

Résumé du prix de l'AAM

Dix ans de simulations des débits et du bilan hydrique de l'Adour à l'aide du modèle Isba-Modcou

a fin de pouvoir valider les termes du bilan hydrique simulés par le schéma de surface ISBA à l'échelle régionale du bassin versant de l'Adour, il s'est avéré intéressant de coupler ce dernier avec le modèle hydrologique MODCOU, qui simule, à partir des sorties de ISBA des débits aux exutoires des rivières du bassin. Ceux-ci sont en effet comparables aux observations, ce qui n'est pas possible avec l'évaporation ou le ruissellement à l'échelle locale. Une étude a été menée sur une période de dix ans (1986-1995), afin d'analyser le comportement du modèle ISBA-MODCOU, calibré sur l'année 1986 et intégré sur les neuf années qui suivent, sans nouveau étalonnage. L'analyse des résultats s'est appuyée sur des outils statistiques spécialement développés au cours de ce stage et directement inspirés de ceux communément utilisés par les hydrologues. Les résultats ont montré un bon comportement du modèle sur cette longue durée avec cependant une sous-estimation systématique de crues intervenant après un hiver «sec», donnant lieu à une étude de sensibilité à la profondeur du sol et aboutissant à la mise en place d'une couche supplémentaire dans le sol modélisé d'ISBA.

Les exercices d'intercomparaisons des schémas de surface, soutenus par le Programme Mondial de Recherche sur le Climat, ont révélé une grande dispersion dans le calcul des principaux termes du bilan hydrique: soumis à un même forçage atmosphérique, les modèles simulent une répartition entre évaporation et ruissellement annuels qui peut varier entre 20 et 60% des précipitations incidentes. Il est très difficile de valider ces termes à l'échelle locale (pas d'observations). Il s'est donc avéré intéressant d'utiliser un couplage avec l'hydrologie, afin de simuler le ruissellement à l'échelle d'un bassin versant, ce qui se traduit en termes de débits à l'exutoire (dont on dispose d'observations).

C'est ainsi que le schéma de surface ISBA, de pas de temps cinq minutes (Noilhan et Planton, 1989) a été couplé au modèle hydrologique MODCOU, de pas de temps journalier. ISBA calcule des lames d'eau évaporées, ruisselées, et drainées. Ces deux dernières sont cumulées sur la journée pour être converties en débits par le modèle hydrologique. Ces débits simulés sont alors comparés aux observations, dont on dispose de manière conséquente. C'est ainsi en validant les débits qu'on valide indirectement les flux de surface, en partant du principe que toute erreur dans la simulation des débits en rivière provient nécessairement d'une erreur sur la simulation des bilans d'énergie à la surface.

Les processus intervenant dans ce modèle couplé ISBA-MODCOU sont résumés dans la figure 1.

*: Étude réalisée de janvier à juin 1998 au Centre national de Recherches Météorologiques, dans l'équipe CNRM/GMME/MC2, sous la direction de M. Joël Noilhan.

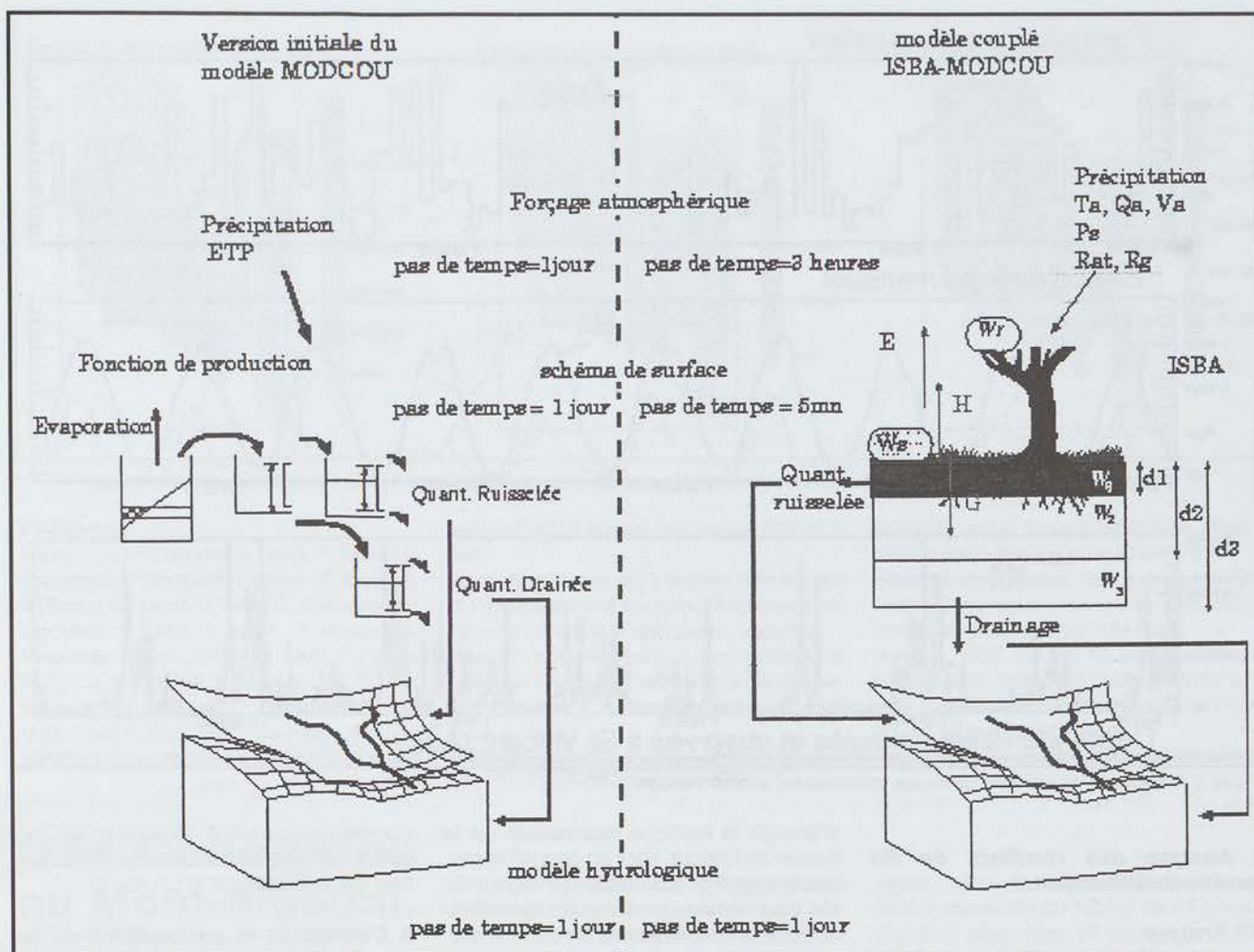


Figure 1 : Schématisation du couplage du schéma de surface ISBA avec le modèle hydrologique MODCOU.

Objectifs de mon travail.

Le but de mon stage était de valider le couplage ISBA-MODCOU, appliqué au bassin versant de l'Adour (siège de l'expérience Hapex-Mobilhy, André et al., 1988), et ceci sur une longue période (1986-1995), en conservant les calibrations faites sur l'année 1986 (Habets, 1998). Celles-ci concernent principalement la profondeur du sol, la fraction de saturation sous maille.

Dans l'objectif d'une analyse précise du comportement du modèle face à des événements climatiques très contrastés sur cette longue période, j'ai procédé en plusieurs étapes, que je vais décrire brièvement dans cet article:

1. développement d'outils statistiques,
2. reconstitution du forçage atmosphérique sur les dix ans,
3. analyse des résultats,
4. tests de sensibilité à la profondeur du sol (version «ISBA 3 couches»).

Développement d'outils statistiques pour l'analyse des chroniques de débits.

Afin de valider les simulations de débits sur cette longue période, j'ai commencé par développer des outils statistiques applicables à de longues chroniques, en m'inspirant de ceux utilisés par les hydro-

logues (Leblois, 1997). Je me suis limitée à l'exploitation de trois d'entre eux:

1. Le premier concerne l'étude des extrêmes des débits: ceux-ci sont journaliers ou cumulés sur deux à trente jours et leur distribution est ajustée par la loi de Gumbel. En comparant les distributions obtenues avec un jeu de débits observés à celles issues de débits simulés, cela permet de dire si le modèle a tendance à surestimer ou sous-estimer les crues, que celles-ci soient journalières ou sur plusieurs jours.
2. En ce qui concerne les débits mn est représentée par la médiane de l'échantillon encadrée des décennales et quinquennales sèches et humides.
3. La loi de Gauss permet elle d'analyser les débits annuels.

Reconstitution du forçage atmosphérique.

Le modèle couplé étant utilisé en mode forcé, avec des paramètres atmosphériques issus des observations (stations synoptiques, automatiques et Réseau Climatique d'Etat), la deuxième étape de mon travail a été consacrée à la reconstitution de forçage atmosphérique. Cette étape s'est avérée fastidieuse par la quantité très importante de données manipulées: sept paramètres sont

nécessaires au schéma de surface; ils sont interpolés à chaque réseau de trois heures et ceci tous les jours, sur dix ans. A cela, s'ajoutent les problèmes inhérents à de telles reconstitutions, à savoir des changements de fonctionnement de stations synoptiques d'une année sur l'autre (fermeture les week-end et jours fériés par exemple), ou encore des postes du Réseau Climatique d'Etat qui ne sont pas renouvelés, ou enfin des stations automatiques non fonctionnelles... Ces manques ont parfois rendu délicate l'interpolation de certains paramètres sur le bassin modélisé (problèmes de reconstitution du rayonnement global et du rayonnement atmosphérique notamment).

L'analyse des variabilités annuelles des paramètres est surtout marquée par des régimes de précipitation très contrastés. Durant ces dix années, la température à 2m, l'humidité spécifique, la pression de surface, le vent et les rayonnements global et atmosphérique n'ont pas de variabilité très marquées au cours de ces dix années.

Ce forçage s'est avéré être un bon moyen d'étudier les variabilités inter annuelles du bilan hydrique en fonction des variations climatiques.

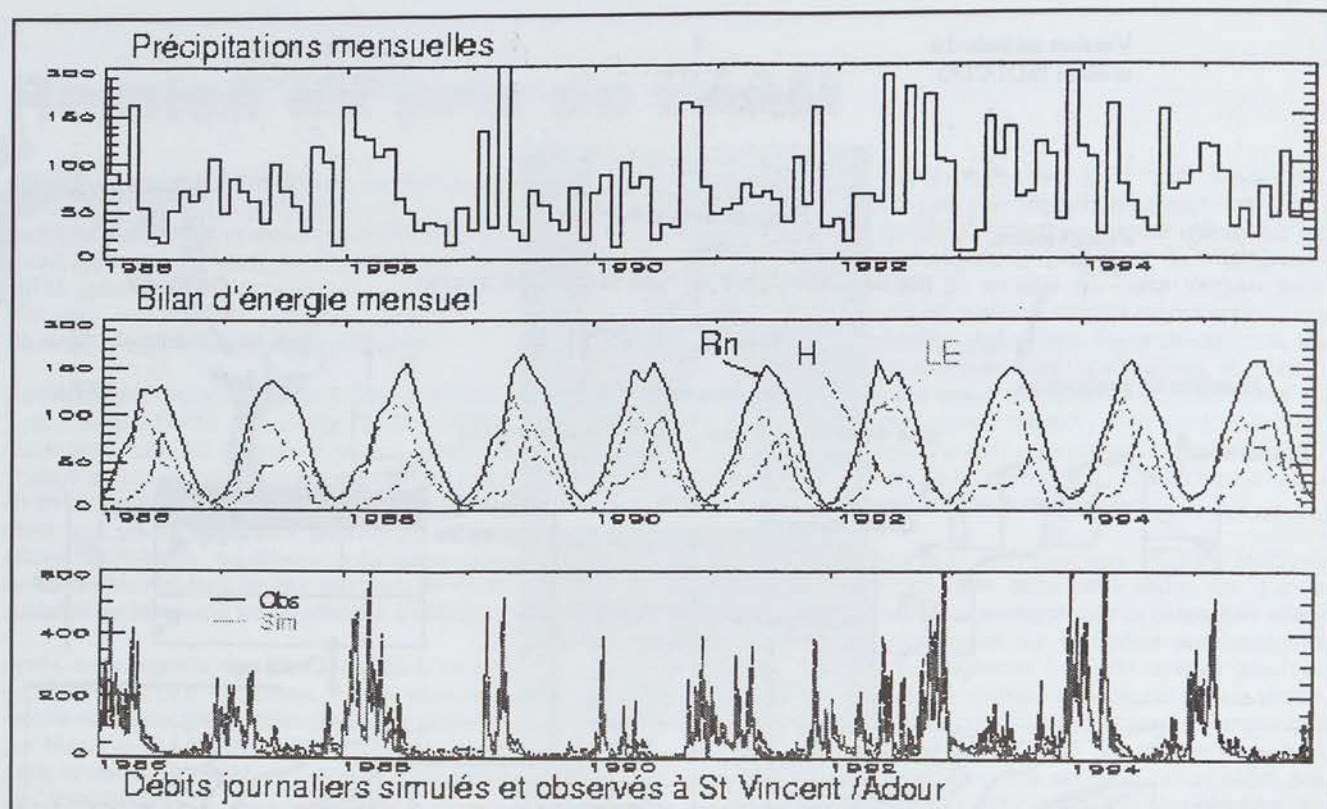


Figure 2: Présentation des résultats : du forçage (précipitations) au bilan d'énergie.

4 Analyse des résultats de dix années de simulation.

4.1 Analyse

Le forçage ainsi reconstitué, la simulation sur les dix années a été effectuée, sans recalibrer le modèle. Le comportement du modèle a été relativement satisfaisant et ne laisse pas apparaître de biais. Les volumes d'eau mensuels et annuels sont assez voisins des observations, sur les bassins de l'Adour, de l'Osse et du Luy de France. L'analyse statistique, faite au préalable, met cependant en évidence un comportement systématique concernant la sous estimation des crues survenant après une période sèche (problème de recharge des réservoirs), ainsi qu'une sous estimation de la lame d'eau annuelle sur le bassin de la Leyre. Fort de ces connaissances, on a ainsi une idée de la pertinence de la simulation des flux énergétiques du schéma de surface ISBA. Ces résultats sont illustrés par la figure 2 qui présente:

1. Sur la figure du haut, le forçage des précipitations, avec sa très forte variabilité inter annuelle.
2. Sur la figure du milieu, les répercussions de ce forçage sur le bilan d'énergie (rayonnement net, évaporation et flux de chaleur sensible) dont on cherche à évaluer la qualité grâce à l'analyse des débits.
3. Sur la figure du bas, un exemple de chronique des débits observés et simulés sur les dix années de simulations, à l'exutoire «modélisé» de l'Adour (Saint Vincent).

On dispose alors des termes des bilans

d'énergie et hydrique régionalisés sur le bassin de l'Adour, dont on connaît la pertinence, grâce aux débits (cf. figure 3). On peut remarquer sur cette répartition spatiale la nette influence du climat océanique sur cette région: les pluies (et donc le ruissellement) sont plus importantes à l'Ouest, près des côtes atlantiques qu'à l'Est. On ne retrouve pas ce gradient Sud Ouest-Nord Est pour l'évaporation mais plutôt une tendance Nord Sud, où l'évaporation est renforcée dans le Nord du domaine par la présence de la forêt des Landes.

4.2 Corrections des problèmes rencontrés:

Afin de palier les problèmes évoqués dans le paragraphe précédent, concernant les simulations de crues journalières, des tests de sensibilité à la résolution verticale dans le sol ont été menés et ont constitué la dernière partie de mon travail. C'est ainsi qu'une troisième couche a été rajoutée au schéma de surface, permettant ainsi de constituer deux couches profondes distinctes: une zone racinaire et une zone plus profonde, propre à l'hydrologie. Ce nouveau schéma (Boone et al., 1998) a permis de faciliter le ruissellement et ainsi de donner au modèle un temps de réaction plus rapide face à des événements pluvieux intervenant à la suite de périodes sèches.

D'après l'analyse des résultats, on en tire les conclusions suivantes: sur les sols où il y a du ruissellement (bassins de l'Adour, du Luy de France et de l'Osse), les simulations des crues, sous estimées par le schéma à deux couches sont nettement améliorées avec ISBA 3L. Au

contraire, elles sont dégradées sur les zones où le ruissellement sous maille est très faible (bassin de la Leyre).

5 Conclusion et perspectives de ce travail.

Cette étude sur une longue période a montré la robustesse du modèle couplé ISBA-MODCOU, face à des événements climatiques très variés. Les outils d'analyse des chroniques de débits qui ont été développés ont permis de mettre en évidence le bon comportement du modèle couplé mais aussi quelques défauts, qui ont conduit à modifier la distribution verticale des couches dans le sol de ISBA.

Ainsi, les perspectives de ce stage sont nombreuses: la validation du couplage étant effectuée sur l'Adour, son application serait intéressante sur le bassin de la Garonne afin d'aboutir à la modélisation spatialisée du bilan hydrique et énergétique sur un grand bassin fluvial tel que le bassin Adour-Garonne, et à terme à son extension sur tout le territoire français. Les outils statistiques qui ont été développés au cours de ce stage sont génériques et pourront évidemment être réutilisés pour ces études ultérieures, notamment sur de plus grands bassins.

De plus, il peut aussi être envisagé de remplacer le forçage issu des observations, par des analyses du modèle atmosphérique ALADIN, pour tendre vers un outil pré-opérationnel.

Enfin, il pourra être très enrichissant de valider les simulations des bilans d'énergie à l'aide de l'information satellitaire, comparaison que nous n'avons pas eu l'occasion de faire au cours de ce stage.

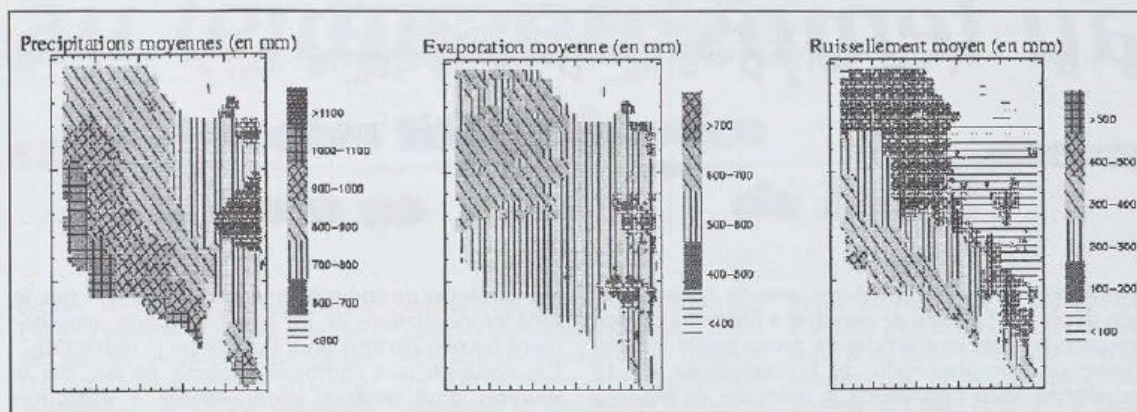


Figure 3 : Répartition spatiale des termes du bilan hydrique: les précipitations, l'évaporation et le ruissellement, moyennés sur les dix ans.

6 Références.

- André, J.C., J.P. Goutorbe, A. Perrier, F. Becker, P. Bessemoulin, P. Bougeault, Y. Brunet, W. Brutsaert, T. Carlson, R. Cuenca, J. Gelpe, P. Hildebrand, J.P. Lagouarde, C. Lloyd, L. Mahrt, P. Mascart, C. Mazaudier, J. Noilhan, C. Ottlé, M. Payen, T. Phulpin, R. Stull, J. Shuttleworth, T. Schmugge, O. Taconet, C. Terrieu, R.M. Thiéperier, C. Valancogne, D. Vidal-Madjar, and A. Weill, 1988: Evaporation over land surfaces: First results from HAPEX-MOBILHY special observing period. *Annales Geophysicae*, 6 (5), 477-492.
- Boone, A., J.C. Calvet, and J. Noilhan, 1998: Inclusion of a third soil layer in a land-surface scheme using the force-restore method. *J. Appl. Meteor.*, (submitted).
- Habets, F., 1998: Modélisation du cycle continental de l'eau à l'échelle régionale. Application aux bassins versants de l'Adour et du Rhône. Thesis, Université Paul Sabatier, 1998.
- Leblais, E., and E. Sauquet, 1997: Scale effects in runoff mapping. Technical report, CEMAGREF.
- Noilhan, J. and S. Planton, 1989: A simple parametrization of land surface processes for meteorological models. *Mon. Wea. Rev.*, 117, 536-549.
- Voirin, S., 1998: Dix ans de simulation du bilan hydrique et des débits sur le bassin de l'Adour, à l'aide du modèle hydrologique distribué ISBA-MODCOU. Note de travail de l'ENM n°629.