Ried.

Utilisation de Matlab® et du programme « GSM_SOCONT »

Avant d'utiliser l'interface utilisateur du programme « GSM_SOCONT », veuillez d'abord lire attentivement ces explications. La marche à suivre pour faire des simulations est détaillée dans la section « Marche à suivre ».

- **Lancez Matlab®** à partir de Démarrer/Programmes/Matlab. Le programme s'ouvre avec **l'affichage par défaut** :
 1. A droite, la fenêtre principale sert à écrire des commandes.
 2. Directement au-dessus, s'affiche le dossier de travail actuel (« current directory »).
 3. A gauche en haut, vous avez la fenêtre « workspace » qui affiche les variables actuellement en cours d'utilisation. Il peut être vidé en tapant « clear » dans la fenêtre de commande.
 4. En dessous, la fenêtre « command history » affiche les dernières commandes exécutées et permet de les répéter par simple cliquer-glisser dans la fenêtre de commande.
- **Changez le dossier de travail** actuel. Définissez celui que vous venez de créer (« ExoHydroMontagne »).
- **Lancez le modèle GSM_SOCONT** en tapant « gui_gsmsocont » dans la fenêtre de commande. Confirmez avec la touche *enter*.
- **L'interface utilisateur** du modèle s'ouvre. Les **champs** colorés en **blanc** peuvent être **modifiés**. Les **boutons rouges** servent à **confirmer** les entrées.
- Pour **faire une simulation**, il faut donner les entrées pour les champs **1 à 4 dans l'ordre**. Si vous modifiez ultérieurement des données des sections précédentes, **vérifiez** que tous les **boutons rouges** affichent bien « **OK** ».
- **Explication** des différentes sections de la **fenêtre GSM_SOCONT** :
 1. **INPUT DATA** : sert à choisir un bassin versant, deux différents (Rhône à Gletsch et Lonza à Blatten) sont proposés. Si on en sélectionne un, les données physiographiques correspondantes s'affichent. Le taux de glaciation peut être modifié (ne pas modifier pour la calibration, uniquement si vous voulez tester son influence sur le débit simulé). Par défaut, la première et la dernière année pour lesquelles on dispose de données s'affichent. Vous pouvez **raccourcir** la **période**. Vous pouvez choisir de **voir** un **graphique** montrant le débit observé en cochant « *View observed discharge* » (si le débit observé est égale à -9999, ceci veut dire qu'il n'y a pas de mesures). Après avoir effectué tous ces choix, **confirmez** en appuyant sur « *Accept* »
 2. **TIME SERIES** : sert à définir les séries météorologiques à utiliser. En principe, on utilise celles qui sont **proposées par défaut** pour un bassin versant donné. Vous pouvez choisir de voir un **graphique** montrant les séries météo en cochant « *View meteo series* ». **Confirmez** en appuyant sur « *Accept* »
 3. **ELEVATION BANDS** : Vous pouvez choisir le nombre total de bandes d'altitude à utiliser. **Confirmez** en appuyant sur « *Calculate* ». L'interpolation des séries météorologiques est alors effectuée. **Attendez la fin** du calcul (« *Calculation OK* » s'affiche).
 4. **SIMULATE RUNOFF** : cette section permet de définir les **paramètres** du modèle et de **lancer** une **simulation**. Vous pouvez choisir des **paramètres par défaut** (pas calibrés !). Vous avez également le choix de ne pas utiliser le réservoir d'écoulement direct (en décochant « *With rapid reservoir* »). Vous pouvez choisir de voir un plot du débit simulé versus le débit observé, de sauver les débits simulés et/ou le bilan de masse du glacier. Effectuez une simulation en appuyant sur « *Simulate runoff* ». Notez l'affichage du **temps de calcul** pour 1 simulation (en haut à droite).

5. **OPTIMISATION** : sert à générer une grille régulière d'un couple de paramètres pour optimiser les paramètres en question (**cette fonction** ne sera **pas utilisée** dans le présent exercice car les calculs sont longs)
6. **SENSITIVITY ANALYSIS** : on peut faire une analyse de sensibilité des paramètres du modèle et de quelques autres grandeurs (par exemple le nombre de bandes d'altitude). Il faut entrer une valeur de début, de fin et un intervalle. Si vous confirmez en appuyant sur « *Accept* », une nouvelle fenêtre contenant une estimation du temps de calcul s'ouvre. Confirmez par « *Yes* » ou rejetez avec « *No* ».

- **Manipulation des figures de résultats ?**

1. Si on demande d'afficher une donnée ou un résultat, une ou plusieurs nouvelles fenêtres s'ouvrent affichant les séries temporelles. Ces fenêtres comportent une barre d'outils :



2. Celle-ci vous permet surtout de
 - zoomer sur une période plus courte (l'outil zoom permet de définir un rectangle sur lequel on veut zoomer)
 - sauver ou imprimer la figure
 - rajouter du texte (A) ou des flèches (↗) et des traits (/) pour marquer quelque chose
 - avec le pointeur (☞), vous pouvez éditer d'autres propriétés des graphiques. Vous pouvez notamment déplacer la légende si elle cache les courbes : bouton de droite « unlock axes position » et ensuite vous pouvez la déplacer avec cliquer-glisser

- **Que faire si le programme ne répond plus ?**

1. Vérifiez qu'il n'y a pas de fenêtres ouvertes en arrière plan qui attendent une confirmation
2. Vérifiez que les boutons de confirmation des sections précédentes affichent « OK »
3. Recommencez depuis le début et choisissez les bonnes données dans la section 1
4. Avez-vous lancé un calcul très long ? Si oui, vous pouvez l'arrêter en tapant *control + c* dans la fenêtre de commande de Matlab®. Si ceci ne fonctionne pas, il faut forcer la fermeture du programme par le gestionnaire de tâches de windows.

- **Que faire si une simulation paraît absurde (par exemple complètement différente du débit observé)?**

1. Faites une simulation d'essai avec les paramètres par défaut (qui ne sont pas calés mais qui devraient donner une simulation se rapprochant du débit observé).
2. Contrôlez la surface glaciaire. Etes-vous sûr que vous ne l'avez pas modifiée ? Dans le doute, réinitialisez les données du bassin versant.
3. Contrôlez que vous avez bien utilisé les données météo par défaut correspondant au bassin versant choisi et que vous n'avez pas utilisé un scénario météorologique.

Marche à suivre

- 1) Affichez le débit observé pour le Rhône à Gletsch. Dans la fenêtre qui s'ouvre vous pouvez utiliser les outils de zoom. Observez le régime hydrologique qui est du type dit a-glaciaire (voir <http://hydram.epfl.ch/e-drologie/chapitres/chapitre9/chapitre9.html>). Attention : le débit est donnée en mm/jour, il s'agit donc d'un débit spécifique.

- 2) Dans la fenêtre de graphique qui vient de s'ouvrir, prenez l'outil pointeur (☛), sélectionnez la courbe de débit actuellement affichée en bleue et double-cliquez. Changez la couleur en rouge. Superposez à ce graphique, les débits observés pour la Lonza. Pour faire ceci, positionnez-vous la fenêtre de commande de Matlab et écrivez ce qui suit:

figure(10)

hold on

Ensuite, revenez à GSM-SOCONT et affichez maintenant les débits pour Lonza en choisissant « Lonza ». Confirmez en appuyant sur « Accept ». Dans la figure 10, vous avez maintenant le débit de la Lonza en bleu et le débit du Rhône en rouge.

- ? Observez les deux débits spécifiques pour l'année 1976 (la troisième année sur le graphique). Comment expliquez-vous la forte ressemblance entre les deux débits au printemps (autour du jour 800). Et comment au contraire, le débit plus important pour le Rhône dans les mois qui suivent ?

Avant de continuer, revenez dans la fenêtre de commande de Matlab et écrivez

hold off

- 3) Affichez maintenant le débit et les séries météorologiques pour la Lonza. Vous allez examiner deux événements de crue qui conduisent à d'importantes inondations dans le Valais, celui d'août 1987 (le jour 4984) et celui de septembre 1993 (le jour 7207).

- ? En observant les différents graphes, pouvez vous dire quelles étaient les processus prédominant conduisant à ces deux événements ?

- ? L'événement pluvieux le plus important à eu lieu en décembre 1991 (jour 6564). Quel débit se produisait suite à cet événement et pourquoi ?

- 4) **Changez maintenant le bassin versant**, utilisez de nouveau Gletsch pour la **période 1981 – 1990** (qui sera alors la **période de calibration**). N'oubliez pas de confirmer également les séries météorologiques correspondantes.

- 5) Choisissez **10 bandes d'altitude** et effectuez une simulation avec les paramètres par défaut.

- ? Que diriez-vous de la qualité de cette simulation?

- ? Observez l'accumulation de neige sur la partie couverte par glacier et non couverte par glacier :

- o Vous constatez que sur la partie non-glacière, il y a une bande qui accumule de la neige tout au long de la période. D'après vous, comment ceci s'explique ?
- o Au contraire sur la partie glaciaire, certaines bandes n'accumule pas ; est-ce que ceci est réaliste où s'agit-il forcément d'une erreur de simulation ?

- 6) Modifiez à tour de rôle les différents paramètres. Quelle est leur influence sur les différents critères ? Essayez de déceler ces effets dans les graphiques de résultat.

- 7) Essayez maintenant de **caler le modèle** pour le bassin versant du Rhône à Gletsch. Faites pour ceci une analyse de sensibilité. Il est judicieux de sauver les graphes montrant les résultats pour chaque étape et de noter les paramètres que vous décidez de retenir (pour ne pas les perdre).

- Commencez par les paramètres agl et an. Important : Faites d'abord une analyse grossière (par exemple de 2 à 20 mm/°C/jour avec pas de 1 mm/°C/jour). Vous pouvez ensuite affiner. N'oubliez pas que pour ces deux paramètres, le biais est un critère très important.
 - Fixez ces deux paramètres de telle manière à minimiser le biais.
 - Faites maintenant la même chose pour A et lk. Cette fois-ci le critère le plus important sera le Nash-log.
 - Fixez également A et lk et analysez à tour de rôle kn et kgl. Le critère déterminant est Nash-glac (voir le Help pour en avoir la définition). Fixer chacun des deux.
 - Finalement, faites varier beta et fixez ce paramètre de manière à maximiser Nash-peq.
- ? Quelles sont finalement les valeurs des critères de calibration ? Le Nash et le Nash-log devraient être supérieurs à 0.91 et le biais inférieur à 5 %.
- ? Le débit de pointe est-il bien simulé ?
- ? Et les débits d'étiages ?

8) Changez maintenant la période de simulation (**1991 à 1999**) **pour valider** vos résultats.

- ? Les critères de calibration, ont-ils toujours des valeurs satisfaisantes? Si oui, vous venez de valider vos résultats ; sinon il faudrait améliorer la calibration.

9) Sauvez les graphiques montrant les résultats de simulation avec les paramètres calibrés pour la période de calibration. Modifiez maintenant la surface glaciaire (par exemple 25%). N'oubliez pas de confirmer tous les boutons rouges.

- Ouvrez les graphiques précédemment sauvés et comparez. Que se passe-t-il si on modifie la surface glaciaire ?

10) Cochez maintenant « Use future scenario » et créez un scénario de changement climatique en modifiant la température et les précipitations des différentes saisons. D'après les connaissances actuelles, un scénario vraisemblable pour les Alpes, consisterait en une augmentation de la température tout au long de l'année mais plus forte en été, une diminution de la pluviométrie en été et une augmentation en hiver.

- ? Vous venez de modifier la température moyenne et/ou le pourcentage de précipitation par saison. Pensez-vous que les scénarios ainsi créés soient réalistes ? Que faudrait-il également modifier ? Et comment ces modifications influenceraient-ils le régime ?

⇒ **Sauvez le graphe montrant votre scénario météo et les graphes de résultat de la simulation correspondante.**

11) Pour avoir une simulation plus réaliste, nous utilisons maintenant une série d'ETP qui dépend de la température. Ouvrez le fichier pertmeteo.m et modifiez les ligne94 et 95 :

- Effacez la ligne 94 (qui disait que le scénario d'ETP était égal à ETP observé)
- Et enlevé le symbole % à la ligne suivante

Visualisez de nouveau les scénarios météo en appuyant sur « Accept » dans la section 2. Comparez les séries ETP. Faites une nouvelle simulation. L'effet de l'ETP modifié est-il perceptible ?

- 12) Etudiez l'effet d'une modification de la surface glaciaire. Vous pouvez élaborer des scénarios de réduction de la surface glaciaire correspondant à votre scénario météorologique. Sauvez à chaque fois la série de débit simulé et une fois la simulation effectuée, changez le nom du fichier qsim.out ainsi créé (qui est un fichier texte). Vous pouvez ouvrir ces fichiers dans Excel. Comparez le débit moyen, le débit maximum et minimum.
- ? Quel est l'effet de la réduction de la surface glaciaire sur ces grandeurs?