

*Pôle Grenoblois d'Etude et de Recherche pour la Prévention des Risques Naturels
Programme 1998
Risque Crues et Inondations*

**VARIABILITE SPATIO-TEMPORELLE
DES ECOULEMENTS DE SURFACE ET DE SUBSURFACE D'UN
VERSANT**

Rapport final - mars 2000

**Anne-Julie Schipman, Jean-Pierre Vandervaere,
Luc Descroix, Stéphane Boubkraoui**

**Laboratoire d'étude des Transferts en Hydrologie et Environnement
LTHE GRENOBLE (CNRS UMR 5564, UJF, INPG, IRD)**

Coordonnateur : J.-P. Vandervaere

Introduction

La part du territoire français susceptible d'être inondée est de l'ordre de 5 à 7 % et celle de la population potentiellement touchée de 10 % environ. La lutte contre les inondations doit donc retenir toute l'attention des aménageurs en général et des spécialistes de l'assainissement agricole ou urbain en particulier (Faby, 1999). Néanmoins, les études et recherches menées à ce jour concernent, soit des bassins versants dits "naturels", peu anthropisés, soit des bassins versants urbains. Or, de nombreux bassins péri-urbains sont constitués de surfaces mixtes, rurales et urbaines, en proportion variable et en évolution souvent rapide, sous la pression foncière notamment. La modélisation des crues, et du ruissellement en particulier, doit donc s'attacher à comprendre et quantifier le rôle des divers éléments constitutifs des versants et bassins versants (prairies, zones cultivées, zones boisées, zones habitées, voirie) en tant que producteurs et/ou conducteurs d'écoulement afin de prévoir l'évolution du risque.

Différents types de modèles sont utilisés dans l'optique de prévoir les débits de crue. Les modèles statistiques lient le débit à la pluie par des équations empiriques établies suite à des traitements de séries chronologiques. Une méthode utilisée est par exemple basée sur la fonction de transfert (hydrogramme unitaire de Sherman, 1932). Ces modèles sont utilisés en ingénierie hydrologique et très dépendants des données utilisées pour les établir ; le bassin y est considéré comme une boîte noire.

Les modèles conceptuels représentent le bassin comme un assemblage de réservoirs interconnectés où le fonctionnement de chaque réservoir est explicité par une équation de bilan et une équation de vidange, souvent empirique. Le modèle GR3 (Edijatno et Michel, 1989) à 3 réservoirs et 3 paramètres en est un exemple. Mais les paramètres et relations utilisés n'ayant souvent pas grand sens physique, ces modèles ne permettent pas d'expliquer le fonctionnement interne du bassin.

Les modèles physiques spatialisés (SHE de Abott et al., 1986), s'appuyant sur des relations d'état, dynamiques et de conservation reliant des variables d'état, avec des paramètres mesurables en principe, permettent de simuler l'évolution du système en tout point et tout instant d'une discrétisation spatio temporelle fine. Mais ces modèles théoriques, qui fournissent un cadre explicatif satisfaisant, sont complexes à élaborer et lourds à exploiter, faisant appel à un grand nombre de données, rarement disponibles avec la densité et la qualité requises.

Les modèles physico-conceptuels semi-spatialisés (Topmodel de Beven et Kirkby, 1979) tentent de contourner les défauts des derniers modèles évoqués. En effet, ils sont fondés sur les processus élémentaires réels, néanmoins simplifiés pour que les modèles

soient opérationnels à l'échelle du bassin versant. Par ailleurs, ils se basent sur un découpage de l'espace en unités relativement homogènes. Ils paraissent donc adaptés pour étudier le fonctionnement d'un bassin versant en différenciant diverses unités fonctionnelles types pour les écoulements de crue .

Les mécanismes qui contrôlent le devenir à court terme des eaux de pluie se partageant en ses composantes infiltration, interception, ruissellement de surface et évapotranspiration sont encore insuffisamment compris. Différents processus ont été admis et validés pour décrire les écoulements de crue (Figure 1). Le ruissellement hortonien se produit quand l'intensité de la pluie dépasse la capacité d'absorption du sol. L'écoulement de subsurface atteint la rivière après avoir emprunté différents chemins hypodermiques, à travers la matrice et les macropores. Le ruissellement sur sol saturé ou l'exfiltration se produit quand la pluie tombe sur un sol saturé ou quand l'écoulement de subsurface est contraint de sortir du sol. Enfin la nappe intervient dans les écoulements de crue par effet piston ou, à proximité de la rivière, par le phénomène d'intumescence.

Figure 1. Genèse des débits de crue : principaux processus superficiels et souterrains
Ambroise 1998 (Rev. Sci. Eau 4)

Des études expérimentales, basées sur des études géochimiques à différentes échelles, sur l'analyse des réactions de parcelles instrumentées où les écoulements sont recueillis à diverses profondeurs, sous pluies naturelles et simulées, visent à tenter d'examiner objectivement la partition des écoulements de crue de façon à pouvoir les

modéliser au sein de systèmes déterministes. Un bilan des études, menées jusqu'à présent et couplant souvent plusieurs types d'approches (traçage isotopique, mesures piézométriques et tensiométriques, mesures débitométriques) montre à quel point les résultats sont diversifiés, sans compter le manque d'homogénéité de la nomenclature. En effet, il s'avère que les différents mécanismes identifiés peuvent être tous ou en partie observés sur le même bassin versant, à différentes échelles. De plus, les paramètres régissant leurs contributions spécifiques sont nombreux et interagissent. Leur prise en compte au sein des modèles à base physique nécessite la connaissance de leur variabilité spatiale ou temporelle, qui dépend des échelles considérées.

Il semble clair que le comportement global du bassin ne peut être que le résultat des processus se déroulant dans les versants qui le constituent (on entend ici par "versant", toute unité relativement homogène, prairie, zone boisée, zone urbanisée, etc., non coupée par un linéaire et non nécessairement connectée au réseau hydrographique). Une part importante des questions posées pour améliorer la modélisation hydrologique des bassins versants se place donc à l'échelle du versant. Parvenir à agréger le comportement des versants pour en inférer celui du bassin est un enjeu majeur en hydrologie. On ne saurait y répondre de manière réaliste qu'en se fondant sur un équilibre entre l'observation expérimentale et la modélisation. Dans notre étude, l'accent sera mis sur la quantification de la variabilité des écoulements en vue d'une modélisation stochastique à base physique du fonctionnement de ce type de bassin versant.

1. Contexte géographique et plan d'expérimentation

Réparti sur trois communes de l'agglomération grenobloise, Herbeys, Brié et Eybens, le bassin versant du Verderet couvre une superficie d'environ 15 km² encore majoritairement agricole mais où l'urbanisation (environ 13 % aujourd'hui) va croissant (CETE, 1994). Des crues assez importantes se sont produites sur ce bassin (décembre 1991 notamment) qui ont motivé la construction d'un bassin de rétention (18 000 m³) sous la forme d'un vélodrome situé en amont immédiat de la commune d'Eybens, à l'exutoire du bassin versant. La construction de bassins supplémentaires situés plus en amont est actuellement envisagée.

Un site de prairie pâturée, situé sur le haut bassin, à l'altitude de 800 m, a été équipé au printemps 99 de la manière décrite ci-dessous et schématisée Figures 2 et 3.

- 4 parcelles de 1m² sont choisies pour leur uniformité apparente (en matière de pente, de végétation et de caractéristiques du sol), en bas de versant, alignées selon une direction perpendiculaire à la pente (20 % environ).

- Au droit du bord inférieur de chaque parcelle, une tranchée verticale est creusée jusqu'à la profondeur de 60 cm environ.

- Afin de guider les écoulements, deux plaques métalliques de 1m de longueur sont enfoncées légèrement dans le sol, l'une pour l'écoulement de surface (profondeur de quelques cm) et l'autre pour l'écoulement de subsurface (profondeur de 50 cm) ; des gouttières guident ensuite ces écoulements dans des réservoirs. Les parcelles sont couvertes avec des tôles plastiques afin d'empêcher la pluie de tomber directement dans les systèmes de collecte.

- Trois tensiomètres pour chaque parcelle (profondeurs 10, 30 et 50 cm) permettent de suivre l'évolution du profil de pression d'eau dans le sol. Un tube permettant des mesures d'humidité volumique par sondage neutronique a été installé sur chaque parcelle en novembre 99.

- Un pluviographe, installé à proximité des parcelles, permet de reconstituer les hyétogrammes des événements pluvieux.

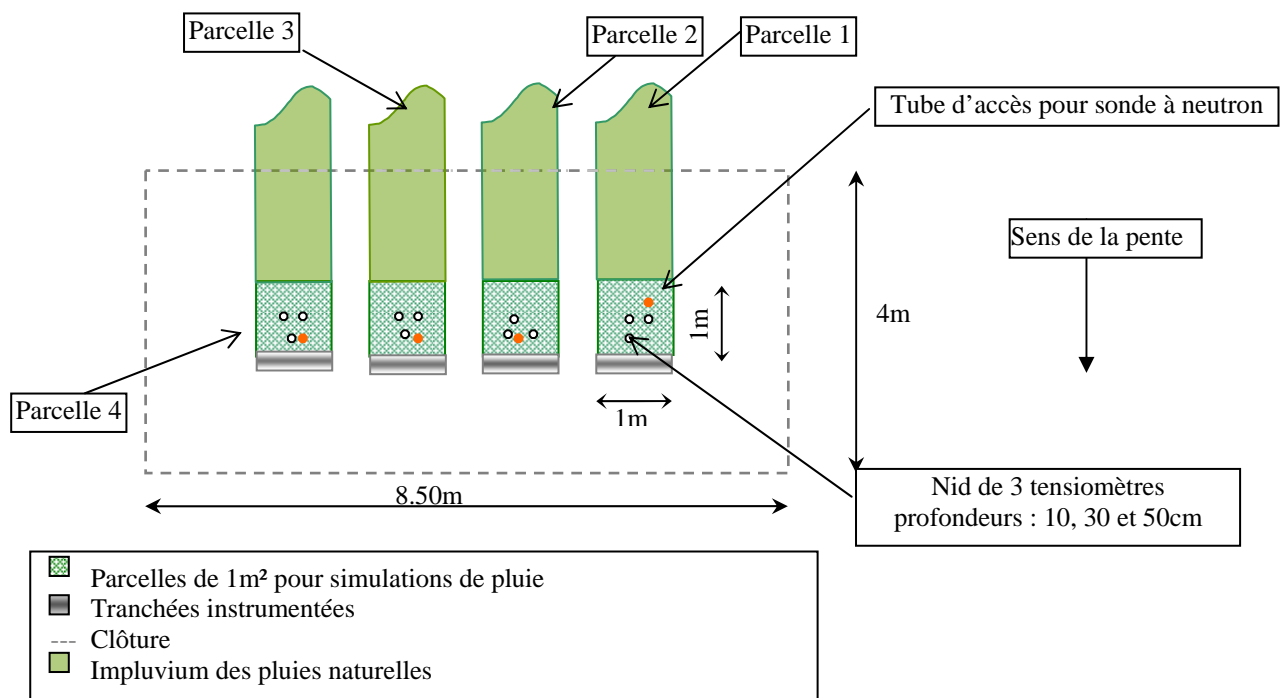


Figure 2. Plan d'expérimentation (vue de dessus)

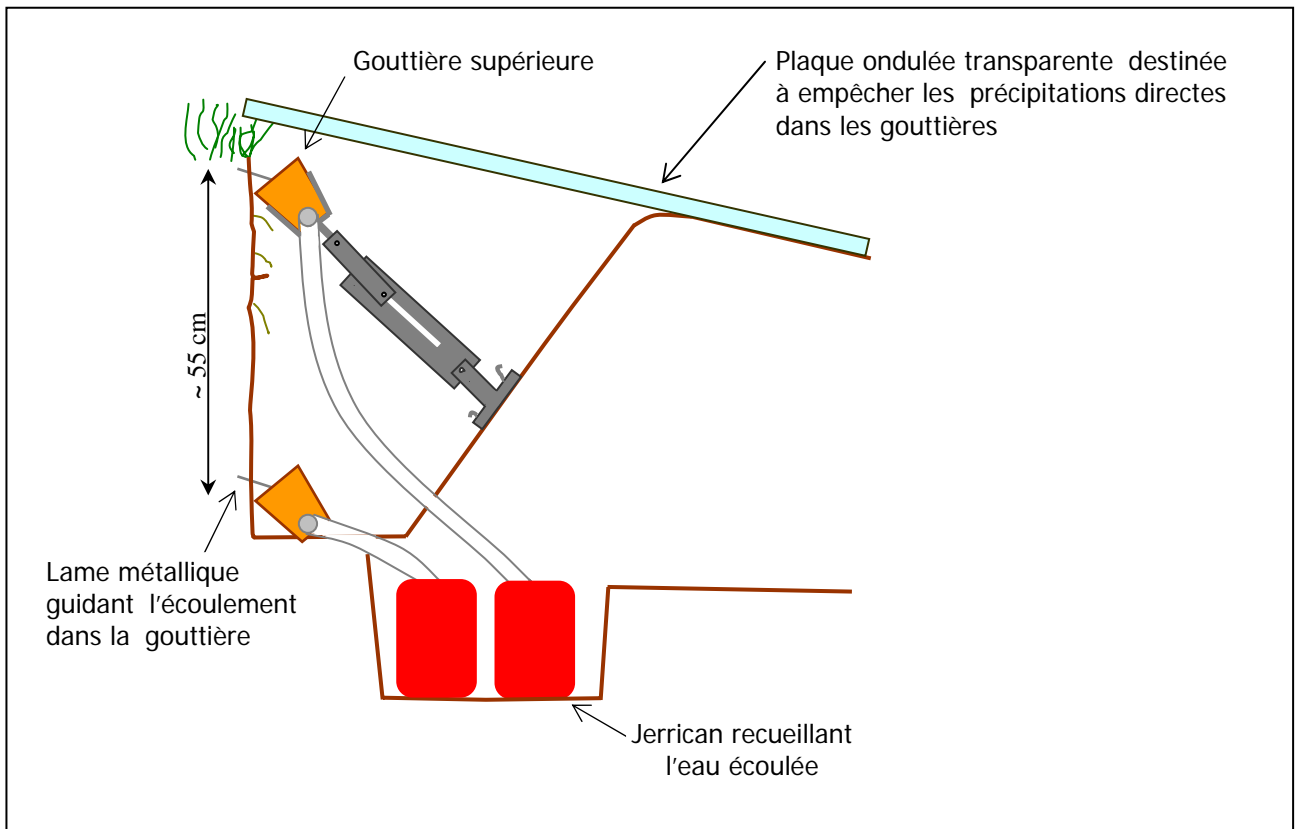


Figure 3. Plan d'expérience (vue en coupe)

2. Résultats

2.1. Le sol

Une campagne de mesure de la conductivité hydraulique du sol, K_S , en surface de la prairie a été menée pendant l'été 98 en utilisant deux méthodologies différentes sur une grille de 25 points (Corbishley, 1999). Par infiltrométrie à disques (Vandervaere, 1995), en conditions légèrement non saturées, K_S a été estimée à **70 mm/h** et par la méthode du cylindre sous charge (Haverkamp et al, 2000), en conditions saturées, K_S a été estimée à **170 mm/h**.

Lors du creusement des fosses, une forte hétérogénéité a été observée. La terre est bien brune et humifère en surface et plus argileuse en profondeur. La densité racinaire décroît progressivement jusqu'à 50 cm environ. A partir de 30 cm de profondeur, on trouve aussi bien des poches sableuses que des débris morainiques (granite, schiste, gneiss) à des stades d'altération variés, émoussés ou anguleux, de toutes tailles (jusque 20X20X10 cm³). L'activité animale (taupes, vers de terre, rongeurs) et insectivore (araignées, perce-oreilles,

cloportes) est intense sur la profondeur échantillonnée. Le sol reste assez humide, ce qui semble témoigner d'une alimentation en eau par l'amont.

La méthode du cylindre a été testée à diverses profondeurs afin d'avoir une idée du profil de conductivité hydraulique dans le sol. Les résultats (Figure 4) montrent une forte décroissance avec la profondeur : la valeur de K_s chute de **130 mm/h en surface à 5 mm/h environ à 50 cm de profondeur**. Les poches de sable en profondeur donnent lieu à des conductivités localement plus élevées (K_s passe par exemple de 2 à 33 mm/h pour une même profondeur). L'erreur sur les mesures ponctuelles est de l'ordre de 5 % mais la variabilité spatiale induit une erreur d'un facteur 2 sur la moyenne spatiale (Schipman, 1999).

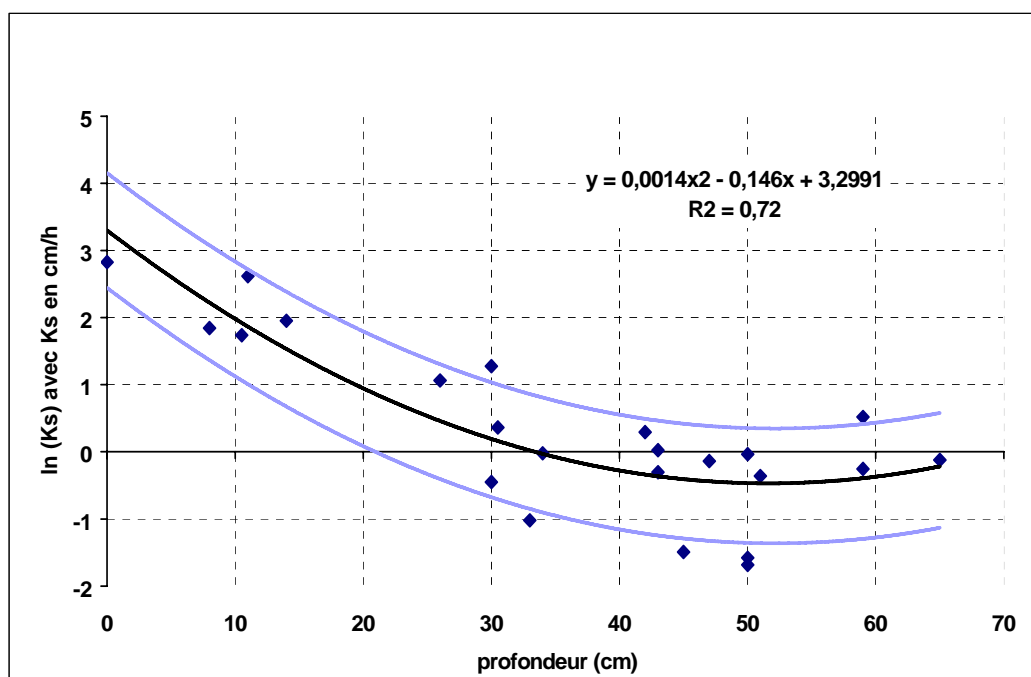


Figure 4. Décroissance de la conductivité hydraulique avec la profondeur : mesures, profil ajusté et intervalle de confiance à 80%

2.2. Les événements pluvieux naturels

Les événements pluvieux depuis juin 1999 ont permis de collecter des écoulements, aussi bien en surface qu'en subsurface. Les conditions donnant lieu à écoulement ont été identifiées suivant une méthode proposée par Chevallier (1992) pour les régions à climat semi-aride. Chaque événement est porté sur un graphique portant en abscisses l'intensité maximale de la pluie (au pas de temps de 5 minutes par exemple) et en ordonnées le cumul de la pluie. Les événements ayant et n'ayant pas produit d'écoulement sont représentés par des symboles différents (Figure 5). Si l'ensemble des événements produisant un écoulement se regroupent dans le coin supérieur droit du graphe, on identifie alors une intensité

minimale I_t et une pluie minimale R_i (pluie d'imbibition) conjointement nécessaires à l'occurrence de l'écoulement.

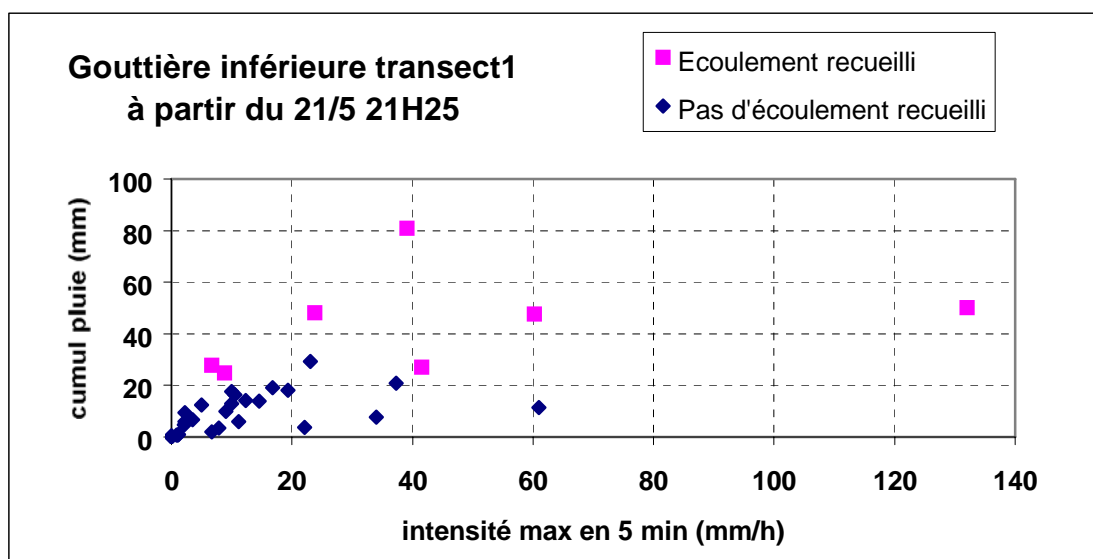


Figure 5. Recherche de la pluie d'imbibition (mm) et de l'intensité maximale (mm/h) provoquant l'écoulement (exemple pour la parcelle 1 en subsurface).

Les résultats donnés dans le Tableau 1 montrent qu'il faut une pluie d'au moins **11 mm** avec une intensité maximale au moins égale à **6 mm/h** pour déclencher le ruissellement de surface. Pour l'écoulement de subsurface, il faut au moins **22 mm** de pluie avec une intensité maximale d'au moins **9 mm/h** (Schipman et al., 2000). Ces valeurs d'intensité limite sont en contradiction avec la conductivité hydraulique du sol en surface, estimée à au moins 100 mm/h. Il faut donc admettre que la très probable hétérogénéité de la conductivité du sol en surface liée à la présence d'une végétation bien développée induit des cheminements préférentiels de l'eau infiltrée et ruisselée ce qui permet d'observer du ruissellement à des intensités de pluie bien inférieures à K_s . Bien entendu, les valeurs de I_t et de R_i sont liées à l'état hydrique initial puisque le flux d'infiltration est le produit de la conductivité par le gradient de charge hydraulique à la surface.

	Ruissellement de surface		Ecoulement de subsurface	
	R_i (mm)	I_t (mm/h)	R_i (mm)	I_t (mm/h)
Parcelle 1	<i>non identifié</i>	<i>non identifié</i>	26	8
Parcelle 2	8	3	19	9
Parcelle 3	13	10	20	9
Parcelle 4	11	6	25	9
moyenne	11	6	22	9
CV (%)	23	55	16	6

Tableau 1. Pluie d'imbibition R_i et intensité maximale (au pas de temps de 5 minutes) I_t nécessaires à l'occurrence de l'écoulement.

Les résultats obtenus semblent très fortement liés à l'état hydrique initial du sol ainsi qu'à un effet de variabilité naturelle des propriétés hydrodynamiques entre parcelles, sans que l'on soit en mesure, pour l'instant, de séparer et quantifier ces deux effets : ainsi sur le transect 1 il est impossible de déterminer des seuils R_i et I_t pour le ruissellement (Fig. 6).

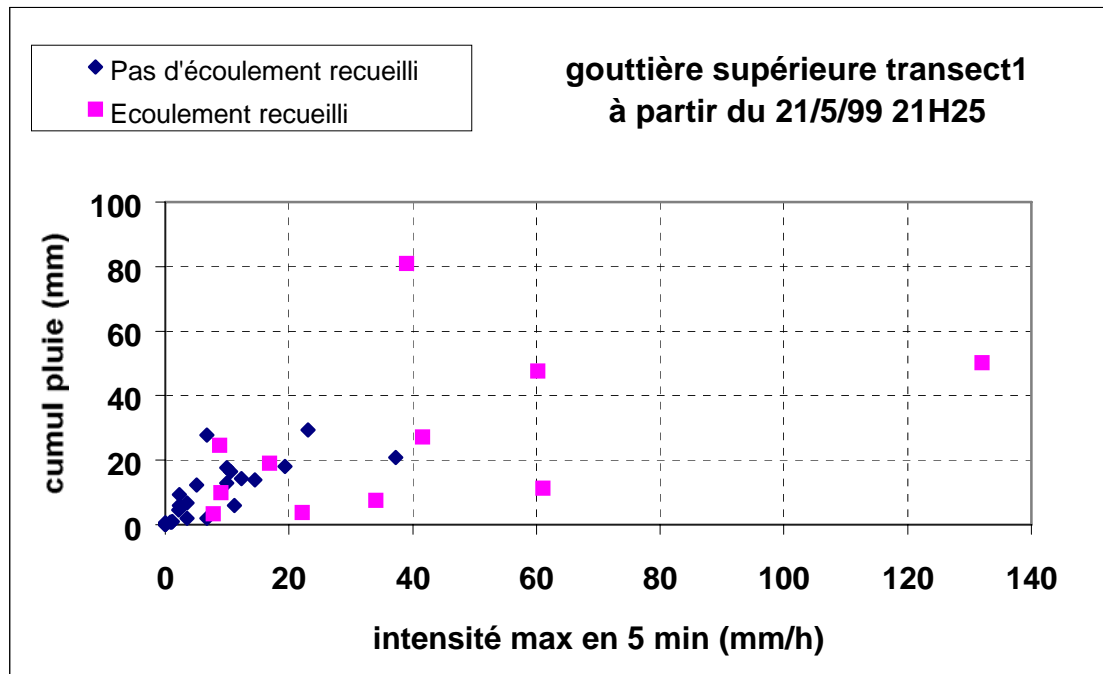


Figure 6. Recherche de la pluie d'imbibition (mm) et de l'intensité maximale (mm/h) provoquant le ruissellement sur le transect 1.

Par ailleurs le volume ruisselé recueilli à la fin de chaque période pluvieuse a été représenté pour chaque transect en fonction de la pluie utile. La pluie utile est la fraction de la pluie tombée avec une intensité supérieure à une intensité seuil I_s , supposée représenter la capacité d'infiltration supposée constante. La figure 7 confirme la nécessité de prendre en compte un second paramètre au moins, lié sans doute à l'humidité initiale. En effet, aucune relation linéaire n'existe entre les volumes ruisselés et les pluies ruisselantes. Certains événements produisent des pluies utiles nulles, même avec une intensité seuil de 2 mm/h, alors que le volume ruisselé recueilli correspondant s'élève à une vingtaine de ml. Les pluies utiles calculées avec des intensités seuil plus proches de la conductivité à saturation (estimée en surface à 100 mm/h) sont toutes nulles sauf pour une des périodes de mesure.

L'installation des tubes de mesure neutronique de teneur en eau (réalisée fin 1999) devrait permettre de disposer d'éléments de réponse sur la question de l'influence de l'humidité initiale dans les prochains mois.

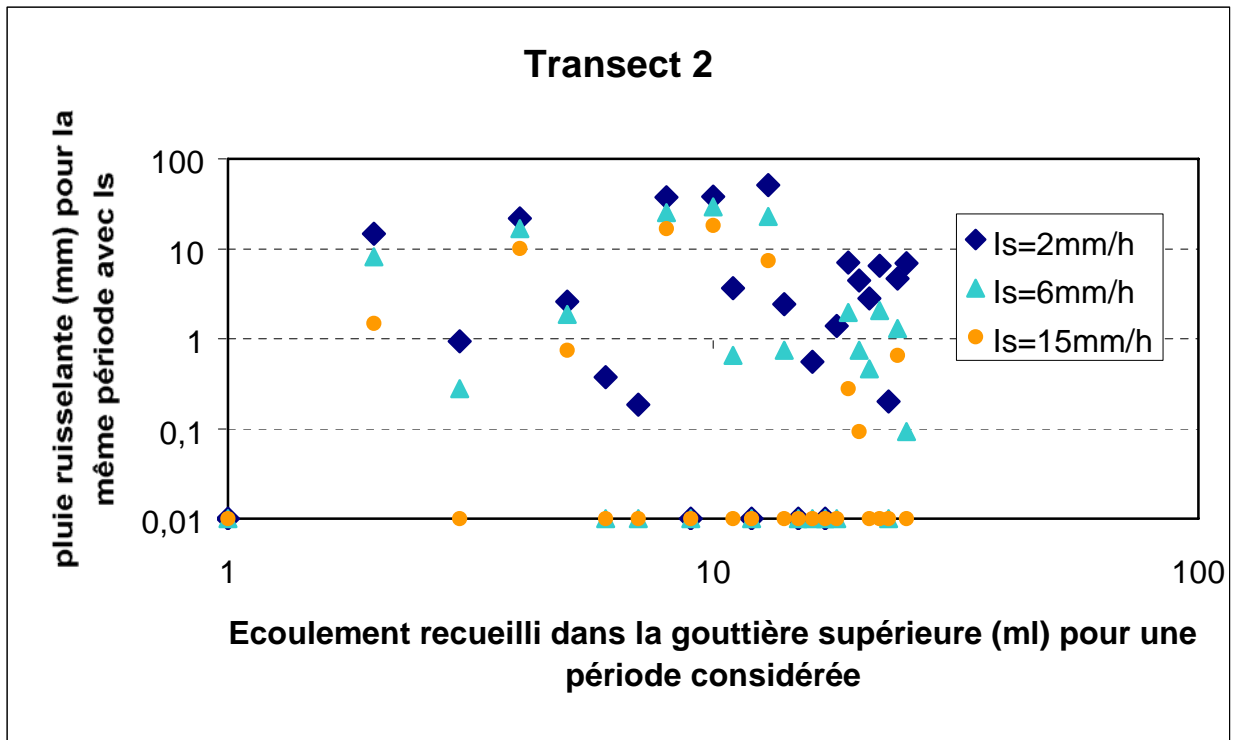


Figure 7. Non-applicabilité du schéma hortonien de ruissellement.

2.3. Les événements pluvieux simulés

Un simulateur de pluie de type ORSTOM a été développé dans le cadre de ce projet. L'appareil permet de reproduire, sur une surface réduite, une averse dont les paramètres (intensité, cumul, énergie cinétique des gouttes) sont connus et peuvent être choisis assez proches de ceux des événements naturels. Une buse d'aspersion fixée sur un portique à 4 m de hauteur et animée d'un mouvement oscillant arrose une surface au sol d'environ 2 m². Les écoulements, eux, sont collectés sur 1 m² seulement ce qui permet de limiter les effets de bord. La variation de l'angle de balayage du gicleur permet de régler l'intensité à la valeur souhaitée (entre 50 et 200 mm/h avec le gicleur utilisé).

Le hyétogramme de simulation a été choisi de manière à observer des écoulements mesurables en surface et en subsurface et en fonction des réserves en eau disponibles : on applique une pluie d'imbibition à 60 mm/h pendant 5 minutes puis une pluie intense à 115 mm/h pendant 19 minutes. Ces conditions correspondent à un événement rare, d'environ 40 mm, susceptible d'être à l'origine d'une crue sur le bassin. Suivant les parcelles, de deux à trois simulations ont été faites avec végétation haute et de deux à trois simulations avec l'herbe fauchée de manière à simuler l'état pâturé. Les conditions initiales d'humidité ont été estimées au début de chaque simulation par la méthode gravimétrique.

Les figures 8, 9, 10 et 11 montrent les principaux résultats concernant les volumes écoulés.

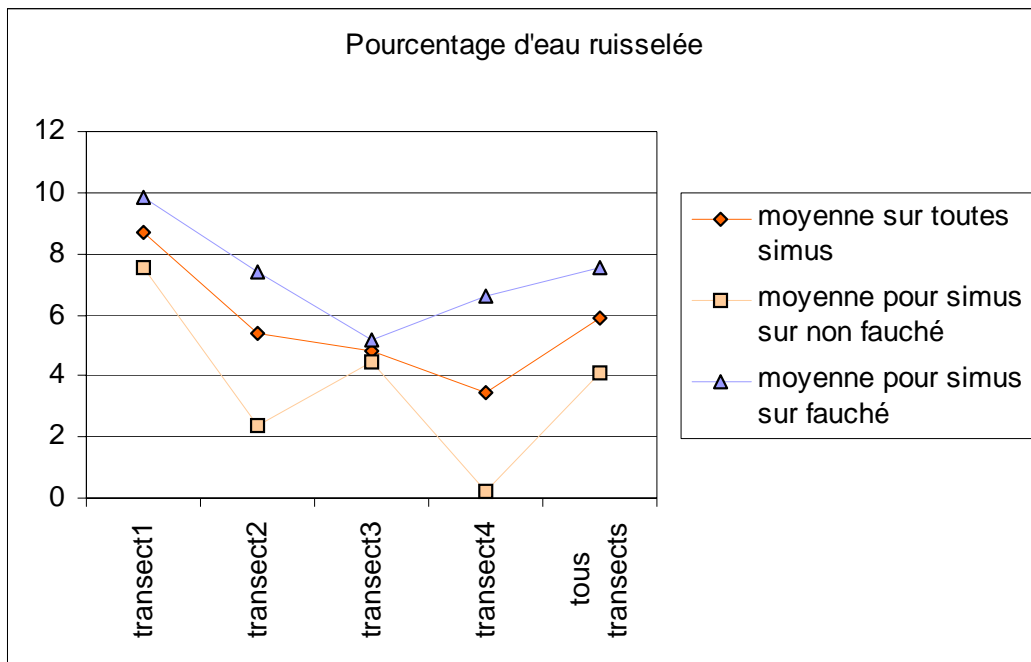


Figure 8. Moyennes des volumes recueillis en surface.

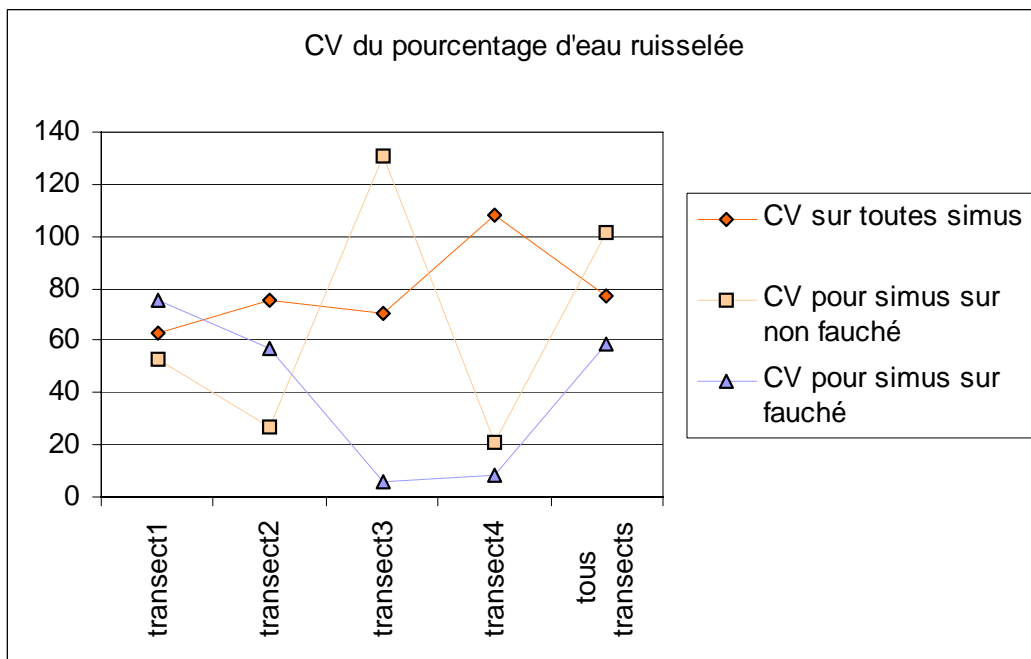


Figure 9. Coefficients de variation pour les volumes ruisselés.

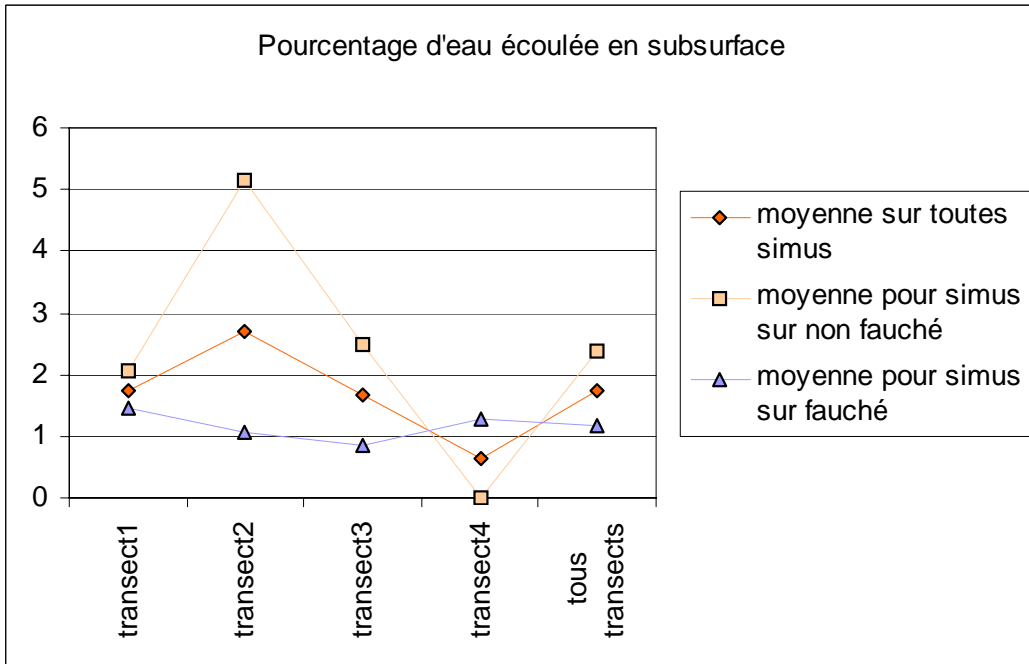


Figure 10. Moyennes des volumes recueillis en subsurface.

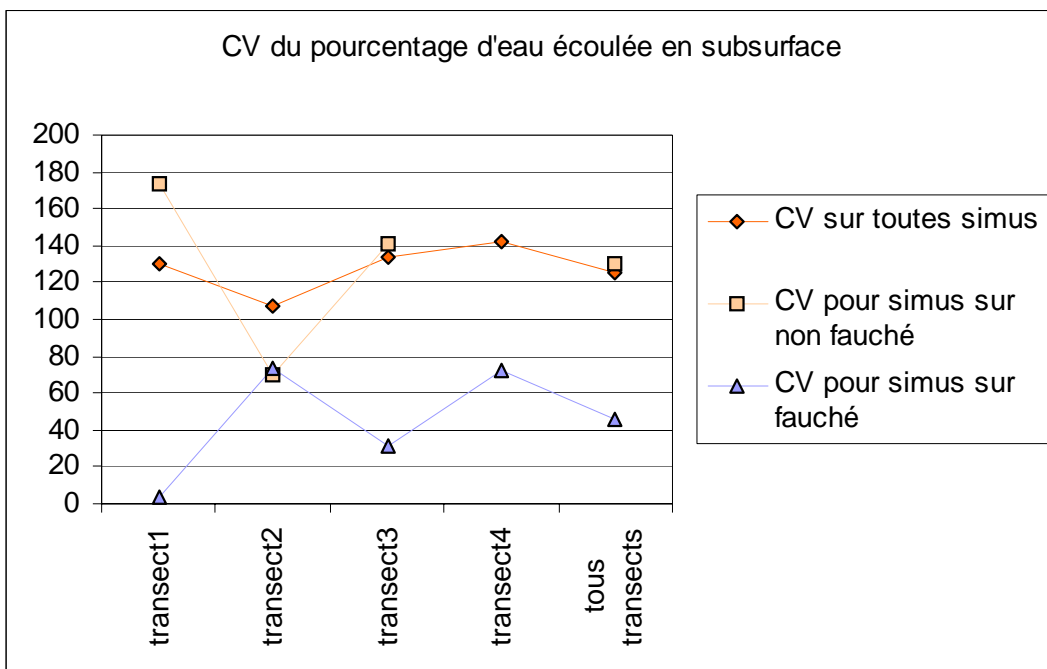


Figure 11. Coefficients de variation pour les volumes recueillis en subsurface.

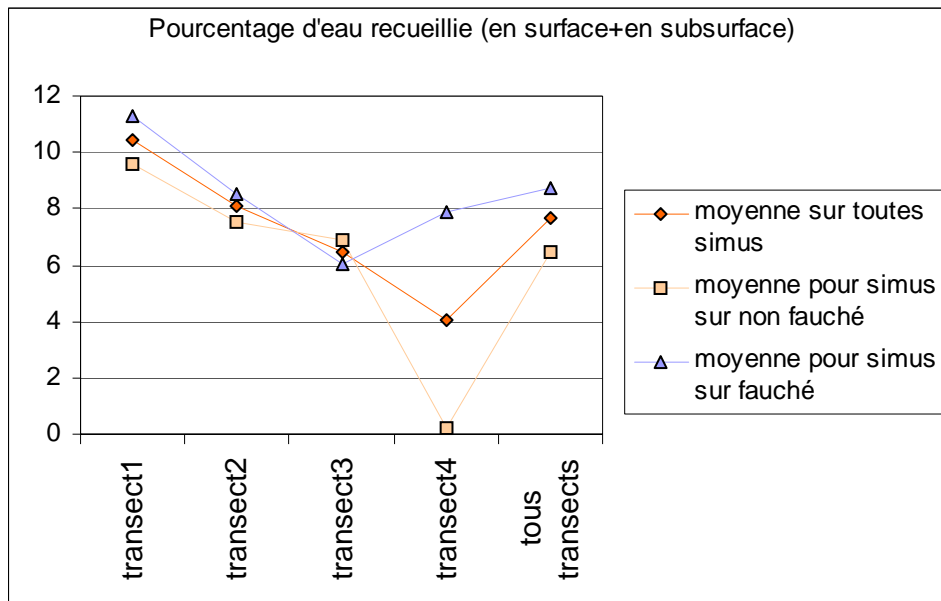


Figure 12. Moyennes des volumes totaux recueillis dans les gouttières supérieure et inférieure.

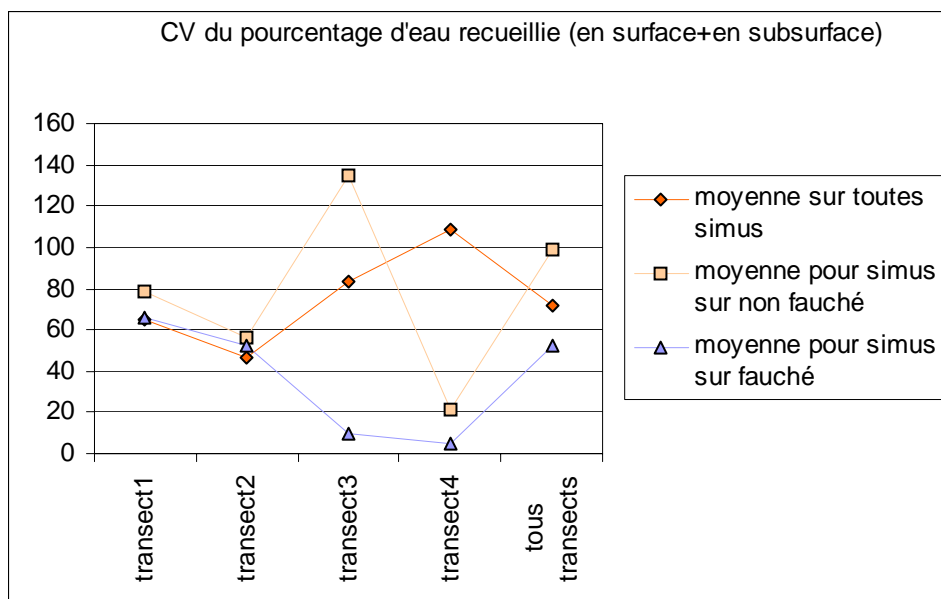


Figure 13. Coefficients de variation (en %) des volumes totaux recueillis

L'analyse des résultats permet de dégager les observations suivantes :

4 On recueille en moyenne 2.5 mm (6 % du total précipité) en surface et 0.8 mm (2 %) en subsurface. La variabilité de ces hauteurs est très importante : le coefficient de variation est de **77 % en surface et 125 % en subsurface.** (Figures 8, 9 10 et 11)

4 La dispersion de l'écoulement total recueilli en surface et en subsurface est moindre que quand on considère ruissellement et écoulement de subsurface séparément (le coefficient de variation n'est plus que de 70%), ce qui pourrait signifier que les écoulements de surface et de subsurface se compensent mutuellement. (Figures 12 et 13)

4 Le premier filet de ruissellement s'observe au bout de 7 minutes tandis que le tensiomètre situé à 10 cm de profondeur réagit au bout de 8 minutes en moyenne.

4 Le ruissellement s'établit toujours sous forme de filets d'eau suivant des cheminements préférentiels, il semble donc illusoire d'espérer modéliser ce phénomène avec les équations classiques des écoulements à surface libre (Manning, St Venant).

4 La fauche de la végétation augmente les volumes recueillis de 2.5 à 3.7 mm, soit une **augmentation de 50 %**. Le **ruissellement double** (1.6 à 3.3 mm) et son coefficient de variation chute de 100 % à 60 %. **L'écoulement de subsurface est divisé par deux** (0.8 à 0.4 mm) et son coefficient de variation chute de 130 % à 45 %. Le fauchage semble avoir une incidence sur la proportion ruissellement / écoulement de subsurface (Figure 14). En effet, pour les parcelles en friche, les volumes ruisselés (variant entre 0 et 13% du volume précipité) ne sont pas corrélés avec les volumes écoulés en subsurface (compris entre 0 et 8% de la pluie). Quand les parcelles sont fauchées, la proportion d'eau écoulee en subsurface paraît cantonnée entre 0 et 2% du volume précipité et beaucoup moins variable en fonction du volume ruisselé.

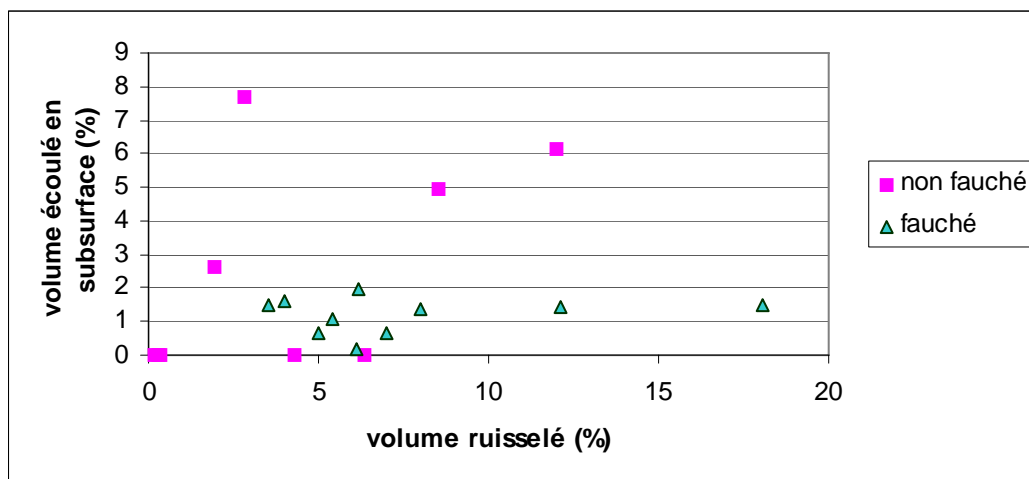


Figure 14. Impact du fauchage sur la proportion volume ruisselé / volume écoulé en subsurface (exprimés en % du volume précipité)

Le fauchage a donc trois effets assez bien marqués :

- i) une augmentation du volume écoulé ;**
- ii) un transfert d'écoulement de la subsurface vers la surface ;**
- iii) une homogénéisation spatiale de ces deux compartiments.**

4 Les données sont encore insuffisantes à l'heure actuelle pour estimer l'effet sur ces écoulements des conditions d'humidité du sol avant la pluie.

4 Enfin, il est à noter que l'écoulement de subsurface n'a jamais été observé sans qu'il y ait ruissellement de surface alors que l'inverse est possible.

2.4. Comparaison des comportements des transects sous pluies naturelles et simulées

Sous simulation, le transect 1 a ruisselé le plus en moyenne (4 mm) avec un CV assez faible de 63% alors que le transect 4 a ruisselé le moins (1.2 mm) avec un grand CV de 108%. Sous événements pluvieux, le transect 2 ruisselle le plus en moyenne (470 ml) (comparaison effectuée sur les mesures réalisées suite aux périodes pluvieuses de juillet 99 à février 2000). C'est aussi le transect 4 qui ruisselle le moins en moyenne : 370 ml.

Sous simulation, le transect 2 répond le plus en moyenne en ce qui concerne l'écoulement de subsurface (1.2 mm) avec une relativement faible dispersion (110%) et le transect 4 répond le moins en moyenne (0.4 mm) avec une grande dispersion (140%). Sous événements pluvieux, c'est sur le transect 1 qu'il s'écoule le plus d'eau en subsurface en moyenne (345 ml), le transect 4 étant très défavorisé (220 ml).

Sous pluie artificielle, le transect 4 paraît avoir un comportement atypique, car l'écoulement total recueilli sur ce transect n'est que de 1.6 mm soit moitié moins que ce qui est récupéré en moyenne sur tous les transects. Le transect 1 recueille le plus d'eau en moyenne (11% de la pluie précipitée soit 4.5 mm), les transects 2 et 3 fournissant respectivement 8 % et 6 % de la pluie. De même, sous averses naturelles, le transect 4 ne donne que 585 ml en moyenne alors que la moyenne sur tous les transects est de 720 ml. On collecte 810 ml sur chacun des transects 1 et 2, le transect 3 fournit 660 ml.

Comme sous pluies simulées, il s'écoule sous événements pluvieux plus d'eau en moyenne en surface (450 ml) qu'en subsurface (270 ml) avec des coefficients de variation spatiaux de 20%.

On constate donc certaines analogies dans les comportements des transects sous pluies artificielle et naturelle, en particulier en ce qui concerne le transect 4, aussi bien en surface qu'en subsurface. En effet, ce transect est moins « productif », que les autres, et ce de façon significative. Notons aussi que cette parcelle 4 est aussi celle pour laquelle le fauchage a le plus d'impact en surface (constaté lors des simulations) : on y recueille 2.9 mm quand la parcelle est fauchée et seulement 0.1 mm quand la parcelle est en friche.

2.5. Non stationnarité des comportements des transects

La période de mesure sous événements naturels a été scindée en deux « sous périodes », l'une s'étendant de juillet 1999 à début novembre 1999, l'autre de novembre 1999 à février 2000. En effet, des changements de comportements des transects ont été observés.

Ainsi, en ce qui concerne le ruissellement, sur la première période de mesure, période plus estivale, les transects 1 et 2 ruissellent plus que la moyenne spatiale alors que les transects 3 et 4 ruissellent moins que la moyenne. La situation s'inverse lors de la seconde période. (figure 15)

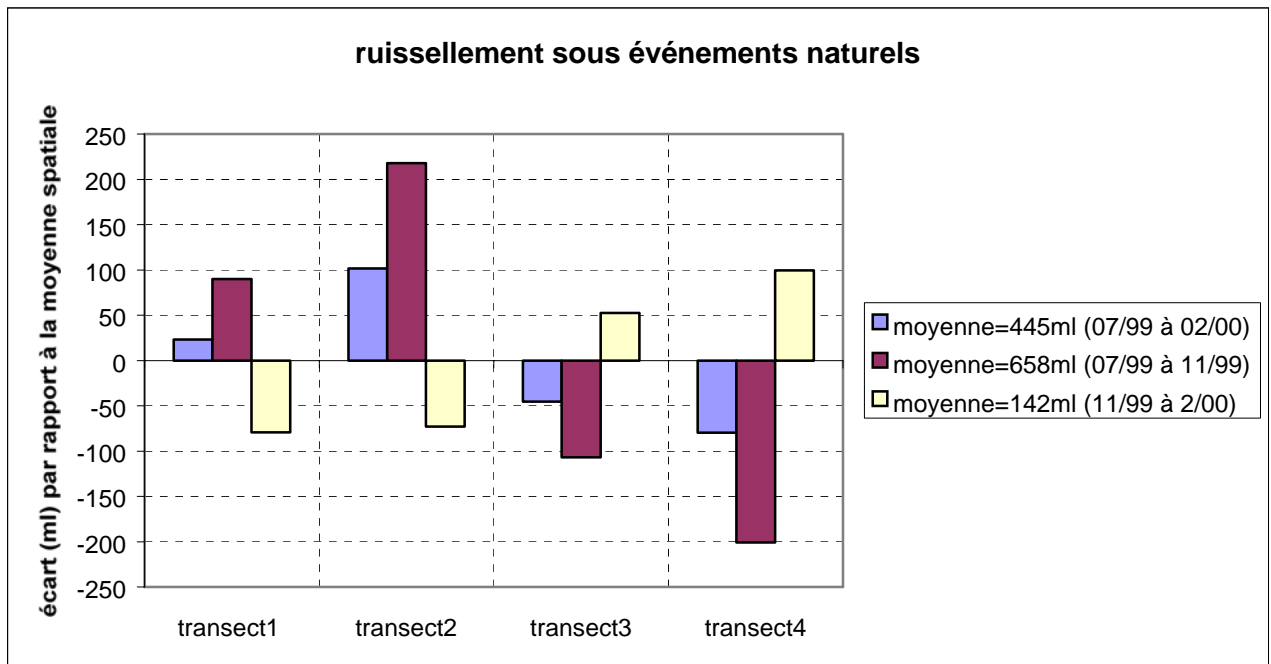


Figure 15. Comportement des différents transects en surface par rapport à la moyenne spatiale sur diverses périodes d'échantillonnage

On ne remarque pas une telle saisonnalité des comportements en ce qui concerne l'écoulement de subsurface (figure 16).

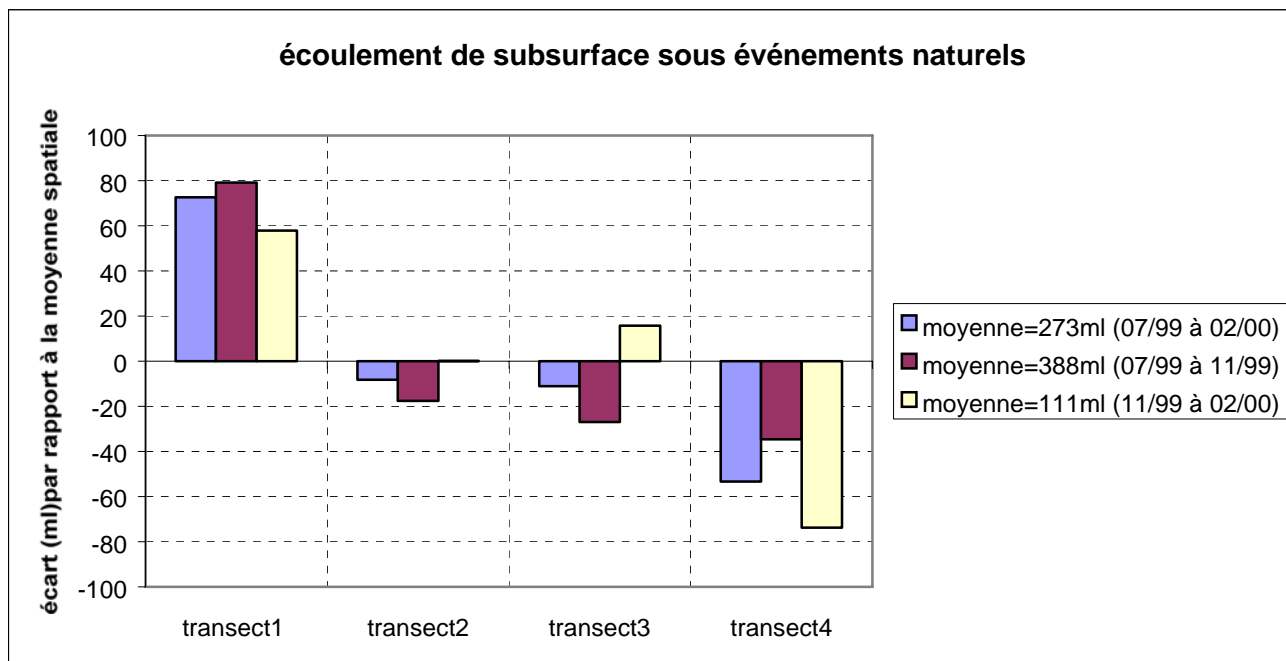


Figure 16. Comportement en subsurface des différents transects par rapport à la moyenne spatiale sur diverses périodes d'échantillonnage

On peut aussi étudier la fréquence temporelle d'apparition du plus fort ruissellement par exemple sur chaque transect. Ainsi, sur 21 intervalles pluvieux (du 15/7/99 au 10/2/00) ayant occasionné des mesures significatives de ruissellement, il s'avère que le transect 4 ruisselle le plus le plus souvent (50%). Mais il semblerait là encore que les comportements des transects se soient modifiés au cours de cette durée. En effet, sur la période du 15/7/99 au 3/11/99 comprenant 10 événements pluvieux, le transect 2 ruisselle le plus le plus souvent (60%) alors que sur la période restante (4/11/99 au 10/2/00 soit 11 événements pluvieux), la parcelle 4 ruisselle le plus le plus souvent (90%).

Les variations saisonnières des conditions physico-climatiques (cumul, nature et intensité des précipitations, teneur en eau initiale...) pourraient donc entraîner une saisonnalité des réactions des transects en surface, notamment du transect 4, qui semble réagir de manière différenciée aussi bien en volume qu'en fréquence du plus grand volume mesuré suivant le type d'événement pluvieux auquel il est confronté.

L'été est caractérisé par des orages convectifs, de forte intensité (intensité maximale mesurée en 5 minutes : 120 mm/h) et de courte durée ; les sols s'assèchent relativement vite durant cette période (teneurs en eau volumétriques dans la tranche 25cm-65cm estimées avant simulation entre 0.17 et 0.25). Les simulations, correspondant à un événement exceptionnel où l'intensité est de 120 mm/h pendant 20 minutes, se rapprochent des conditions orageuses, tout en conservant un caractère exceptionnel. Au contraire, l'automne

et surtout l'hiver correspondent à des événements beaucoup moins intenses (après le 2/10/99 l'intensité maximale en 5 minutes est toujours inférieure à 30 mm/h), qui durent plus longtemps ; les sols sont plus humides (teneurs en eau volumétriques dans la tranche 35-85 cm estimées à 0.3 à trois reprises entre le 29/11/99 et le 3/2/00). A partir du 16/11/99, il neige épisodiquement à 800m.

Cette question d'une saisonnalité éventuelle des réactions des transects devra donc être creusée, ce qui sera possible lorsqu'on disposera d'un jeu annuel de données sous événements naturels et de résultats de simulations à intensités et durées variables.

3. Interrogations en attente:

Les interrogations concernent désormais :

- La dépendance des écoulements et de leur variabilité avec les caractéristiques de la pluie.
- Le lien éventuel entre l'intensité limite "ruisselante" et l'état hydrique initial du sol.

Un programme d'automatisation est actuellement en cours, qui permettra dès la fin des périodes de gel de suivre en continu l'évolution de la teneur en eau, de la température, de la pression d'eau dans le sol et des débits écoulés en surface et subsurface. Les débits collectés dans les gouttières hautes et basses de chaque parcelle seront mesurés à l'aide de cuves à siphon actuellement en cours de fabrication. Des sondes capacitives seront installées à faible profondeur afin d'avoir accès à la teneur en eau volumique dans la couche superficielle de sol où la sonde à neutron donne des résultats peu fiables.

Une expérience géochimique est également envisagée : il s'agit de simuler, de préférence en été, deux pluies l'une après l'autre, toutes deux de signatures géochimiques différentes et non similaires à celle de l'eau du sol. L'objectif est de déterminer la provenance des eaux recueillies en surface et en subsurface et la variabilité spatiale et temporelle du partitionnement eau nouvelle/ eau ancienne éventuel au sein des deux types d'écoulements.

Enfin un dispositif (venturi ou autre) associé au fossé de drainage situé au bas de la prairie instrumentée permettra d'estimer quel débit peut être drainé par le versant et dans quelles conditions un écoulement y est effectivement collecté.

Conclusions

Après 6 mois d'expérimentation, on dispose d'un jeu déjà important de données de ruissellement et d'écoulement subsurface sur un site de prairie, sous pluies naturelles et simulées. La première observation positive vis à vis de nos objectifs est donc celle de la faisabilité de la mesure, ce qui n'était pas acquis au départ.

Un certain nombre d'observations ont pu être faites et qui devront être prises en compte pour toute tentative future de modélisation des écoulements de crue. Ainsi, il s'est avéré que la teneur en eau initiale était un paramètre indispensable pour expliquer la variabilité temporelle des écoulements en surface et en subsurface. Les grands coefficients de variation obtenus sous pluies simulées pour les deux types d'écoulements renseignent sur la précision à attendre d'un modèle : il est inutile d'améliorer un modèle dans le sens d'une meilleure précision des résultats, qui surpasserait la précision observée in situ. Par ailleurs, les simulations de pluie ont montré l'influence de la couverture végétale sur les réactions des transects tant en matière de volumes recueillis que de variabilité et sur l'interaction entre écoulements de surface et de subsurface.

Des collaborations sont en cours avec les services techniques de la ville d'Eybens afin d'appréhender le fonctionnement hydrologique du bassin dans son ensemble et, en particulier, de disposer de mesures de débit du Verderet, ce qui permettra de lier les observations locales au fonctionnement global du bassin. A terme, il est envisagé d'adapter le modèle conceptuel à base physique TOPMODEL (Saulnier, 1996) à une meilleure prise en compte des écoulements rapides de crue sur les petits bassins à topographie marquée. Il s'agira notamment d'intégrer au sein du modèle le réseau de linéaires (routes, fossés...), inévitable sur un bassin péri-urbain, en prenant en compte non seulement leurs dispositions et connections éventuelles mais aussi leurs profondeurs, dans le but d'améliorer la prévision des crues sur un tel type de bassin.

* * * * *

Remerciements

Ce travail a été financé par le Pôle Grenoblois d'Etude et de Recherche pour la Prévention des Risques Naturels et par le Programme National de Recherche en Hydrologie (PNRH). Nous remercions vivement Mr Bernard Lefebvre pour avoir mis à notre disposition la parcelle ayant servi à cette étude. Nous souhaitons également remercier les personnes qui nous ont apporté leur aide lors des simulations de pluie : J. Lewandowska, I. Zin, C. Obled et M. Vauclin.

Références bibliographiques

- Abbott, M.B., Bathurst, J.C., Cunge, J.A., O'Connell, P.E., Rasmussen J., 1986a. An introduction to the European Hydrological System SHE, 1, History and philosophy of a physically-based, distributed modelling system. *Journal of Hydrology* 87 :45-59
- Ambroise, B., 1998. Genèse des débits dans les petits bassins versants ruraux en milieu tempéré. 1. Processus et facteurs. *Rev. Sci. Eau* 4 ; 471-495
- CETE. 1994. Etude hydrologique du bassin versant du Verderet. *Rapport CETE Méditerranée*.
- Beven, K. and Kirkby, M.J., 1979. A physically based, variable contributing area model of basin hydrology. *Hydrol. Sci. Bull.* 24, 1 ; 43-69
- Chevallier, P. 1992. Simulation de pluie sur deux bassins versants sahéliens. Mare d'Oursi, Haute-Volta. *Cahiers ORSTOM, série Hydrologie, vol. XIX, n°4, 253-297.*
- Corbishley, S.F. 1999. A hydrological study of an Alpine meadow, Rhône-Alpes, France. *B. Sc. thesis, University of Lancaster.*
- Edijatno, Michel C., 1989. Un modèle pluie-débit journalier à trois paramètres. *La houille blanche, 2, 113-121*
- Faby, J.-A. 1999. Facteurs explicatifs des crues et inondations. *Synthèses de l'Office International de l'Eau.*
- Haverkamp, R., Braud, I., Ross, P.J., Descroix, L., Zammit, C. 2000. Beerkan : a quick method to determine in situ soil characteristic parameters. *Soumis à S. Sci. Soc. Am. J.*
- Schipman, A.-J. 1999. Fonctionnement hydrodynamique des versants : mise en œuvre d'une approche expérimentale. *Mémoire de DEA "Mécanique des Milieux Géophysiques et Environnement", Université Joseph Fourier.*
- Schipman, A.-J., Vandervaere, J.-P., Descroix, L. et Boubkraoui, S. 2000. An experimental study of flood flows generation on an Alpine hillslope. *Soumis à J. Hydrol.*
- Saulnier, G.-M. 1996. Information pédologique spatialisée et traitements topographiques améliorés dans la modélisation hydrologique par Topmodel. *Thèse de doctorat, Institut National Polytechnique de Grenoble.*
- Sherman, L.K., 1932. Streamflow from rainfall by unit-graph method. *Engineering News Record* 108 ; 501-505
- Vandervaere, J.-P. 1995. Caractérisation hydrodynamique du sol in situ par infiltrométrie à disques. Analyse critique des régimes pseudo-permanents, méthodes transitoires et cas des sols encroûtés. *Thèse de doctorat, Université Joseph Fourier.*