

PREVISION DES CRUES

EXPERIMENTATION ET MODELISATION COGNITIVE

DE PETITS BASSINS VERSANTS DE MONTAGNE

1 - LA GENERATION DES ECOULEMENTS DE CRUE SUR LE BASSIN DU REAL COLLOBRIER

J.M. GRESILLON et C. OBLED

L.T.H.E.

B.P. 53, 38041 Grenoble cedex
CNRS URA 1512, U.J.F., I.N.P.G.

L'objectif de notre étude est de contribuer à une meilleure prévision des débits sur les petits bassins versants de montagne, au travers d'une démarche dite de "modélisation cognitive". Il s'agit, en clair, d'une modélisation fondée sur la prise en compte de données concrètes, autres que pluies et débits, relatives aux bassins modélisés. La première démarche a donc consisté en l'acquisition de ces données, notamment celles qui sont relatives aux mécanismes de génération des écoulements à l'occasion des crues. Pour ce faire, nous avons dû effectuer des mesures expérimentales sur le terrain, ainsi que des études théoriques à partir de ces mesures. Plutôt que de disperser nos efforts expérimentaux sur l'ensemble du bassin du Réal Collobrier (72 km²), nous avons choisi d'analyser en détail un "versant" dans un de ses sous-bassins: le bassin des "Maurets".

1 - Analyse de la Fonction de transfert du bassin des Maurets:

L'analyse de l'évolution de la fonction de transfert sur le bassin versant des Maurets nous apporte une première information sur ce qui semble être une caractéristique des bassins et sous-bassins du Réal Collobrier: la fonction de transfert de ces bassins est rapide si les écoulements ont lieu sur le bassin sec, elle est beaucoup plus lente si le bassin est très humide. Plus précisément, la forme de la fonction de transfert est directement liée aux proportions des pluies qui parviennent à la rivière (aux coefficients d'écoulements): rapide lorsque ces proportions sont faibles, lentes lorsqu'elles sont fortes. La figure 1 montre cette évolution pour le bassin des Maurets qui se trouve d'ailleurs confirmée sur le bassin voisin de Valescure.

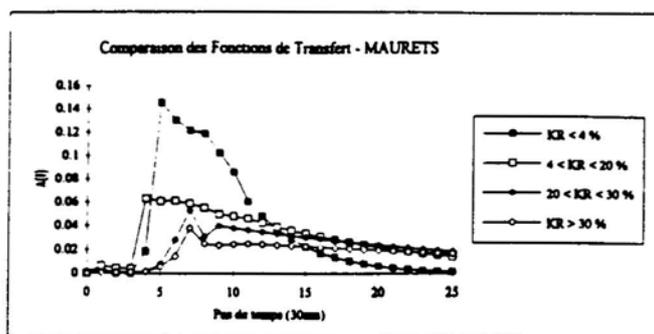


Figure 1 Analyse de la stabilité de la Fonction de transfert des Maurets

On interprète cette déformation par la simultanéité des deux phénomènes suivants:

-1 Lorsque les proportions d'écoulement augmentent, la part des volumes qui transitent par le sol (à un niveau ou à un autre) augmente aussi. En particulier sur un bassin sec, il y a peu d'écoulements souterrains. Nous analyserons les caractéristiques d'infiltrabilité des sols afin de chercher à comprendre quels types d'écoulements souterrains peuvent parvenir à la rivière.

-2 Dans la gamme des crues que l'on a observées (comprenant pourtant plusieurs crues violentes) les écoulements de surface qui rejoignent la rivière subissent également un effet de ralentissement lorsque leurs volumes augmentent. Nous examinerons si une extension géographique d'aires contributives peut expliquer cet apparent ralentissement des apports à la rivière.

2 Description et caractérisation hydrodynamique du versant des Maurets:

Le versant que nous avons étudié se situe dans des formations amphibolitiques, il est recouvert d'une abondante végétation, comme l'ensemble du bassin (chênes, châtaigniers). La coupe du versant (figure 2) permet de distinguer une "pente" (30%) et, en bordure de rivière, une terrasse moins pentue (10%), recouverte d'herbes et de buissons. Les sols sont assez peu profonds, environ 2 mètres de profondeur sur la terrasse, 1 à 1.5 mètres sur la pente, mais parfois moins (jusqu'à 30 centimètres). De nombreuses mesures de caractérisation hydrodynamiques ont été faites sur notre versant et en particulier sur la terrasse. Des piézomètres, tensiomètres, mesures de teneurs en eau (avec un appareil T.D.R.) et des mesures d'écoulements de surface et de subsurface ont été implantés sur la pente et sur la terrasse. Voici les résultats de mesure les plus importants.

-Les sols sont assez homogènes sur le versant, ils sont constitués de limons sableux ou de sables limoneux. Les porosités diminuent avec la profondeur.

-Les conductivités hydrauliques sont également décroissantes avec la profondeur. L'hypothèse d'une loi de décroissance exponentielle convient particulièrement bien pour exprimer cette décroissance, comme l'illustre la figure 3.

-Les caractéristiques de succion des sols ont été mesurées à diverses profondeurs en vue d'une modélisation des écoulements dans la zone non saturée à l'occasion d'une pluie. On a pris en compte la variation de la porosité avec la profondeur

-Les rugosité de surface opposées par la végétation à un éventuel écoulement de surface ont été mesurées à l'aide d'un simulateur de pluie que l'on a utilisé sur diverses parcelles sur la pente et sur la terrasse. Les rugosités mesurées sont très fortes, de sorte que les vitesses d'écoulements superficiels sont en général inférieures à 1 cm/s et les coefficients de Strickler de l'ordre de 1 (S.I.), en raison de la végétation très importante sur le bassin.

-Les écoulements à la surface du sol sont en général moins importants en volume que les écoulements hypodermiques: en moyenne, les volumes piégés à vingt centimètres de profondeur sont quatre fois plus importants que ceux qui ont été interceptés à la surface du sol. En revanche, ces derniers interviennent beaucoup plus vite (quelques heures au maximum).

-Le niveau des piézomètres de la terrasse ne "bouge" que lorsque les sols qui les surmontent sont saturés. On interprète ce résultat de la manière suivante: la nappe dans la terrasse est surtout alimentée par des apports verticaux en provenance directe de la pluie, bien davantage que par des apports souterrains latéraux.

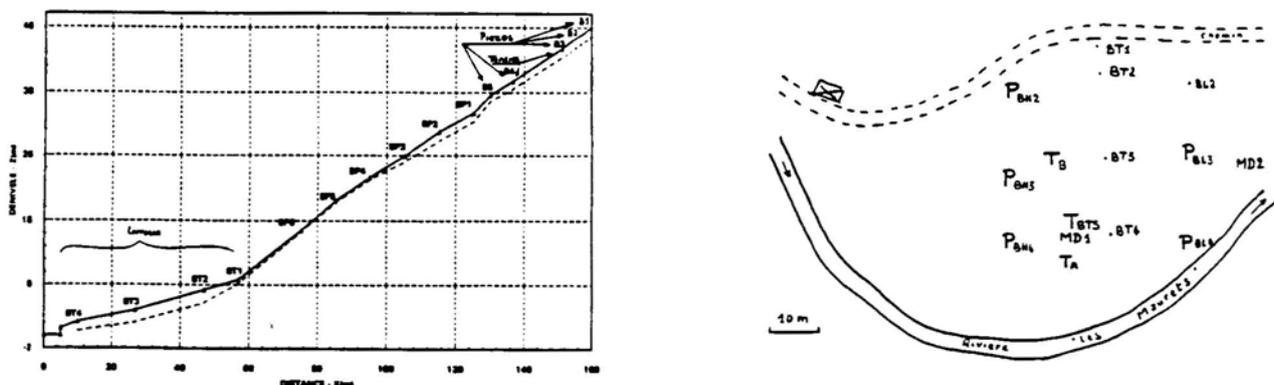


Figure 2 Coupe du versant étudié et vue en plan de la terrasse

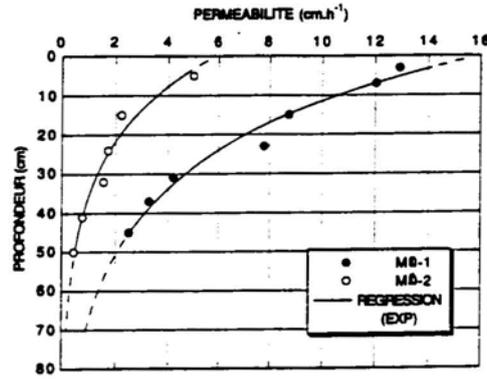


Figure 3 Evolution de la conductivité hydraulique avec la profondeur

3- Modélisation des mouvements de nappes dans le versant:

L'objet de l'étude qui suit est de vérifier si le mécanisme de génération des écoulements par surfaces saturées contributives est réaliste dans le contexte du bassin des Maurets, et par extension sur le Réal Collobrier. Pour ce faire on a examiné, à l'aide d'une modélisation numérique, l'évolution de la position de la nappe reliée à la rivière sous l'effet d'une pluie uniforme parvenant sur la terrasse.

La méthode employée utilise une discrétisation sous forme de différences finies de l'équation de Richards. Il s'agit d'une méthode implicite et itérative, résolue par un calcul ligne par ligne puis colonne par colonne. Elle exige que nous schématisions les surfaces inclinées par des lignes brisées (ce qui ne présente pas de difficulté). L'état initial du domaine est supposé hydrostatique, ce qui représente une condition réaliste, mais qui n'est pas particulièrement propice à l'apparition des crues. On devra donc compenser cette humidité initiale insuffisante par une durée de pluie particulièrement importante.

Si la modélisation est effectuée en supposant le sol homogène, on observe que la nappe atteint la surface du sol après deux à trois heures de pluie et qu'elle s'étend lentement vers l'amont. Toutefois son extension reste très limitée et ne permet pas d'expliquer les débits de crues que l'on observe sur les Maurets, à supposer que la modélisation sur notre versant puisse être étendue à l'ensemble du bassin.

En revanche, on obtient de meilleurs résultats si l'on tient compte de la présence à la surface d'une couche de sol dont la conductivité hydraulique est nettement plus importante que celle des sols sous-jacents. Pour ce faire, nous avons supposé que le sol était composé de la superposition de deux sols dont les conductivités hydrauliques correspondent respectivement à celles que l'on observe à dix centimètres de profondeur et à soixante centimètres de profondeur respectivement. On a considéré que la couche de surface mesurait vingt centimètres d'épaisseur. Dans ces conditions, l'évolution de la position de la nappe est très différente et illustrée par la figure 4. Rapidement, la nappe profonde est "relayée" par une nappe de surface qui se développe dans cette couche superficielle. Le développement de cette "Nappe de Surface Fugitive" est nettement plus important que le précédent et capable d'expliquer des débits de pointes de crues importants. Le rôle de la couche de sol dans laquelle se développent les racines s'avère donc très important dans la génération des écoulements de crues.

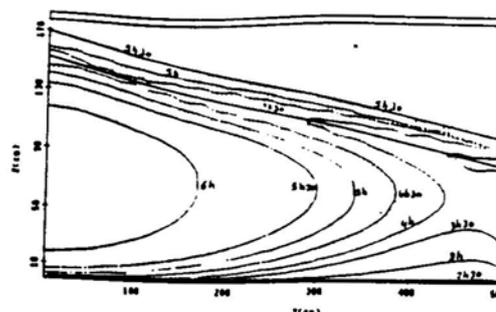


Figure 4 Evolution de la zone saturée sur le versant à l'occasion d'une pluie de 150 mm

4- Modélisation des écoulements de surface sur le versant:

En utilisant les mesures de rugosité que nous avons effectuées sur le versant des Maurets, nous avons calculé l'hydrogramme que l'on doit observer en bas du versant pour différentes longueurs du plan saturé contributif. L'hypothèse du calcul consiste à admettre que toutes les pluies qui parviennent en dehors des zones saturées s'infiltrent alors que toutes les pluies qui parviennent sur les zones saturées ruissellent totalement. Un calcul (Barré de Saint-Venant avec l'hypothèse de l'onde cinématique) permet de montrer que l'hydrogramme normé en bas de versant est effectivement d'autant plus rapide que la longueur du plan contributif est plus court (figure 5). On comprend ainsi l'évolution de la fonction de transfert décrite en 1, qui résulte de la superposition d'écoulements souterrains lents et d'écoulements de surface dont l'extension s'accompagne d'un ralentissement du transfert.

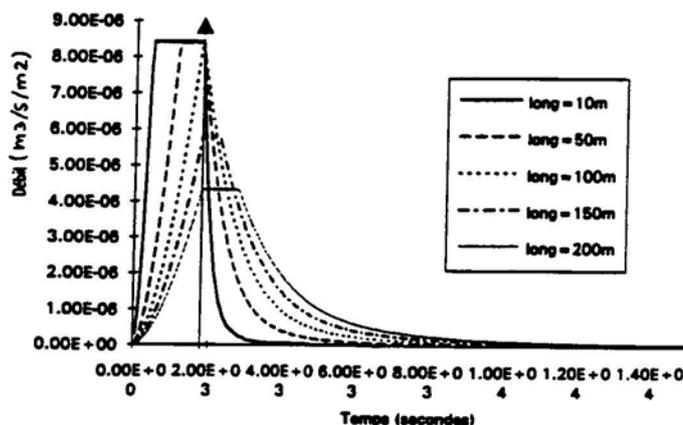


Figure 5 Evolution de l'hydrogramme des écoulements de surface modélisé en bas de versant, en fonction de la longueur du plan contributif.

Conclusion:

Nos mesures et nos modélisations à l'échelle du versant confirment que les écoulements de crues correspondent à une superposition d'une composante souterraine - laquelle provient certes des eaux de la nappe profonde mais aussi et peut-être surtout des eaux d'une nappe superficielle fugitive- et d'une composante de surface engendrée par la présence d'une zone saturée qui s'explique par la présence de la végétation et de ses racines.

Les modèles de simulation et de prévision des crues qui s'appuient sur un concept d'écoulements provenant en partie d'eaux souterraines et d'eaux de surface générées par des surfaces saturées semblent donc devoir bien convenir pour les bassins et sous-bassins du Réal Collobrier. TOPMODEL, qui d'autre part suppose une loi exponentielle conforme à nos observations pour la conductivité hydraulique, paraît donc bien adapté à nos besoins pour les bassins montagneux méditerranéens.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES:

Gréillon J.M. et Neyret-Gigot J.M. 1992 "Analyse de la stabilité des fonctions de transfert des petits bassins versants - Application au Réal Collobrier
Assemblée Générale de l'E.G.S. - Edimbourg U.K. Avril 1992

Le Meillour F. 1993 "Un modèle numérique pour le traitement des écoulements de surface par l'approximation de l'onde cinématique"
Note intérieure LTHE

- Le Meillour F. et Grésillon J.M. 1993 "Caractérisation hydraulique des écoulements de surface sur le bassin versant des Maurets"**
Communication au GIS Réal Collobrier. Novembre 1993
- Neyret-Gigot J.M. 1992 "Analyse de la variabilité de la Fonction de Transfert d'un bassin versant et développement d'un modèle conceptuellement paramétré: le modèle STORHY. Application au bassin du Réal Collobrier"**
Thèse de Doctorat de l'Université J. Fourier - Octobre 1992
- Obled C. et Grésillon J.M. 1993 Rapport final du projet: "Prévision des crues: expérimentations et modélisations cognitives de petits bassins versants de montagne"**
Convention "Etat-Région INPG (N° 89-4-38-04) 38p.
- Taha A. 1991 "Modélisation de l'écoulement en milieu non saturé sur versant incliné soumis à la pluie."**
D.E.A. Mécanique des Milieux Géophysiques et Environnement Sept. 1991
- Taha A. et Grésillon J.M. 1993 "L'infiltration sur le versant des Maurets"**
Communication au GIS Réal Collobrier. Novembre 1993
- Wendling J. 1992 "Modélisation pluie débit: comparaison d'approches conceptuelles / physico-déterministes, globales/semi-distribuées. Essai de prise en compte de la variabilité spatiale des pluies. Application au bassin versant du Réal Collobrier"**
Thèse de Doctorat de l'INPG Janvier 1992