

Claude COSANDEY
Laboratoire de Géographie Physique "Pierre Birot"
CNRS, 1 pl. A. Briand, 92190 MEUDON.

FORET, PATURAGE ET CRUES EN MOYENNE MONTAGNE MEDITERRANEENNE

RESUME : L'étude des processus responsables des écoulements de crue est menée dans deux petits bassins expérimentaux situés sur le flanc Sud du Mont Lozère, qui connaît des pluies abondantes et des crues brutales. L'un des bassins est occupé par une pessière de reboisement récent, et l'autre par une pelouse pâturée.

Les sols, peu profonds, développés sur arène granitique, sont très filtrants. Dans un tel milieu, un ruissellement important ne peut se produire que lorsque les sols sont saturés, en conformité avec la théorie des "aires contributives saturées". Ce type de situation ne se rencontre qu'au moment des gros épisodes pluvieux d'automne et de printemps, qui présentent généralement des intensités assez faibles, mais des totaux pluviométriques importants (> 300 mm) ; en outre, ces épisodes se produisent le plus souvent sur un sol déjà réhumecté. Lors de ces "pluies cévenoles", les conditions d'apparition des crues, comme les coefficients de ruissellement, sont sensiblement les mêmes dans les deux bassins, quelque soit le couvert végétal et l'utilisation du milieu.

Il n'en est pas de même lors des orages d'été, dont les totaux sont moins importants mais les intensités beaucoup plus fortes. Le bassin en forêt, dont toute la surface est bien couverte par la végétation, ne connaît pas de crue. En contrepartie, dans le bassin en pelouse, il existe des plages de sol à nu ou mal couvert par la végétation : draille suivie par les troupeaux, ravines d'érosion plus ou moins bien cicatrisées, aires de repos des brebis. L'absence de protection soumet directement la surface des sols à l'impact des gouttes de pluies, qui provoque le colmatage de la porosité de surface. La capacité d'infiltration diminue fortement, et il se forme un ruissellement capable de rejoindre le drain principal et d'induire une pointe de crue.

La réponse aux pluies, en terme d'écoulement de crue, n'est donc pas toujours la même dans le bassin pâturé et dans le bassin forestier. Il importe toutefois de noter que seule la saturation des sols est capable de produire des crues importantes et que, dans ce cas, la différence de couvert végétal ne joue certainement pas un rôle déterminant.

MOTS-CLES : Formation des crues ; Hydrologie forestière.

Introduction

Les déboisements qui ont accompagné en France l'essor démographique des XVIII èmes et du début du XIX ème siècle ont été considérés comme principaux responsables de l'érosion et de l'aggravation des crues qui ont marqué cette période. Dans le cadre d'une politique de "Restauration des Terrains de Montagne" (R.T.M.) des reboisements systématiques ont alors été entrepris, notamment dans le Sud des Cévennes.

Actuellement, le rôle protecteur de la forêt est loin d'être aussi simplement admis par la communauté scientifique. Si une action modératrice des crues lui est généralement reconnue, celle-ci est toutefois remise en question par de nombreux auteurs en ce qui concerne les crues les plus importantes, notamment celles qui se produisent après saturation généralisée des sols.

L'étude des processus responsables des écoulements rapides de crue, en permettant de préciser le rôle effectif joué par la végétation, doit permettre de progresser dans la compréhension du rôle hydrologique de la forêt. Cette étude est menée dans le sud des Cévennes dans deux petits bassins expérimentaux, l'un occupé par un reboisement en épicéas et l'autre par une pelouse pâturée. Les résultats doivent conduire à préciser dans quelle mesure les différences de fonctionnement hydrologiques observées entre les deux bassins sont imputables aux différences de végétation.

1. Les bassins versants expérimentaux du mont Lozère : Conditions géographiques et dispositif expérimental.

Les bassins versants du Mont Lozère, équipés en 1981 et suivis depuis, sont situés dans le sud du Massif central, à une altitude variant de 1260 à 1387 m. (fig 1).

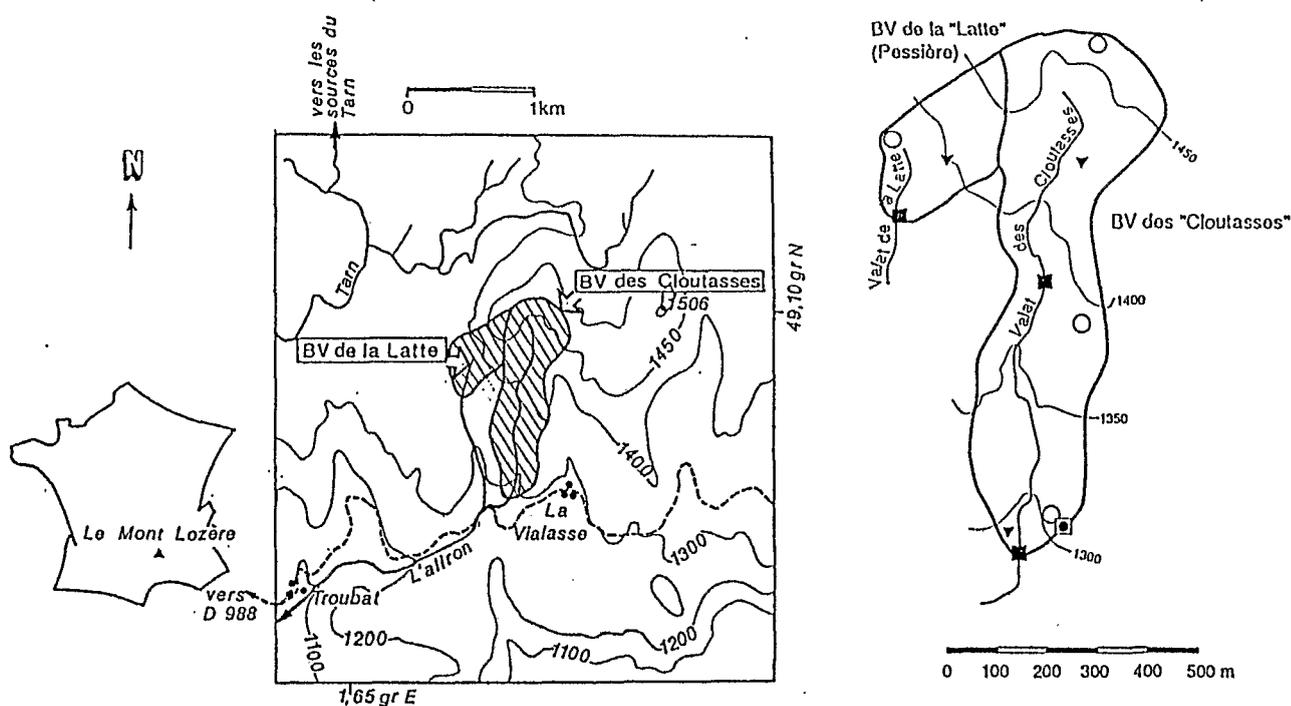


Fig.1 - Situation géographique des bassins du Mont Lozère, et dispositif expérimental (1 : limnigraphie ; 2 : tube à neige ; 3 : pluviographe ; 4 : thermographe).

Le granite, dit "du Pont de Montvert" considéré comme homogène qui constitue la roche-mère est recouvert par des sols minces de type ranker ou bruns ocreux humifères, développés sur une arène elle-même généralement peu profonde (DURAND, 1989). La texture grossière de ces sols (S.G. 50 à 60% ; S.F. 14 à 16% ; L. 20% ; A. 2% ; BOUDJEMLINE, 1987) les rend particulièrement filtrants, ce que confirme une campagne de simulation de pluie (COSANDEY, BOUDJEMLINE & al., 1990).

La pluviosité annuelle est élevée, variant pour la période d'étude de 1418 à 2240 mm. A ces pluies abondantes s'ajoute le fait que la hauteur totale des précipitations au cours d'un même épisode pluvieux peut être considérable : il a été relevé, par exemple, plus de 400 mm en 48 h entre le 6 et le 8 novembre 1982, et 389 mm du 13 au 15 novembre 1986. Enfin, les intensités peuvent être très fortes, surtout au cours d'orages d'été : 78 mm/h pendant 1/2 heure le 30 juillet 1982, au cours d'une précipitation totale de 127 mm ; 90 mm/h pendant une demi-heure également, le 18 juillet 1985 ; 90 mm en 3 heures en Juillet 1990. Ces différentes valeurs ont en outre été largement dépassées au cours des pluies du 22 septembre 1992 ; si la hauteur totale des précipitations n'a pas été exceptionnelle (de l'ordre de 300 mm), les intensités, elles, l'ont été : il est en effet tombé 72 mm en une demi-heure, et près de 200 mm en 3 heures.

Le bassin de la Latte, planté d'épicéas d'environ 70 ans, présente une superficie de 19.5 ha.. Celui des Cloutasses, occupée par une pelouse pâturée localement envahie par les genêts, a une surface de 81 ha. Les versants sont localement dégradés par des passages d'ovins et il s'y remarque la présence de ravines d'érosion plus ou moins cicatrisées.

Les bassins sont équipés d'un seuil de jaugeage avec déversoir en V permettant une mesure fine des faibles débits ; les valeurs supérieures sont déduites d'un modèle hydraulique.

Les précipitations sont connues à l'aide de quatre pluviographes situés dans et autour du bassin, dont les enregistrements sont corrigés par des contrôles "au seau" et par les données de trois totalisateurs (fig. 1).

L'équipement de la station de recherche comprend en outre une station météorologique (T°, insolation, humidité, vent) et un autre bassin occupé par une hêtraie climacique.

2 - Les crues "cévenoles" dans le bassin de la Latte.

De premières études avaient mis en évidence le fonctionnement hydrologique particulier de ces petits bassins versants de moyenne montagne, qui connaissent à la fois des sols peu épais et très filtrants et des abats d'eau considérables. Il était en effet apparu que les crues importantes, dite "cévenoles", ne se produisaient que lorsqu'un certain seuil, correspondant au dépassement de la capacité de stockage pour l'eau de l'ensemble des altérites du bassin, était dépassé (COSANDEY & DIDON, 1990). Lorsque ce seuil n'était pas atteint, les crues, en dépit d'abats d'eau qui ont pu dépasser 200 mm (comme par exemple lors de l'épisode pluvieux des 13-14 octobre 1986 ; COSANDEY, 1993), étaient toujours très faibles, particulièrement dans le bassin de la Latte où le coefficient de ruissellement ne dépasse jamais 3%. Il en résulte un type de fonctionnement dual, où les crues sont soit très faibles, soit très importantes, comme cela s'observe sur la figure 2 :

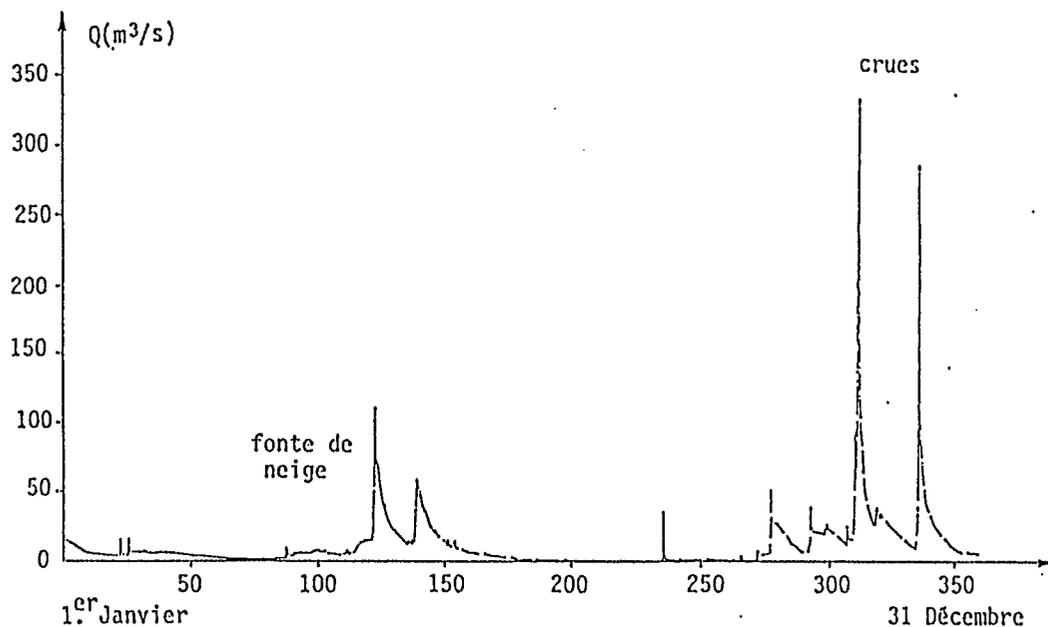
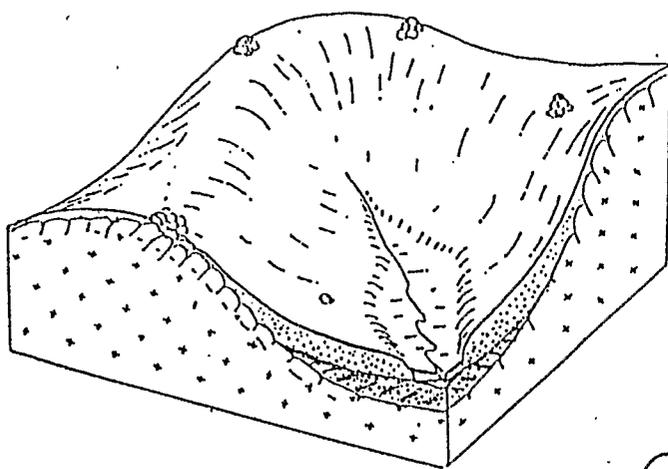


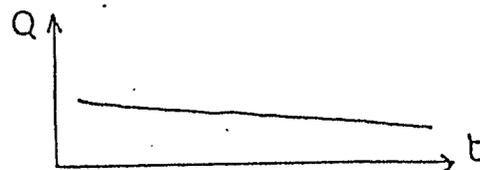
Fig.2 - Chronique des débits instantanés pour l'année 1984 dans le bassin de la Latte.

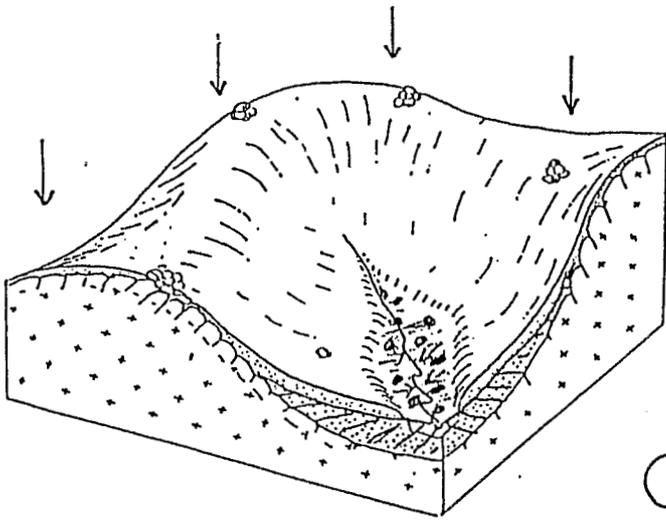
Hors de la période de fonte des neiges, les pointes de crues sont, soit inférieures à 50 l/s, soit alors 5 à 6 fois plus fortes. Il n'y a pas d'événements intermédiaires.

Les études qui viennent d'être évoquées ont abouti à proposer un modèle de fonctionnement hydrologique capable de rendre compte de ces observations (COSANDEY, 1993). Ce modèle peut se représenter de la façon suivante (fig 3).



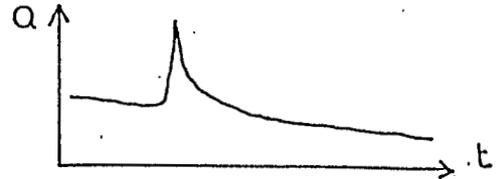
Lorsqu'il ne pleut pas, la nappe de fond de vallon est drainée par le cours d'eau qu'elle alimente.



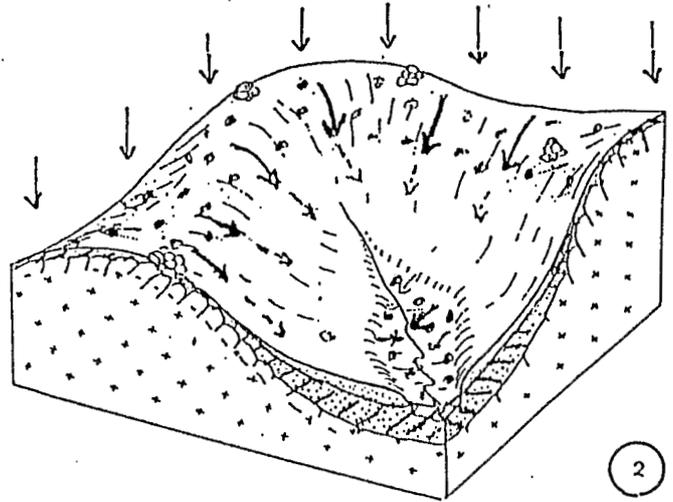
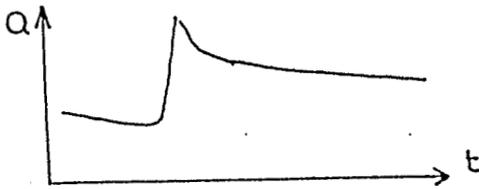


1

Une faible quantité de pluie peut suffire à faire affleurer la nappe en fond de vallon : l'écoulement rapide se limite à cette zone ; ce sont les "petites crues" étudiées plus haut.

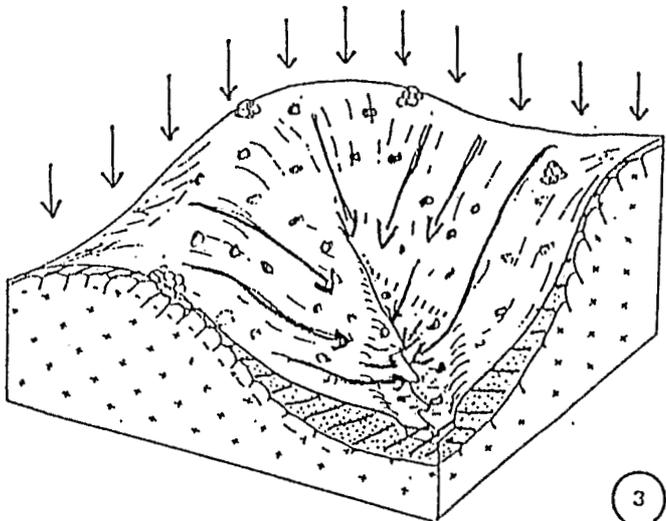


Si la pluie continue, des volumes saturés apparaissent là où les sols sont les plus minces, en haut des versants. Mais la pluie qui y ruisselle se réinfiltré immédiatement en aval et, si elle contribue à la réalimentation de la nappe, ne participe pas à l'écoulement de crue, qui demeure très faible.



2

Si la pluie continue encore, la saturation de haut de versant gagne rapidement les pentes moyennes et rejoint la zone saturée de fond de talweg. Ce point atteint, il n'y a plus de zone-tampon et le ruissellement se produit sur l'ensemble du versant et rejoint le cours d'eau. La montée de crue est extrêmement rapide et importante.



3

le limnigramme prend alors une allure de ce type :

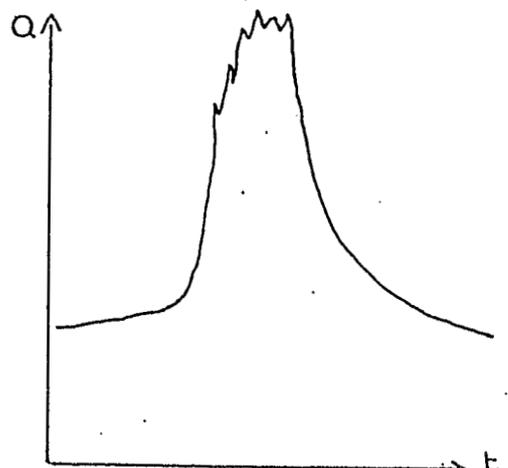


Fig . 3 - Les processus de formation de l'écoulement rapide de crue lors des "petites crues" et lors des "cruves cévenoles"

Cette figure permet de comprendre que, lorsque l'ensemble des formations superficielles du bassin sont saturées - et à partir de ce moment seulement - la montée de crue peut s'amorcer réellement. La valeur du seuil correspondant à ce maximum de stockage peut se calculer : d'une part, l'étude des courbes de décrue permet de connaître la quantité d'eau présente dans la réserve hydrologique au moment où cesse la crue (COSANDEY et DIDON-LESCOT, 1990) ; d'autre part la teneur en eau des sols réessuyés se confond ici avec la "réserve utile", étant donné la faible épaisseur des sols. Ainsi, pour le bassin de la Latte, ce seuil a été estimé à 270 mm. Les observations de terrain ont permis de valider cette valeur, en montrant que d'une part, aucune crue importante ne pouvait se produire lorsque le seuil n'était pas atteint, et que, d'autre part, une montée de crue soudaine et rapide se produisait chaque fois qu'il était dépassé (COSANDEY, 1993). Ce modèle s'est par ailleurs vérifié lors de la crue du 22 septembre 1992 où, en dépit de très fortes intensités, les débits sont demeurés très faibles tant que le seuil n'a pas été atteint (COSANDEY, 1993).

3 - Les crues "cévenoles" dans les bassins des Cloutasses.

Si le fonctionnement est le même lors des crues "cévenoles" dans le bassin des Cloutasses, la valeur du seuil n'est que de 230 mm. Cette différence explique le démarrage généralement plus précoce des crues, comme cela peut s'observer lors des événements d'octobre 1987 (fig. 4).

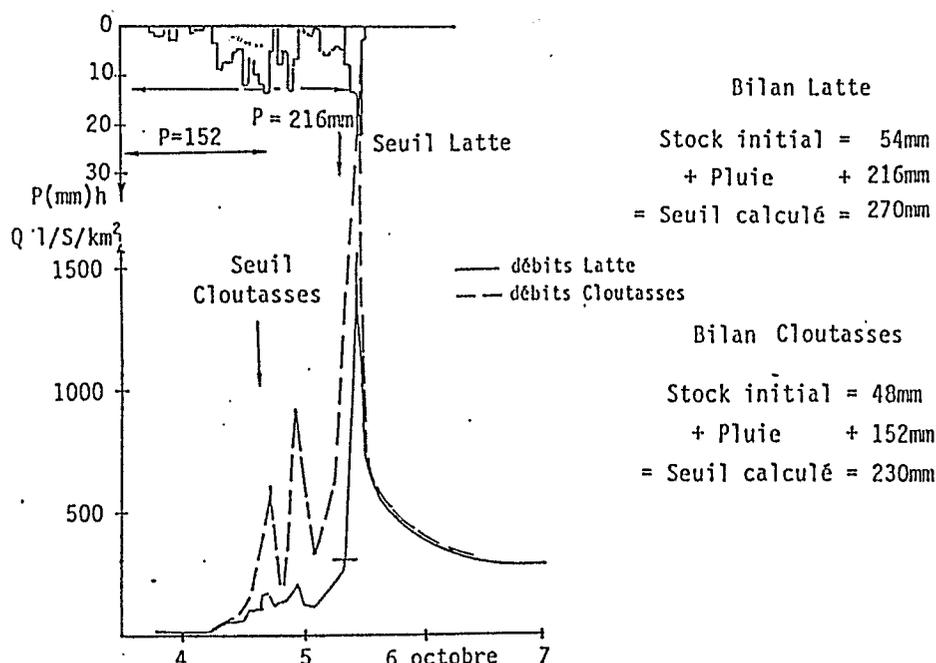


Fig. 4 - Première crue d'automne en 1987 dans les bassins de la Latte et des Cloutasses.

Dans cet exemple, le décalage entre les deux bassins est d'autant plus important qu'il s'agit d'une première pluie, se produisant sur des bassins dont les réserves sont presque totalement épuisées.

Cet écart de valeurs du seuil se retrouve aussi lorsqu'on compare les volumes écoulés dans les deux bassins (fig. 5) :

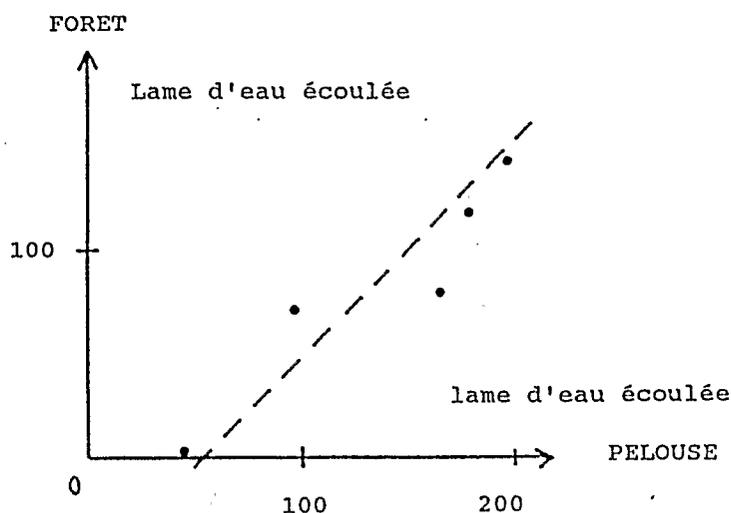


Fig 5 : Lames d'eau écoulées (en mm.) lors des crues "cévenoles" dans les bassins de la Latte et des Cloutasses.

Le décalage d'ordonnée à l'origine s'explique par des valeurs différentes du seuil de déclenchement des crues. Mais il est à noter que, en dehors de ce décalage, les volumes écoulés sont du même ordre de grandeur dans les deux bassins, témoignant que les fonctionnements hydrologiques responsables des écoulements de crue ne sont pas différents.

Il apparaît donc que les différences observées entre les "grosses crues" se produisant dans les bassins de la Latte et des Cloutasses peuvent s'expliquer convenablement par la seule différence de valeur du seuil de déclenchement. Or ce seuil dépend probablement davantage de facteurs géomorphologiques (les formations superficielles sont en général plus épaisses dans le bassin de la Latte), que du type de végétation. En effet, si l'interception par la végétation forestière peut souvent jouer un rôle non négligeable (CALDER, 1990), son importance relative est d'autant plus faible que les précipitations sont abondantes et intenses, ce qui est particulièrement le cas ici. Par ailleurs, l'écart entre les bassins ne paraît pas dépendre de la hauteur de précipitation nécessaire pour atteindre le seuil, ce qui devrait être le cas si l'interception jouait un rôle déterminant.

4 - Les "petites crues" dans les bassins de la Latte et des Cloutasses.

Les "petites crues" sont, par définition, celles qui se produisent lorsque le seuil n'est pas atteint.

Dans le bassin de la Latte, on vient de le voir (fig.2), ces crues sont toujours très faibles. En contrepartie, dans le bassin des Cloutasses, le fonctionnement dual est beaucoup moins tranché et il existe une gamme de "petites crues" beaucoup plus étendue comme en témoigne la figure 6 :

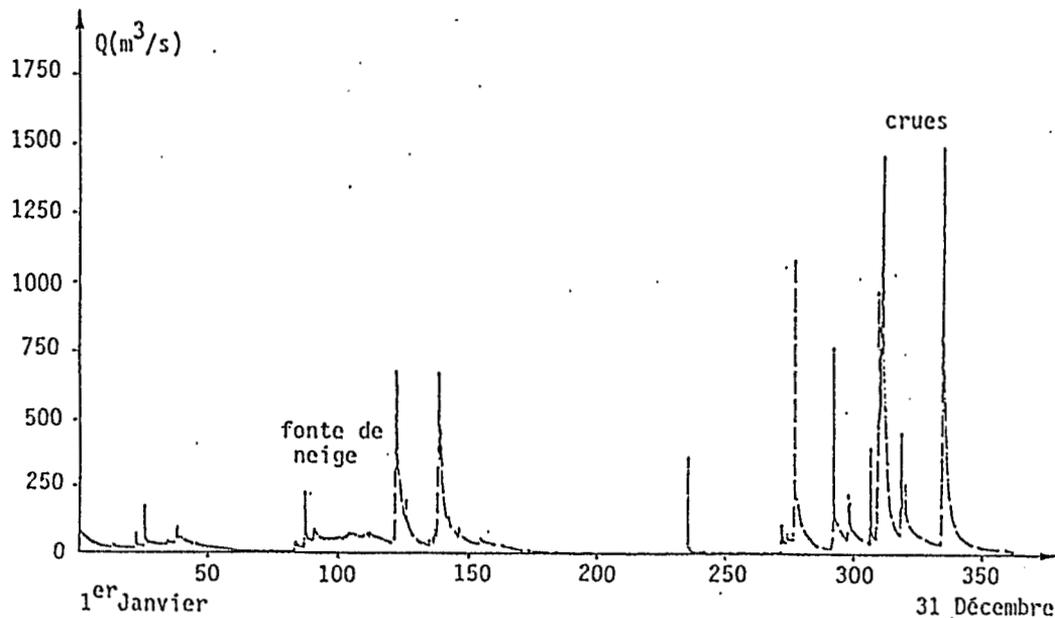


Fig.6 - Chronique des débits instantanés pour l'année 1984 dans le bassin des Cloutasses

Cette figure, comparée à la figure 2 concernant le bassin de la Latte, permet de constater que les "petites crues" sont à la fois plus nombreuses et plus importantes, témoignant de fonctionnements hydrologiques différents.

Il est à remarquer par ailleurs que, s'il existait une bonne relation entre les lames d'eau écoulées des deux bassins lors des crues "cévenoles" (fig. 5), cette relation n'existe plus du tout lorsqu'il s'agit des "petites crues", comme cela s'observe sur la figure 7 :

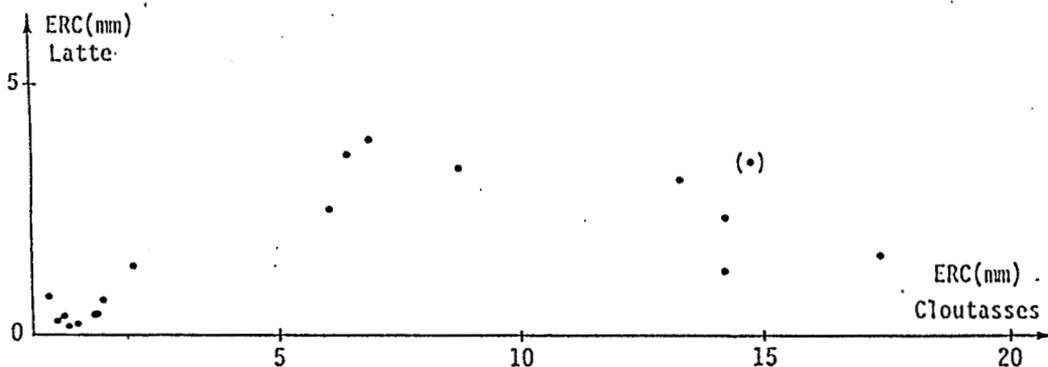


Fig.7- Lames d'eau écoulées ("ERC") lors des "petites crues" dans les bassins de la Latte et des Cloutasses.

En effet, s'il paraît exister une relation entre les lames d'eau écoulées dans les deux bassins lors des plus faibles des "petites crues", cette relation ne se confirme pas lorsque les écoulements deviennent plus importants, et les débits spécifiques sont toujours plus abondants dans le bassin des Cloutasses. Ces résultats s'expliquent aisément lorsqu'on considère les processus responsables des écoulements dans les deux bassins :

- Dans le bassin de la Latte, bien couvert par la végétation, l'écoulement rapide ne trouve son origine que sur les zones saturées de fond de vallon, selon la théorie classique des "aires contributives saturées" (DUNNE & BLACK, 1970). Partout ailleurs les sols, bien protégés de l'impact des gouttes de pluie par la végétation, conservent leur perméabilité de surface : aucun ruissellement ne peut se former sur les versants.

- Il n'en est pas de même dans le bassin des Cloutasses. Il existe en effet dans ce bassin certains endroits- draille, ravines, ou simplement surfaces dégradées par le piétinement des ovins- qui présentent de larges plages de sol à nu. Particulièrement lors des orages d'été, au cours desquels les intensités peuvent être très fortes, le sol se ferme sous l'impact des gouttes de pluies, formant des "OPS" (ou "Organisation Pelliculaire Superficielles", VALENTIN, 1985) qui réduisent considérablement la perméabilité et permettent à un ruissellement très localisé de se former et de s'organiser. Un bon exemple du comportement différent des deux bassins est fourni par l'orage du 30 juillet 1982 (fig. 8).

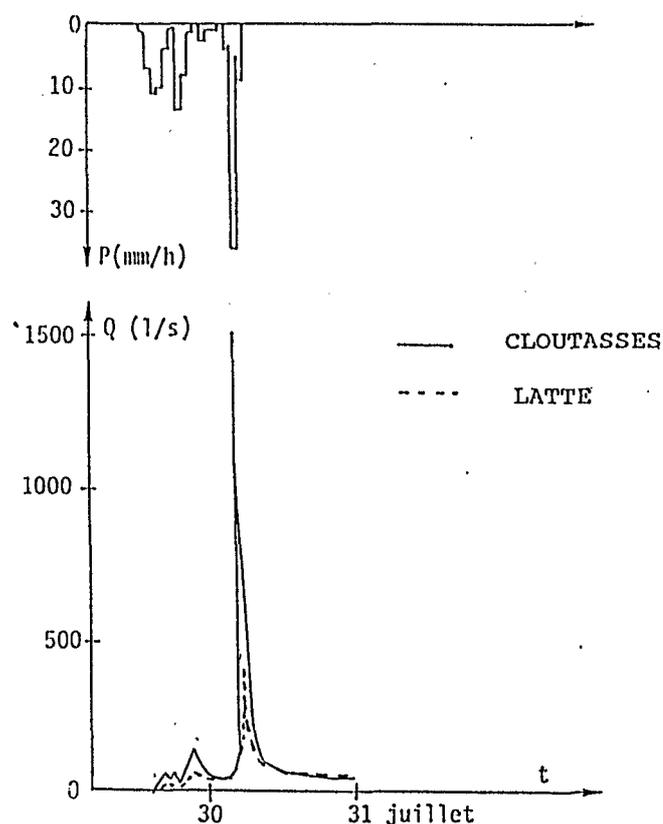


Fig. 8 - La crue du 30 juillet 1982 dans les bassins de la Latte et des Cloutasses. (Les débits de la Latte sont calculés pour un bassin de surface équivalente à celle du bassin des Cloutasses)

En dépit des très fortes pluies (130 mm en moins de 24 heures), l'écoulement de crue est très limité dans le bassin de la Latte. Il n'en n'est pas de même dans le bassin des Cloutasses, où, même si les volumes écoulés demeurent faibles (13.3 mm) la pointe de crue atteint 1500 l/s (soit près de $2\text{m}^3/\text{s}/\text{km}^2$), ce qui s'explique par l'occurrence d'un ruissellement direct important, qui s'observe d'ailleurs très aisément sur le terrain.

Un autre processus peut également intervenir, dans des conditions hydriques favorables, dans le bassin des Cloutasses : lorsque la nappe de versant est assez haute, il se peut que la recharge par la pluie soit suffisante pour permettre à cette nappe d'affleurer dans le fond des ravines entaillant les versants. Celles-ci jouent alors le rôle de drain, et transforment en écoulement de surface l'eau qui aurait, en leur absence, circulé moins rapidement dans l'épaisseur même du sol, et n'aurait donc pas participé au débit de crue.

5 - Les différences de fonctionnement hydrologiques observées sont-elles imputables à la différence de couverture végétale ?

Les différences de fonctionnement hydrologique entre les deux bassins semble avoir deux causes : un volume de formations superficielles globalement plus important dans le bassin de la Latte (qui permet un stockage d'eau plus important, donc un "débordement" plus tardif, mais aussi un soutien d'étiage plus important) ; un état de surface plus dégradé, donc plus propice à la formation d'un ruissellement de surface dans le bassin des Cloutasses. Ce dernier point résulte de la différence d'utilisation du milieu par l'homme, qui est en relation avec le type de végétation.

Peut-on, pour autant, conclure que c'est la différence de végétation, en elle-même, qui implique la différence de fonctionnement hydrologique ? Probablement non :

- Les écarts dans les valeurs du seuil sont imputables principalement à la géomorphologie des bassins. Le rôle de l'interception d'une partie de la pluie incidente par la végétation forestière,, mis en avant dans d'autres travaux (on peut citer notamment CALDER, 1990) ne joue probablement pas un rôle important ici. Les raisons sont liées d'une part à l'abondance et l'intensité des précipitations (l'interception a une importance relative, d'autant plus grande que les intensités sont faibles et les pluies rares), et d'autre part à la situation altitudinale de cette forêt, propice à la captation des brouillards. Des mesures directes tendent d'ailleurs à faire état d'une interception nulle, sinon négative (DIDON-LESCOT, communication orale, Sept. 1993). Enfin, les décrues moins rapides dans le bassin de la Latte que dans celui des Cloutasses confirment la présence d'une réserve hydrologique plus importante dans le bassin en forêt.

- Le bassin en pelouse présente des surfaces dégradées ce qui permet à un ruissellement non saturé de se produire. Mais cette dégradation est liée aux activités humaines, et non au type de végétation en lui-même. Différents auteurs soulignent la différence de comportement, au regard du ruissellement et de l'érosion qui en résulte, des prairies pâturées et non pâturées (SARTS & TOLSTED, 1974 ; MUXART & al., 1990). Dans le bassin même des Cloutasses, les expériences de simulation de pluie déjà évoquées avaient montré que, là où la pelouse est en bon état, aucun ruissellement non saturé ne pouvait se produire, même après 500 mm. de pluie avec des intensités dépassant 150 mm/h.

Conclusion.

L'étude des processus responsables des écoulements de crue a été menée dans deux petits bassins versants de moyenne montagne méditerranéenne, qui diffèrent essentiellement par leur couverture végétale. La finalité de cette étude était de préciser le rôle hydrologique de la forêt, dans ces régions où le reboisement avait souvent été proposé comme remède aux crues "cévenoles", souvent catastrophiques.

Les résultats font apparaître que les fonctionnements hydrologiques des deux bassins sont très différents lors des "petites crues" - celles qui se produisent lorsque le seuil n'est pas atteint - Dans le bassin de la Latte, l'écoulement de crue ne se forme que sur les surfaces saturées de fond de vallon, dont l'extension est très limitée ; dans le bassin des Cloutasses s'y ajoute un ruissellement généré sur des sols non saturés mais dégradé, dont la perméabilité diminue sous l'impact des gouttes de pluie. Ce ruissellement, s'il est incapable d'écouler des volumes importants, est capable de produire des pointes de crue très vives.

Les comportements hydrologiques sont beaucoup moins différents lors des grosses crues, de type "cévenol". Dans l'un comme l'autre bassin, la montée de crue ne s'amorce de façon durable que lorsqu'un seuil, correspondant à la capacité maximum de stockage du bassin, est atteint. La valeur de ce seuil un peu plus faible dans le bassin en pelouse explique un démarrage souvent plus précoce et des volumes de crue un peu plus importants dans ce bassin.

Toutefois, ces différences de fonctionnement hydrologiques - somme toute minimes en ce qui concerne les plus fortes crues - ne paraissent guère imputables à la différence de végétation, mais plutôt à la géomorphologie et à l'usage du milieu qu'en font les sociétés humaines.

Mais il est probable aussi que la répartition dans l'espace des différents types de couverts végétaux n'est pas aléatoire, mais intègre un certain nombre de caractéristiques du milieu, que d'ailleurs la végétation peut ensuite contribuer à modifier. C'est probablement aussi pour ces raisons que le rôle spécifique d'un type de couvert végétal est si difficile à mettre évidence, puisqu'il n'est indépendant ni des conditions pédologiques et géomorphologiques, ni du mode de gestion du milieu par les sociétés humaines.

BIBLIOGRAPHIE :

BOUDJEMLINE D. - 1987 - Sensibilité au ruissellement et aux transports solides de sols à textures contrastées. Etude expérimentale au champs sous pluie simulées. Thèse de 3ème cycle, Université d'Orléans.

CALDER I.R. - 1990 - Evaporation in the Upland. John Wiley & sons, Chichester.

COSANDEY C. - 1993 - Forêt et écoulements : rôle de la forêt sur la formation des crues et sur le bilan d'écoulement annuel. Rapport sectoriel de fin de contrat CEE, Meudon, 82 p..

COSANDEY C. - 1993 - La crue du 22 Septembre 1992 sur le Mont Lozère. Revue de Géomorphologie dynamique, Strasbourg, XLII, n° 2, pp.49-56.

COSANDEY C., BOUDJEMLINE D., E. ROOSE, F.LELONG - 1990 - Etude expérimentale du ruissellement sur des sols à végétation contrastée du Mont Lozère "Zeit. für Geomorph.", N.F. 34-1, pp. 61-77, Berlin-Stuttgart, März 1990.

COSANDEY C. et DIDON-LESCOT J.F.- 1990 - Etude des crues cévenoles. Conditions d'apparition dans un petit bassin forestier sur le versant sud du Mont Lozère, France. "Regionalisation in Hydrology", IAHS publ. 191.

DUNNE T. & BLACK R.D. - 1970 - Partial area contributing to runoff production in permeable soils. Water Res; Research, 6, n° 2.

DURAND P.- 1989 - Biochimie comparée de trois écosystèmes (Pelouse, Hêtraie, Pessière) de moyenne montagne granitique (Mont-Lozère, France). Thèse de Doctorat de l'université d'Orléans.

MUXART T. , COSANDEY C. et BILLARD A. - 1990 - L'érosion sur les Hautes Terres du Lingas : un processus naturel, une production sociale. Mémoires et documents de Géographie, Ed. du C.N.R.S., Paris, 146 p.

SARTS R.S.& TOLSTED D.N. - 1974 - Effects of grazing on runoff from two small watersheds in Southwestern Wisconsin. Water Res. Research, vol 10 n° 2.

VALENTIN Ch - 1985 - Organisations pelliculaires superficielles de quelques sols de région subdésertique. Ed. de l'O.R.S.T.O.M., Paris, 259 p.

**RESEAU
EROSION**



Référence bibliographique Bulletin du RESEAU EROSION

Pour citer cet article / How to cite this article

Cosandey, C. - Forêt, pâturage et crues en moyenne montagne méditerranéenne, pp. 490-501, Bulletin du RESEAU EROSION n° 14, 1994.

Contact Bulletin du RESEAU EROSION : beep@ird.fr