

Z. Geomorph. N. F.	34	1	61-73	Berlin · Stuttgart	März 1990
--------------------	----	---	-------	--------------------	-----------

Etude expérimentale du ruissellement sur des sols à végétation contrastée du Mont Lozère

par

C. COSANDEY, D. BOUDJEMLINE, E. ROOSE et F. LELONG

avec 2 figures et 6 tableaux

Zusammenfassung. Ein Regensimulator wurde verwendet, um die Entstehungsbedingungen für Oberflächenabfluß und die Grenzwerte für die Infiltrationsraten in Beziehung zu den unterschiedlichen Böden im granitischen Mont Lozère zu untersuchen. Die Ergebnisse der Infiltrationsraten zeigen sehr hohe Werte ebenso wie eine sehr große räumliche Variabilität. Die Interpretation führt zu dem Schluß, daß der Interflow (an der Obergrenze des Anstehenden) der Hauptprozeß für den Abfluß des Wassers vom Niederschlagspunkt bis zum Fluß ist, daß Oberflächenabfluß an Hängen auch auftreten kann und hauptsächlich zu Hochwassern beiträgt. Weiterhin scheint eine gute Grasdecke ebenso Schutz gegen Abfluß und Abtragung zu bieten wie die Waldstreu in den untersuchten Gebieten.

Summary. A rainfall simulator was used to study the conditions leading to surface runoff and to determine maximum values for infiltration, both in relation to various types of soil cover growing on shallow granite regolith on Mt. Lozère. The results are that the infiltration capacity in this type of environment is very high, but also subject to considerable spatial variation. This leads to the conclusion that, although throughflow remains the essential process for transferring water from its area of rainfall to the river, surface runoff cannot be excluded and may considerably contribute to flooding. It also appears that an intact grass cover offers as much protection against runoff and erosion as the forest litter in the area studied.

Résumé. Les conditions d'apparition du ruissellement de surface, et les valeurs limites que peut atteindre l'infiltration sont étudiés expérimentalement par simulation de pluie sur des sols à végétation contrastée du Mont Lozère (sud du Massif Central, France), développés sur arène granitique peu profonde. Les résultats mettent en évidence la forte capacité d'infiltration du milieu naturel, mais aussi la grande variabilité spatiale de cette capacité d'infiltration, pour aboutir à un schéma de fonctionnement dans lequel, si la circulation hypodermique, à la limite de la roche saine, demeure le processus essentiel de transfert de l'eau entre son point de chute et le cours d'eau, le ruissellement sur les versants n'est pas exclu et peut jouer un rôle important dans la formation des crues. Par ailleurs il semblerait qu'une pelouse en bon état, couvrant parfaitement le sol, présente une aussi bonne protection contre le ruissellement et l'érosion que les litières forestières testées.

0372-8854/90/0061 \$ 3.25

© 1990 Gebrüder Borntraeger, D-1000 Berlin · D-7000 Stuttgart

ORSTOM Fonds Documentaire

04 SEP. 1990

N° : 30.482 ex 1

Cote : B M P181

Qu'il s'agisse de prévision des crues, d'érosion ou d'interprétation de bilans hydrochimiques, la connaissance des conditions de génèse du ruissellement de surface, comme celle des valeurs *minimum* de la capacité d'infiltration des sols, est fondamentale.

La théorie de HORTON, selon laquelle le ruissellement est généré sur l'ensemble du bassin-versant par des pluies dont l'intensité dépasse la capacité d'infiltration des sols à longterm fait autorité, jusqu'à ce que les observations de terrain aient mis en évidence le fait que des crues se produisaient avec des précipitations d'intensités bien inférieures à la capacité d'infiltration des sols, telle qu'elle pouvait être mesurée à l'aide d'infiltromètres de surface, de type Müntz par exemple. C'est alors qu'est apparue, dès 1960 dans les travaux de CAPPUS (1960), l'idée selon laquelle seules les précipitations qui tombaient sur une petite partie du bassin-versant, généralement sur des zones proches du talweg et quasi saturées par la proximité de la nappe, étaient à l'origine de l'écoulement rapide de crue: cette notion devait se rencontrer simultanément dans la littérature anglo-saxonne sous le nom de "partial contributing area" (RIDDLE 1960 cité par DICKINSON & WHITELEY 1970), bientôt complétée par celle de "variable source area" (DUNNE et al. 1975).

Des travaux récents, qui portent sur des sols tropicaux mal couverts par la végétation (ROOSE et al. 1974, 1978, 1979, 1980; VALENTIN 1981; CASENAVE & VALENTIN 1988) ou sur des sols agricoles en Europe du nord-ouest (BOLLINNE 1982; BOIFFIN 1984; RAFIRINGA 1983; RAHELARIOSSA 1983, 1986; DEUMIER & ROOSE 1986; TREVISAN 1986; BOUDJEMLINE & ROOSE 1986), mettent l'accent sur le rôle que joue l'état de surface du sol dans l'importance du ruissellement; or cet état de surface se modifie sous l'action de l'énergie cinétique des gouttes de pluie, si le sol nu n'est pas protégé; d'où l'importance de l'intensité de la pluie incidente (dont dépend l'énergie cinétique) et de la couverture végétale (dont dépend la protection du sol).

L'une des difficultés de l'étude du ruissellement vient de ce que les observations en conditions naturelles sont longues et aléatoires (les crues importantes sont rares), et que la méthode expérimentale est délicate à mettre en oeuvre: les études en laboratoire sont d'un intérêt restreint, étant donné la complexité des facteurs qui interviennent, et la difficulté à en tenir compte. L'expérimentation de terrain, impossible à l'échelle du bassin-versant, est toutefois menée *in situ* sur des micro-parcelles depuis quelques années, à l'aide de simulateurs de pluies.

Cette technique, née aux Etats-Unis, a été développée en Afrique, puis en France par les chercheurs de l'ORSTOM (ROOSE 1968; ASSELINE & VALENTIN 1976; LAFORGE & NAAH 1976; ROOSE & ASSELINE 1976; COLLINET & VALENTIN 1981; ROOSE & MASSON 1983; ROOSE & BOUDJEMLINE 1985); elle est maintenant largement utilisée en France (MASSON & ROOSE 1983; RAFIRINGA 1983; COSANDEY et al. 1986; GRIL 1986; RAHELARISOA 1986; TREVISAN 1986; BOUDJEMLINE 1987; JARRY 1987). La petite taille des parcelles expérimentales (1 m², entouré d'un anneau de garde de 3 à 10 m²) permet d'étudier la variabilité spatiale de l'infiltration, mais ne permet pas d'intégrer l'influence des écoulements de profondeur le long de la topographie, et interdit par là toute extrapolation simple quant à l'interprétation du fonctionnement hydrologique du bassin-versant; par ailleurs, il est probable que la simulation sous couvert forestier reproduit relativement mal les conditions naturelles d'égouttage des arbres. En dépit de ces limites, la simulation de pluie se révèle être un outil utile pour comparer entre elles les réponses d'un même sol à des pluies simulées

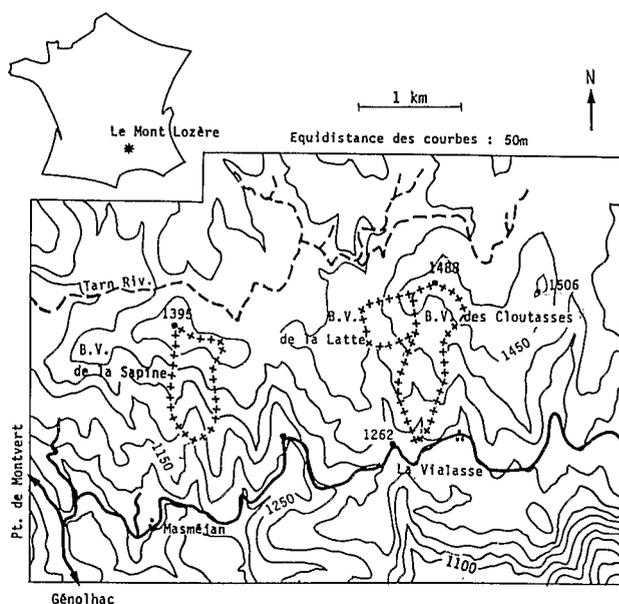


Fig. 1. Localisation des bassins versants expérimentaux du Mont-Lozère. (Extrait de la carte au 1/50 000° de Génolhac)

d'intensités différentes (COSANDEY et al. 1986) ou les réponses de sols différents (quant à leur nature ou leur couverture végétale) à des pluies d'intensités égales, et dont l'énergie cinétique est assez proche de celle des pluies naturelles (VALENTIN 1978) pour que les résultats permettent de progresser dans la compréhension des phénomènes étudiés.

Par une approche de ce type, le ruissellement de surface a été étudié sur le versant sud du Mont Lozère, région qui connaît des précipitations particulièrement violentes (les fameuses averses «cévenoles») du fait de sa position sur le rebord méridional du Massif Central. De plus trois petits bassins expérimentaux (fig. 1), chacun représentatif d'un type de végétation, y sont suivis depuis 1982 (DUPRAZ 1984).

BOUDJEMLINE (1987) dans le cadre d'une thèse de troisième cycle menée sous la direction de E. ROOSE et F. LELONG a particulièrement pris en compte le rôle joué par la nature et l'état de la végétation. De cet ouvrage sont tirées les données exposées ici, avec toutefois des interprétations parfois différentes.

1 Conditions des expérimentations

Le simulateur de pluie, bien décrit par ailleurs (ASSELINE & VALENTIN 1978) se compose d'un gicleur situé à 3,5 m du sol dont l'angle de balancement est réglable, permettant de provoquer des pluies d'intensité variant entre 30 et 150 mm/h; la

surface réceptrice est limitée à 1 M^2 , avec une zone de garde dont la surface dépend de l'angle de balancement. Etant donné, d'une part, la violence des pluies naturelles qui peuvent se produire dans cette région (les courbes d'I/F/D de l'Aigoual, proche, donnent une fréquence biennale à une pluie de 40 mm/h pendant 1/2 heure), leur hauteur journalière considérable (plus de 400 mm ont été recueillis sur le site entre les 6 et 8 novembre 1982) et d'autre part, la nécessité d'obtenir rapidement des résultats, la gamme des pluies expérimentales choisies est comprise entre 70 et 156 mm/h.

Une expérimentation se compose de quatre phases: tout d'abord, aucun ruissellement ne se produit, l'eau étant soit absorbée par le sol, soit retenue en surface dans les micro-dépressions; il s'agit de la *phase d'imbibition*, dont la durée, ainsi que la hauteur de précipitation (P_i = pluie d'imbibition), peut varier considérablement d'un site à l'autre. Puis le ruissellement apparaît, et augmente durant *une phase transitoire*, jusqu'à un palier de stabilisation, à partir duquel, si l'intensité de la pluie incidente ne varie pas, l'infiltration demeure théoriquement constante (LAFORGE 1977): ce sont les valeurs de l'infiltration (F) observées durant cette *phase de stabilisation*, correspondant à l'infiltrabilité minimum, qui vont être étudiées. Enfin, après l'arrêt de la pluie, le ruissellement diminue très rapidement durant une *phase de vidange*.

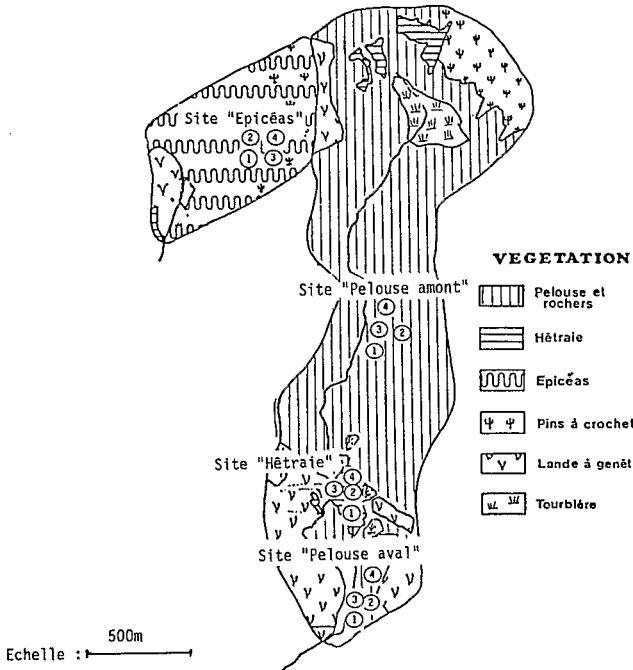


Fig. 2. Végétation et emplacements des parcelles expérimentales (d'après CH. DUPRAZ et D. BOUDJEMLINE).

Le versant sud du Mont Lozère est occupé par des sols minces développés sur une arène granitique, elle-même généralement peu profonde (DUPRAZ 1984). Leur texture grossière (sables grossier: de 50 à 60%; sables fins: de 14 à 16%; limons: 20%; argile: 2 à 7% (BOUDJEMLINE 1987), les rend particulièrement filtrants. La végétation est partagée entre la pelouse d'altitude, pâturée par les ovins et maintenue ouverte grâce au feu pastoral, la lande à callune et genêts qui lui succède en l'absence d'entretien, la hêtraie considérée comme climacique (DEJAN 1982) et les résineux de reboisement récent.

Les simulations de pluie sont menées dans trois de ces milieux: pessière, hêtraie et pelouse, avec une distinction entre pelouse amont et pelouse aval (fig. 2): de plus, dans ce dernier cas, une différence est faite entre pelouse fermée et pelouse dégradée. Les expérimentations ont été effectuées durant le printemps 1985 (15 Mai - 15 Juin) sur des sols convenablement ressuyés, et présentant des teneurs en eau proches de la capacité de rétention (BOUDJEMLINE 1987).

2 Résultats obtenus sur les différents sites

2.1 Pelouse aval

Le site correspondant à la «pelouse aval» occupe d'anciennes terrasses de culture, remarquables par la présence d'un horizon Ap particulièrement profond, par l'absence de blocs en surface et par la moindre proportion des éléments grossiers en profondeur. Par ailleurs, les caractéristiques de la fraction fine ne diffèrent pas significativement de celles des autres sites (DURAND, à paraître).

Dans les quatre parcelles étudiées, le sol n'est jamais à nu, mais protégé soit par la végétation, soit par la litière, soit par des cailloux, si on excepte une taupinière sur la première parcelle¹; toutefois dans les deux premières parcelles, dites «fermées», la pelouse est en meilleur état et occupe davantage de surface que dans les dernières parcelles, dites «dégradées» (respectivement 76 et 100% dans les parcelles à végétation «fermée»; 55 et 63% dans la pelouse dégradée; voir plus loin tableau 6).

Les simulations de pluies ont donné les résultats suivants, quant aux valeurs de la pluie d'imbibition et de l'infiltration stabilisée:

Tableau 1 Pelouse aval.

Pelouse »fermée«			Pelouse »dégradée«								
I mm/h	Pi mm	F mini (mm/h)	I mm/h	Pi mm	F mini (mm/h)	I mm/h	Pi mm	F mini (mm/h)	I mm/h	Pi mm	F mini (mm/h)
98		> .98	104		> 104	102	48?	100	94	31	91
			110		> 110	123		101	104		70
117		> 117	123		> 123	106		93	132		74
Pluie totale = 425 mm F. minimum = Inconnue (> 117 mm/h)			Pluie totale = 337 mm F. minimum = Inconnue (> 123 mm/h)			Pluie totale = 461 mm F. minimum = 93 mm/h			Pluie totale = 436 mm F. minimum = 70 mm/h		

¹ La parcelle 1 du site «pelouse aval» comporte une taupinière, qui se présente sous la forme d'un édifice de terre foisonnée, probablement très filtrante.

Du tableau 1, il ressort que, dans le cas de la pelouse fermée, le ruissellement ne s'observe pas, même après 425 mm de pluie sur la première parcelle, 337 sur la seconde, avec des intensités atteignant 123 mm/h. En revanche, lorsque la pelouse est dégradée, un ruissellement, même s'il est faible, s'observe dans tous les cas, et par ailleurs, l'infiltration minimum varie assez sensiblement d'un site à l'autre, de 93 à 74 mm/h.

Il n'existe pas de relation simple entre l'intensité de la pluie et la valeur de l'infiltration minimum, qui permettrait de conclure avec sûreté à une modification de la couche superficielle du sol sous l'impact des gouttes de pluie. Le rôle joué par la végétation est évident, mais l'état de surface n'est pas le seul, ni probablement le plus important des facteurs intervenants dans la genèse du ruissellement.

2.2 Pelouse amont (tableau 2)

Le site retenu se trouve dans une partie amont du bassin-versant, au dessus d'une zone de ravines partiellement cicatrisées. Les sols y sont moins épais que précédemment, et des plantes résistant bien au déchaussement se mêlent aux graminées (TREVISAN 1982), constituant une végétation plus rase que dans la pelouse aval; malheureusement, aucune étude phytosociologique n'a été faite sur les parcelles elles-mêmes, qui auraient permis une description plus précise. Par ailleurs, ce site est inclus dans un parcours utilisé par les troupeaux transhumants. Les deux premières parcelles sont sur la pelouse proprement dite, avec un sol protégé à 100% (végétation, litière ou cailloux) et la dernière dans une ravine d'érosion, avec un sol nu pour 25% de sa surface.

Tableau 2 Pelouse amont.

Pelouse			Pelouse			Ravine		
I	Pi	F	I	Pi	F	I	Pi	F
70	5	37	92	4	42	75	3	37
77		33	98		33	85		19
90		33	135		52			
Pluie totale: 215 mm F. minimum = 33 mm/h			Pluie totale = 500 mm F. minimum = 33 mm/h			Pluie totale = 180 mm F. minimum = 19 mm/h		

Dans tous les cas et malgré des intensités plus faibles et des hauteurs de précipitation bien moindres, le ruissellement apparaît plus vite, et présente des valeurs plus élevées (jusqu'à 83 mm/h pour une intensité de 135 mm/h). Si la valeur de l'infiltration minimum semble ne pas évoluer de façon sensible avec le temps sur les parcelles de pelouse, en revanche dans la ravine, la diminution continue lors d'expérimentations successives est très nette: l'explication est à chercher dans une dégradation de l'état de surface, classique sur les sols non protégés.

2.3 Litière sous forêt de hêtres (tableau 3)

Le site retenu est un sous-bois de hêtres, dont le sol est totalement recouvert par une litière essentiellement constituée en surface de débris de feuilles de l'automne précédent, à l'exclusion de toute végétation. Jusqu'à la fin des années 60, le troupeau venait s'y reposer aux heures chaudes de l'été.

Il est à noter que la dernière expérimentation se démarque foncièrement des trois autres.

Tableau 3 Litière sous Hêtraie.

I	Pi	F	I	Pi	F	I	Pi	F	I	Pi	F
110		> 110	80		> 80	97		> 97	85		> 85
115	247	97	95		> 95	115	489	113	95	188	56
124		96	116	406	108	138		123	124		40
Pluie totale = 499 mm F. minimum = 96 mm/h			Pluie totale = 522 mm F. minimum = 108 mm/h			Pluie totale = 640 mm F. minimum = 113 mm/h			Pluie totale = 430 mm F. minimum = 40 mm/h		

Dans les trois premiers cas, si le ruissellement apparaît dans tous les cas, l'infiltration demeure toujours très élevée, n'étant jamais inférieure à 96 mm/h, même après 500 mm de précipitation avec des intensités qui ont pu atteindre 138 mm/h.

2.4 Litière sous forêt d'épicéas (tableau 4)

Les conditions sont les mêmes que précédemment, mais sur un sol recouvert d'aiguilles dont les plus récentes sont peu ou pas décomposées.

Tableau 4 Litière sous Épicéas.

I	Pi	F	I	Pi	F	I	Pi	F	I	Pi	F
102	107	95	93		> 93	102	15.3	95	87	7	82
123		79	116	209	97	135		79	100		81
156		90	140		96	155		90	130		78
Pluie totale = 466 mm F. minimum = 79 mm/h			Pluie totale = 474 mm F. minimum = 96 mm/h			Pluie totale = 435 mm F. minimum = 79 mm/h			Pluie totale = 330 mm F. minimum = 78 mm/h		

Les résultats sont plus homogènes: dans tous les cas, si le ruissellement apparaît avec des pluies d'imbibitions qui sont variables, l'infiltration minimum demeure élevée (78 mm/h, après des pluies cumulées de 330 mm et plus) et présente des valeurs proches d'un site à l'autre (79, 96, 79 et 78 mm/h).

Il est remarquable, toutefois, que les valeurs sont sensiblement inférieures à celles observées sur les trois premiers sites de hêtraie.

3 Etude de l'ensemble des sites

L'ensemble des résultats qui viennent d'être exposés permet de dresser le tableau récapitulatif suivant; les différents sites y sont classés par ordre d'infiltrabilité minimum décroissante:

Tableau 5 Infiltration minimum observée pour l'ensemble des sites.

Pluies cumulées (mm)	Site étudié	Infiltration minimum (mm/h)
450	Pelouse aval »fermée«	> 123
450	Litière sous hêtraie (trois premiers sites)	≈ 100
450	Litière sous pessière	≈ 80
450	Pelouse aval dégradée	{ 93 70
350	Litière sous hêtraie (quatrième site)	40
450	Pelouse amont dégradée	33
180	Ravine	19

Le tableau 5 montre, d'après les résultats de simulation de pluies, que c'est la pelouse aval fermée qui paraît présenter les sols les plus filtrants, donc la meilleure protection contre le ruissellement et l'érosion. L'infiltration y est totale, même après 450 mm de précipitations atteignant 123 mm/h.

Viennent ensuite les litières forestières. Dans la hêtraie (du moins pour les trois premiers sites), l'infiltration ne descend pas au dessous de 100 mm/h; dans la forêt d'épicéas, l'infiltration minimum, un peu plus faible, demeure de l'ordre de 80 mm/h.

Le cas de la pelouse aval dégradée est plus délicat, puisque les résultats des expérimentations diffèrent de l'une à l'autre: 93 mm/h d'infiltration minimum dans un cas, 70 seulement dans l'autre. De même, on l'a vu, la réponse du quatrième site sous hêtraie pose problème.

Pour tenter de cerner quels sont les facteurs qui induisent ces écarts de comportement, les valeurs des différents paramètres considérés comme influant sur le ruissellement ont été notés dans le tableau 6.

Tableau 6 Comparaison de différents paramètres pour les parcelles de même couvert végétal, et d'infiltrabilité différente.

Paramètre considéré	Milieu considéré	Valeur du paramètre considéré pour le site ayant présenté	
		Une infiltrabilité faible	Une infiltrabilité forte
Pente (%)	Hêtraie	33%	28%
	Pelouse aval dégradée	18%	6 à 16%
Taux de sol nu (%)	Hêtraie	0%	0%
	Pelouse aval dégradée	0%	0%
Taux de couverture végétale (%)	Hêtraie	100% (litière)	100% (litière)
	Pelouse aval dégradée	44%	55 à 62%
Densité apparente (horizon de surface)	Hêtraie	1	1
	Pelouse aval dégradée	1.3	1.3
Humidité avant l'expérimentation (%)	Hêtraie	38%	49 à 55%
	Pelouse aval dégradée	25%	22%

Aucun de ces paramètres ne semble devoir permettre d'expliquer les différences de comportement observées, même dans le cas pourtant remarquable de la hêtraie; dans cet exemple, toutefois il semblerait que la présence d'une dalle rocheuse à faible profondeur (cas de figure fréquent dans ces bassins-versants) puisse bloquer l'infiltration.

Par ailleurs, des éléments d'explication pourraient être trouvés dans le type d'utilisation des sites considérés: la parcelle de la pelouse aval dégradée qui ruisselle davantage serait plus proche de la draille, donc plus soumise au piétinement des brebis. Le site «pelouse amont» serait davantage pâturé. Ces différentes interventions du troupeau auraient pu modifier l'état du sol de façon non perceptible à la simple observation humaine, et apparemment inaccessible aux mesures de densité de surface, peut-être parce que celles-ci intègrent une tranche de sol trop épaisse, et que seuls le ou les tout premiers centimètres interviennent; ou peut-être aussi parce que la variabilité est forte, et les échantillonnages insuffisamment représentatifs; il ne s'agit pas d'un problème simple à résoudre, et il faudrait compléter cette étude par des observations concernant le cortège floristique et la micromorphologie de l'horizon de surface, peut-être la méso-faune du sol.

Quoi qu'il en soit, et en dépit d'une variabilité certaine, il semble qu'il soit possible de classer les milieux étudiés sur le Mont Lozère, du plus filtrant au moins filtrant, dans l'ordre suivant:

pelouse aval fermée- hêtraie – pessière -pelouse aval dégradée – pelouse amont dégradée – ravines.

4 *Discussion*

Bien que d'interprétation souvent délicate, les expérimentations de terrain sur micro-parcelles sous pluies simulées constituent des tests comparatifs intéressants pour estimer le rôle joué par la végétation sur le ruissellement de surface.

Il ne faut pourtant pas sous-estimer le biais introduit par la petite taille des parcelles expérimentales, demeurer prudent dans l'interprétation des résultats et surtout dans leur extrapolation à l'échelle du bassin-versant. Ainsi, d'après les analyses et les observations qui ont précédé le choix des emplacements expérimentaux, les sols sont apparus comme à peu près homogènes quant à leurs caractères physiques et hydrodynamiques, et considérés comme tels; aussi les différences de comportement ont-elles été attribuées au seul couvert végétal. Pourtant, la répartition de la végétation dans l'espace du bassin-versant n'est pas le seul fait du hasard ou des aléas historiques de l'occupation du sol, et des facteurs géomorphologiques et climatiques ont interféré avec les précédents: les écarts dans les comportements hydrologiques observés ne sont plus alors la conséquence de la seule différence d'occupation du sol par la végétation, mais de l'existence de combinaisons complexes de milieux de comportements hydriques originaux, dont la végétation peut être à la fois témoin, cause et conséquence. Toutefois, si cette remarque importe au chercheur fondamentaliste qui veut comprendre précisément le rôle de la végétation sur le ruissellement, elle importe moins à l'hydrologue dont la préoccupation est de connaître le comportement de différents secteurs du bassin-versant distingués par leur couverture végétale, que celle-ci intègre, ou non, d'autres facteurs.

Dans le domaine de l'hydrologie, l'infiltrabilité très élevée des sols apparaît comme la conclusion fondamentale, même si, lors des expérimentations, avec des intensités particulièrement fortes, le ruissellement s'est formé sur tous les sols, pelouse aval fermée exceptée. Cette conclusion pourrait conduire à penser que la circulation souterraine et les zones saturées de fond de vallon jouent des rôles quasi exclusifs dans le fonctionnement hydrologique des bassin-versants (COSANDEY 1986; BOUDJEMLINE & ROOSE 1986), et que le ruissellement sur les versants demeure un phénomène rare, sinon inexistant.

Pourtant, la seconde remarque importante concerne la grande variabilité des valeurs de l'infiltration d'un site à l'autre, et même parfois sur un même site, ce qui laisse penser que le ruissellement naît de façon très hétérogène sur le bassin-versant (BOUDJEMLINE 1987), et que les conditions de circulation en surface et d'infiltration en cours de transfert vers l'aval sont aussi importantes pour l'écoulement de crue, que les conditions de genèse de ce ruissellement. Le ruissellement se forme très localement, sur un site favorable (sol nu ou dégradé dont l'état de surface se modifie sous l'impact des gouttes de pluie; chemins; dalles de granite affleurantes; zones hydromorphes de fond de vallon...); il s'achemine alors vers l'aval, jusqu'à ce qu'il rencontre de meilleures conditions d'infiltration, ce qui peut se produire après un trajet extrêmement variable, comme ne pas se produire. À l'inverse, les eaux hypodermiques peuvent resurgir en surface et engendrer un ruissellement secondaire, pour peu que leur progression souterraine soit contrariée par un obstacle ou une zone saturée. Par ailleurs, une circulation de sub-surface peut se produire localement, utilisant les circuits préférentiels créés par des terriers d'animaux, des emplacements d'anciennes racines (ZIEMER & ALBRIGHT 1987). Enfin, si les circonstances y sont

favorables, le ruissellement peut se concentrer rapidement et rejoindre le cours d'eau par circulation en surface. Dans tous ces cas, qui peuvent être décrits sous le terme général de «ruissellement en relais» le géomorphologue considère qu'il y a ruissellement, puisqu'il peut observer sur le sol la trace de transfert de matériaux vers l'aval, même si le trajet est partiel. Pour l'hydrologue, les choses sont plus complexes: si l'eau de pluie n'atteint pas le cours d'eau par seul cheminement en surface, il n'y a pas de ruissellement *sensu-stricto*; toutefois il peut y avoir gonflement de l'hydrogramme par effet-piston. Ces différentes considérations permettent d'aboutir à un schéma de circulation de l'eau dans les bassins-versants pour lesquels, si la circulation «hypodermique» (au sens de TRICART 1981) demeure le mode essentiel de transfert de l'eau de son point de chute à l'exutoire, le ruissellement de surface n'est pas exclu et constitue un élément important de l'écoulement rapide de crue. Cette conclusion est bien en accord avec les observations de terrain, qui montrent des traces de ruissellement sur les versants, comme une circulation de l'eau en surface lors d'épisodes pluvieux exceptionnels.

Conclusion

En dépit de ses limites, la technique de simulation de pluie sur micro-parcelles telle qu'elle a été utilisée sur le Mont Lozère permet des conclusions intéressantes quant au fonctionnement hydrologique du milieu, et au rôle que peut jouer la végétation.

Pour ce qui est de ce dernier point, il semble que, dans les conditions de l'expérimentation, la pelouse complète en bon état soit une aussi bonne protection contre le ruissellement et l'érosion que la forêt. Par ailleurs, le type d'utilisation agropastorale de la parcelle, et particulièrement la dégradation locale de la végétation, liée au troupeau, paraît déterminant quant à l'aptitude du sol à ruisseler.

Enfin, si la forte infiltrabilité des sols est apparue comme une des données essentielles du fonctionnement hydrologique, la grande irrégularité dans l'espace de cette infiltrabilité, y compris à l'intérieur de milieux «homogènes», constitue bien la seconde information essentielle à la compréhension de la circulation de l'eau dans cet espace. Ces remarques permettent d'aboutir à un schéma de fonctionnement dans lequel, si l'infiltration de l'eau de pluie dans le sol, et sa circulation souterraine à faible profondeur, soit au dessus du niveau imperméable formé par la roche en place, soit plus superficiellement par «piping», demeurent les processus essentiels de transfert entre le point de chute et le cours d'eau, le ruissellement de surface n'est pas absent et joue probablement un rôle non négligeable dans l'écoulement de crue. Il conviendra maintenant de préciser ce rôle, comme celui de la couverture végétale, par l'étude attentive des hydrogrammes de crue des trois bassins-versants représentatifs des trois types de végétation, et de vérifier que se retrouvent à cette échelle les différences de comportement observées à l'échelle des parcelles.

Remerciements

La liste des auteurs aurait été trop longue, si toutes les personnes qui ont participé au travail avaient signé cet article. Que tous ceux qui ont contribué directement ou plus indirectement à cette recherche soient ici remerciés: les Chercheurs de l'équipe «Bassins-Versants du Mont Lozère», tout d'abord et particulièrement P. DURAND et J.F. DIDON; ceux aussi du programme inter-équipe du Laboratoire de Géographie Physique de Meudon.

Bibliographie

- ASSELIN J. & CH. VALENTIN (1978): Construction et mise au point d'un infiltromètre à aspersion. - Cah. ORSTOM, Série Hydrol. 15(4): 320-321; Paris.
- BOIFFIN, J. (1984): La dégradation structurale des couches superficielles des sols sous l'action des pluies. - Thèse de docteur-ingénieur INAPG, 320 p. + annexes.
- BOLLINNE, A. (1882): Etude et prévision de l'érosion des sols limoneux cultivés en moyenne Belgique. - Thèse de Doctorat, Univ. Liège (Belgique), 356 p. + Annexes.
- BOUDJEMLINE, D. (1987): Susceptibilité au ruissellement et aux transports solides de sols à textures contrastées. Etude expérimentale au champ sous pluies simulées. - Thèse de 3e cycle, Univ. d'Orléans, 266 p.
- CAPPUS, P. (1960): Etude des lois de l'écoulement. Application au calcul et à la prévision des débits. B. V. expérimental d'Alrance. La Houille Blanche, Jt-A. Grenoble: 493-520.
- CAZENAVE, A. & CH. VALENTIN (1988): Les états de surface en zone sahélienne. Influence sur l'infiltration. - ORSTOM, 205 p.; Paris.
- COLLINET, J. (1986): Hydrodynamique superficielle de quelques types de sols du Sahel africain. Comparaison des données fournies par deux dimensions de parcelles de simulation de pluies. - Journées Hydrologiques ORSTOM, ORSTOM, coll. et sem.: 117-153; Paris.
- COLLINET, J. & CH. VALENTIN (1979): Analyse des différents facteurs intervenant sur l'hydrodynamique superficielle. - Cah. ORSTOM, ser. Pédol. 17,4: 283-344; Paris.
- COSANDEY, C. (1986): De l'écoulement rapide de crue, dans un petit bassin-versant forestier breton. Z. Geomorph. N.F., Suppl. 60: 177-186; Berlin, Stuttgart.
- COSANDEY, C., J.-J. GRIL, J.-P. CANLER, F. JARRY, T. MUXART, M. NORMAND, A. BILLARD & A. FLEURY (1985): Simulation de pluie et ruissellement sur des sols érodés dans le Massif du Lingas (Sud des Cévennes, France). - Bull. GFHN, Rennes, n° 8; 81-99.
- DEJAN, R. (1982): Notice de la carte des unités écologiques de l'unité régionale «Mont Aigoual-Montagne du Lingas». Publ. Parc Nat. Cévennes, Florac.
- DEUMIER, J.-M. & E. J. ROOSE (1986): Etude de la dynamique du ruissellement sur terrefort du Lauragais. - Chambre d'agric. de Haute Garonne, Toulouse, 27 p. + Annexes.
- DICKINSON, W. T. & H. WHITELEY (1970): Watershed areas contributing to runoff. - Coll. Wellington, 2, AISH, UNESCO.
- DUNNE, T., T. R. MOORE & C.-H. TALOR (1975): Recognition and prediction of runoff producing zones in humid regions. - Bull. des sc. hydrol. 10,3.
- DUPRAZ, CH. (1984): Bilans des transferts d'eau et d'éléments minéraux dans trois bassins-versants comparatifs à végétation contrastée (Mont Lozère, France). - Thèse de doc.-ing., Orléans, 363 p + annexes.
- DURAND, P.: Thèse nouvelle formule, à soutenir en 1988.
- GRIL, J. J. (1986): L'érosion hydrique des sols dans le vignoble. Etude comparative de l'influence des techniques culturales à l'exemple du Beaujolais (France). Z. Geomorph., Suppl. 60: 149-160; Berlin-Stuttgart.
- JARRY, F. (1987): Le ruissellement sur les terres agricoles. Approche par simulation de pluie et par télédétection. - Thèse de doctorat, Univ. Paris VII, 276 p.

- LAFORGE, A. (1977): Inventaire et examen des processus élémentaires de ruissellement et infiltration sur parcelles. – Cah. ORSTOM, Série Hydrol. 14,4: 299–344; Paris.
- LAFORGE, A. et E. NAAH (1976): Exemple d'analyse expérimentale des facteurs du ruissellement sous pluies simulées. – Cah. ORSTOM, Série Hydrol. 13,3: 195–237; Paris.
- RAFIRINGA, A. (1983): Recherche des causes des différences d'écoulement entre deux bassins versants contigus et semblables (Bassins du Puiseaux et du Vernisson): Aspects hydrologiques et agropédologiques. – Thèse de 3^e cycle, Univ. d'Orléans, 177 p.
- RAHELARISOA, M. A. (1983): Influence de l'utilisation des sols sur le ruissellement et l'érosion en nappe. Cas d'un sol limoneux du Faux. – Perche. D.E.A., Univ. d'Orléans.
- (1986): Influence des techniques culturales sur le comportement hydrodynamique et la susceptibilité à l'érosion de sols limoneux et sableux. Simulation de pluie en région Centre. – Thèse de doctorat de 3^{ème} cycle, Orléans, 197 p. + annexes.
- ROOSE, E. (1968): Recherches en conservation des sols aux USA: Rapport de Mission ORSTOM, Abidjan, 46 p.
- (1977): Erosion et ruissellement en Afrique de l'Ouest. Vingt années de mesures en petites parcelles expérimentales. – Travaux et Doc. de l'ORSTOM, Paris, n° 78, 108 p.
- (1978): Pédogénèse actuelle d'un sol ferrugineux issu de granite dans une savane arborée de plateau Mossi (Haute Volta). Gonsé 1968–1974. – ORSTOM, Paris, 121 p.
- (1980): Dynamique actuelle de sols ferrallitiques et ferrugineux tropicaux d'Afrique occidentale. – Thèse de Doctorat d'état, Orléans. Tvx et doc. de l'ORSTOM 130, 570 p.
- ROOSE, E., J. AIRRIVETS & J. F. POULAIN (1974): Etude du ruissellement, du drainage et de l'érosion sur deux sols ferrugineux de la région centre de la Haute Volta. – Rapp. ORSTOM, Abidjan, 72 p.
- – – (1979): Dynamique actuelle de deux sols ferrugineux tropicaux indurés sous sorgho et sous savane soudano-sahélienne. Saria 1971–74. – ORSTOM, Paris, 120 p.
- ROOSE, E. & J. ASSELINE (1976): Mesure des phénomènes d'érosion sous pluies simulées aux cases d'érosion d'Adiopodoumé (Côte d'Ivoire). – Cah. ORSTOM, Sér. Pedol. 16, 1: 43–72.
- ROOSE, E. & D. BOUDJEMLINE (1986): Influence des litières du Mont Lozère sur la naissance du ruissellement et de sa charge solide. Etude expérimentale au simulateur de pluies. – Comm. 3^{èmes} Journ. Réseau Erosion. – Bull. Réseau Erosion 6: 18–19.
- ROOSE, E. & F. X. MASSON (1983): Consequences of heavy mechanization and new rotations on runoff and on loessial soil degradation in the north of France. – Comm. ISCO 3 "Preserve the land" Honolulu. Edit. SCSA: 24–33.
- TREVISAN, D. (1982): Pédogénèse et typologie des sols de trois bassins-versants comparatifs à végétation contrastée (Mont Lozère, France). – DEA pédol. biol. végét., Nancy, 84 p.
- (1986): Comportement hydrique et susceptibilité à l'érosion de sols limoneux cultivés. – Thèse 3^{ème} cycle, Orléans, 177 p.
- TRICART, J. (1981): Hypodermisme et morphogénèse. Eaux et climats. – Mélanges offerts à Ch. P. PÉGUY, Grenoble: 527–533.
- VALENTIN, CH. (1979): Problèmes méthodologiques de la simulation de pluies. Application à l'étude de l'érodibilité des sols. – Coll. sur l'érosion des sols en milieu tempéré non méditerranéen, Strasbourg-Colmar, Sept. 1978.
- (1981): Organisations pelliculaires superficielles de quelques sols des régions désertiques (Agadez, Niger). – Thèse 3^{ème} cycle, Univ. Paris VII, ORSTOM, 205 p.
- ZIEMER, R. R. & J. S. ALBRIGHT (1987): Subsurface pipeflow dynamics of north-coastal California swale systems. Erosion and sédimentation in the pacific Rim. IAHS Publ. 165.

Adresses des auteurs: C. COSANDEY, Laboratoire de Géographie physique «Pierre Birot», C.N.R.S., 1 place Aristide Briand, F-92190 Meudon, France; D. BOUDJEMLINE, Institut des Sciences de la terre, BP 16, Université ES Senia, Oran, Algérie; E. ROOSE, Centre O.R.S.T.O.M., B.P. 5045, F-34032 Montpellier, France; F. LELONG, Laboratoire d'Hydrogéologie, bat. de Géologie, Domaine universitaire, F-45046 Orléans Cedex, France.