

## Modélisation du cycle de l'eau, hydrologie opérationnelle

Georges-Marie Saulnier (CR CNRS) : Edytem (Environnements, Dynamiques et Territoires de la Montagne), Université de Savoie ; Conseiller scientifique de TENEVIA, start-up spécialisée en hydrologie et hydrométrie par vidéo.

### Quels sont les processus physiques étudiés ? Quelles sont les applications environnementales ?

Je travaille sur la modélisation du cycle de l'eau et des crues rapides, en me focalisant notamment sur :

- le couplage hydrologie/météorologie
- l'impact climatique sur les ressources en eaux
- l'hydrologie opérationnelle (prévision et alerte)
- l'instrumentation par vidéo numérique : hydrométrie, manteau neigeux
- l'approche couplée instrumentation/modélisation

Les enjeux sont nombreux, par exemple en prévisions des crues rapides, pour éviter les catastrophes humaines telles que Vaison-la-Romaine en 1992 ou l'impact du changement climatique sur la conciliation des usages de l'eau.

### Justement, prenez-vous en compte l'humain dans vos modèles?

Dans nos prévisions, le comportement humain est pris en compte de façon indirecte, par exemple en étudiant différents scénarios de modifications des températures et des précipitations sous l'effet des changements globaux puisque ces modifications impactent le cycle hydrologique. De façon plus directe, l'homme utilise les ressources en eau pour satisfaire les différents besoins socio-économiques : eau potable, énergie, agriculture, industries, tourisme, etc. Nous prenons donc également en compte des scénarios de développement socio-économiques pour en mesurer l'impact sur les ressources en eaux.

Et puis, l'homme décide. Dans le « serious game » que je mets en place avec mon équipe, les utilisateurs gèrent une collectivité territoriale et ses ressources en eaux. Ils décident de certains choix politiques et économiques et peuvent visualiser leurs impacts sur le milieu naturel et sur la satisfaction ou non des besoins en eau des différents usages socio-économiques.

Le « serious game » est en fait un modèle hydrologique, couplé avec la météorologie. Il est doté d'une interface différente selon les utilisations possibles :

- une gestion en temps réel pour les agences de l'eau
- un outil de prospective pour les collectivités et les mairies
- un outil pédagogique pour les écoles

Ce projet vise à proposer des interfaces simples à des modèles complexes à destination d'utilisateurs impliqués dans la gestion intégrée de la ressources en eaux, ou simplement intéressés par le sujet, mais qui n'ont pas nécessairement le background technique nécessaire pour utiliser des logiciels scientifiques pas toujours ergonomiques ...

### Quels sont les modèles utilisés ?

En hydrologie, le choix du modèle est une question importante dont la réponse n'est jamais définitive. À la différence de la météorologie ou de l'océanographie, les conditions aux limites ont un impact essentiel : l'eau, c'est à dire le fluide dont on modélise les écoulements, ne s'éloigne jamais de plus de quelques centimètres à quelques mètres de ses conditions aux limites. Et devant l'impossibilité de mesurer ces conditions aux limites aux précisions et aux résolutions nécessaires, il faut faire des choix physiques de simplifications/approximations qui dépendent des questions ou problèmes hydrologiques.

Et ces problèmes et leurs contextes peuvent être extrêmement variés ... C'est pour cela qu'on dit abusivement qu'il y a autant de modèles que d'hydrologues.

En réalité, il faut considérer un problème appliqué comme un système complexe avec beaucoup d'interactions, et de processus.

### **Quelles sont vos observations ? D'où proviennent-elles ? Comment sont-elles conciliées avec les modèles ?**

Encore un autre problème !

Aucune expérience en laboratoire n'est possible : on ne peut reproduire une crue en laboratoire ni répéter des expériences ayant eu lieu en milieu naturel. Et les observations sont peu nombreuses et majoritairement à la surface terrestre.

D'un autre côté il est irréaliste d'imaginer un jour pouvoir sonder le sol en chaque point d'espace.

Donc peu d'expériences possibles et peu de chance de mesurer la géométrie du milieu terrestre aux résolutions et précisions nécessaires pour appliquer les équations de la dynamique des fluides.

Il faut donc composer avec ces contraintes. Une des premières difficultés est de définir les nombreux paramètres incertains du modèle dans un contexte pauvre en observations.

Pour cela, nous utilisons des méthodes d'analyse de sensibilité basées sur l'adjoint par exemple et des méthodes d'assimilation de données.

### **Quels sont les enjeux où les mathématiques ont un rôle important à jouer ?**

Il serait sûrement bénéfique d'approcher plusieurs enjeux essentiels avec l'abstraction et le formalisme mathématique, notamment :

- Comment contraindre un modèle avec peu d'observations ? Les problèmes réalistes sont sujets à des contraintes énormes, qui ont peut être plus d'impact que le modèle en soi. L'assimilation de données, l'analyse de sensibilité et la propagation d'incertitude sont des outils nécessaires mais encore difficile à mettre en place pour des hydrologues pas tous sensibles ou suffisamment formés aux mathématiques. Quelques questions parmi d'autres :
  - ▶ Faut-il compenser le coût de ces méthodes en utilisant des modèles plus simples ?
  - ▶ Vaut-il mieux un modèle complexe et précis mais difficile à contraindre ou un modèle simpliste mais bien contraint et dont on connaît les incertitudes ?
  - ▶ Peut-on mettre en place des méthodes d'analyse de sensibilité hybride déterministe/stochastique pour bénéficier des avantages des deux approches : sensibilité spatio-temporelle/calcul global ?
- Le modèle Navier-Stokes est intéressant théoriquement mais souvent impossible à utiliser en hydrologie. Pourquoi ne pas étudier des méthodes asymptotiques ? ou utiliser d'autres méthodologies pour réduire le nombre de paramètres, et donc les approximations faites sur chacune de leurs valeurs.
- Existe-t-il un formalisme, un moyen de coupler différents modèles et processus ? Le couplage peut annihiler les performances d'un modèle s'il est mal fait, pourtant nous avons peu de connaissances sur les couplages.
  - ▶ Comment ne pas risquer de créer un modèle au comportement non maîtrisé ?
  - ▶ Comment coupler des processus avec des maillages différents : mailles régulières en météorologie avec mailles irrégulières en hydrologie ?
  - ▶ Est-il possible de créer un « supra-modèle » qui intègre les couplages comme un processus ?

- Comment valider un modèle dont le comportement dépend fortement des signaux d'entrée ou des processus impliqués ? Lorsque l'hydrologie de surface n'a pas d'interaction avec l'hydrogéologie souterraine, il ne suffit pas de mettre quelques paramètres à zéro, c'est souvent toute la structure du modèle qu'il faut changer. Peut-on intégrer ces modifications brutales dans un modèle ?

**Selon vous, quelles sont les difficultés à dépasser pour collaborer avec les mathématiciens sur ces questions ?**

La première difficulté est que la majorité des besoins en mathématiques des hydrologues relève également de besoins en numérique et informatique. La quantité nécessaire de développement n'intéresse sûrement pas les mathématiciens car ce n'est pas toujours une question de recherche en soi. Aussi, discuter avec eux aide à formaliser les questions mais je ne saurais pas dire si cela aidera à définir une nouvelle thématique de recherche en mathématique.

**Quelle est, selon vous, la meilleure façon de développer les interactions entre mathématiciens et utilisateurs des mathématiques ?**

Tout dépend des objectifs !

Veut-on définir une nouvelle thématique pérenne, à l'interface entre les mathématiques et les applications environnementales ?

Ou cherche-t-on uniquement à créer des liens ponctuels entre les deux disciplines, selon les intérêts des chercheurs ?

Selon les cas, les moyens mis en œuvres seront différents. D'où l'importance de bien définir les objectifs !