

FONCTIONNEMENT HYDROLOGIQUE DES BASSINS VERSANTS DE ROCHES MÉTAMORPHIQUES : EXEMPLE DU BASSIN VERSANT DES MAURETS (MASSIF DES MAURES, VAR, FRANCE)

Frédéric MARTIN ⁽¹⁾, Claude MARTIN ⁽²⁾, Jacques LAVABRE ⁽³⁾ et Nathalie FOLTON ⁽³⁾

(1) : 32 Avenue Jean Jaurès, 83460 LES ARCS. Mél : fhl.martin@wanadoo.fr

(2) : UMR 6012 "ESPACE" du CNRS, Département de Géographie, Université de Nice-Sophia-Antipolis, 98 Boulevard Édouard Herriot, BP 3209, 06204 NICE cedex 03.

(3) : Cemagref, Le Tholonet, BP 31, 13612 AIX-EN-PROVENCE cedex 01.

RÉSUMÉ : L'étude met l'accent sur le rôle de l'anisotropie des roches métamorphiques, et tout particulièrement de la relation entre la direction de la pente des versants et celle des structures planaires des roches, dans la circulation des eaux. Le bassin versant des Maurets (8,37 km²) dispose, avec quatre stations limnigraphiques et trois pluviographes, d'un équipement adapté à la poursuite de l'objectif défini. L'étude hydrologique menée sur ce bassin versant montre que les secteurs où les versants présentent une pente perpendiculaire à la direction des structures planaires des roches stockent beaucoup d'eau et la restituent lentement. Les secteurs où les directions de la pente et des structures planaires sont perpendiculaires, se révèlent favorables à la circulation rapide des eaux et alimentent les crues. Toutefois l'influence de la relation entre les roches et la topographie devient négligeable lorsque des altérites très épaisses emmagasinent de grandes quantités d'eau qu'elles restituent très difficilement.

MOTS-CLÉS : hydrologie, bassins versants, roches métamorphiques, massif des Maures.

ABSTRACT : The study emphasize the role of the anisotropy of the metamorphic rocks, and particularly of the relation between the direction of the incline of the slopes and that of the planar structures of the rocks, in the circulation of water. The Maurets catchment (8,37 km²), which has equipment of four limnigraphic stations and three recording rain-gauges, is adapted to the realization of the definite objective. The hydrological study undertaken on this catchment shows that the sectors where the slopes present an incline perpendicular to the direction of the planar structures of the rocks store much water and restore slowly it. The sectors where the directions of the incline and the planar structures are perpendicular, appear favorable to the fast circulation of water and feed the floods. However the influence of the relation between the rocks and topography becomes negligible when very thick regoliths store great quantities of water which they restore with much difficulty.

KEY-WORDS : hydrology, catchments, metamorphic rocks, massif of Maures.

I - INTRODUCTION

La présente étude constitue le prolongement d'une série d'observations sur la circulation des eaux dans les roches métamorphiques du massif des Maures. Deux approches complémentaires ont fourni des informations à cet égard :

- D'une part, des recherches géomorphologiques (C. MARTIN, 1972, 1986), qui ont mis en évidence le rôle joué par l'anisotropie des roches métamorphiques (autrement dit par les structures planaires : plans de stratification et de schistosité essentiellement) sur le dessin du réseau hydrographique, la localisation des sources, l'évolution dissymétrique des versants.
- D'autre part, des études menées sur des stations

expérimentales (C. MARTIN, 1975, 1986 ; É. GAILLARD *et al.*, 1996), qui ont révélé l'importance du rôle de la relation entre la direction de la pente et celle des structures planaires dans l'engorgement en eau des roches altérées et des sols.

Les résultats de ces travaux conduisent à penser que la relation entre la direction des structures planaires et celle de la pente topographique influence le fonctionnement hydrologique des bassins versants de roches métamorphiques (C. MARTIN, 1992) :

- lorsque ces directions sont perpendiculaires entre elles, ou fortement obliques, les eaux infiltrées progressent lentement vers le bas des versants et le stockage est favorisé ;

- en revanche, lorsqu'elles sont parallèles, les eaux peuvent gagner plus facilement les cours d'eau, en s'écoulant le long des structures planaires.

Cette particularité est négligée dans la plupart des études hydrogéologiques et hydrologiques menées en terrains métamorphiques (R. LAMBERT, 1975 ; Ph. LOISEAU, 1988 ; J.M. GRÉSILLON, 1994 ; etc.). Il est donc apparu nécessaire de mener des investigations à l'échelle d'un bassin versant. Le choix s'est porté sur celui des Maurets (F. MARTIN, 1999, 2000), qui appartient au Bassin Versant de Recherche et Expérimental (BVRE) du Réal Collobrier, géré par le Cemagref, depuis 1966, dans la partie

occidentale, métamorphique, du massif des Maures (Fig. 1).

Le bassin des Maurets connaît un climat de type méditerranéen humide, avec des précipitations annuelles moyennes de 1057 mm entre septembre 1969 et août 1992 (écart-type : 320 mm). Sur la même période, les écoulements annuels moyens ont atteint 337 mm (écart-type : 249 mm). Les écoulements annuels manifestent, en relation avec les précipitations, des variations interannuelles considérables : 828 mm en 1976-77 (P = 1636 mm), 18 mm en 1988-89 (P = 490 mm), 11 mm en 1989-90 (P = 569 mm). Notons enfin que les ruisseaux tarissent chaque été.

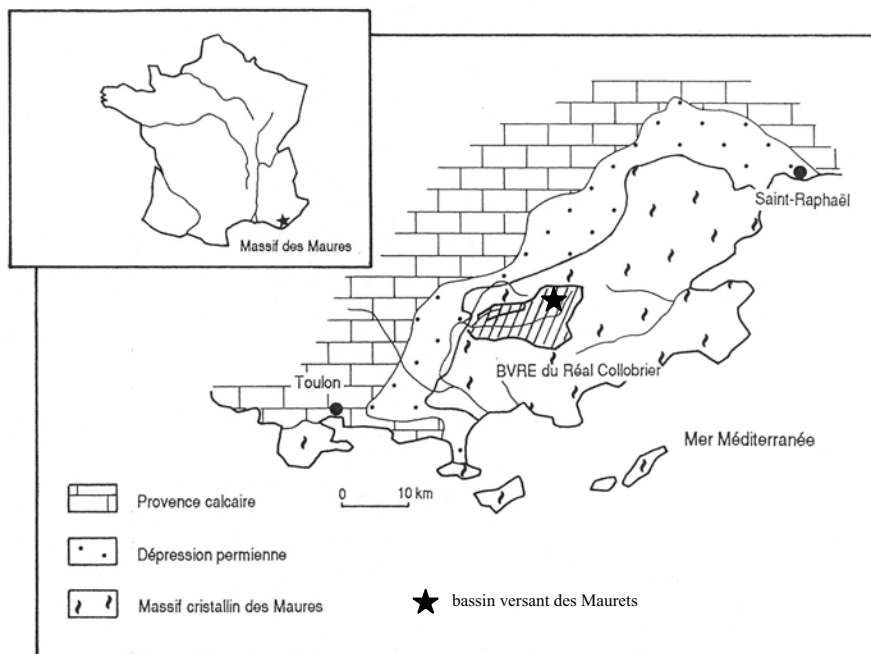


Figure 1 - Localisation du terrain d'étude.

II - LE TERRAIN D'ÉTUDE

Situé dans la partie nord-est du BVRE du Réal Collobrier (Fig. 1), le bassin versant des Maurets couvre une superficie de 8,37 km² (Fig. 2).

1) Géologie

De nombreux géologues ont décrit et cartographié les ensembles lithologiques représentés sur le bassin versant des Maurets (L. LUTAUD, 1951 ; S. GUEIRARD, 1957 ; P. BORDET, 1969 ; M. SEYLER, 1975). La

figure 2 synthétise les informations disponibles.

Les roches rencontrées sur le bassin sont principalement des phyllades et des amphibolites. Les phyllades constituent la partie amont du bassin versant. Ils se présentent soit sous la forme d'une alternance de bancs quartzeux et schisteux (phyllades des Sauvettes), soit sous la forme de schistes (phyllades du Bénat). Les amphibolites, associées à des leptynites, se trouvent uniquement dans la partie aval. Dans cette partie inférieure du bassin, le substratum comporte également quelques bancs de gneiss et de micaschistes. Les amphibolites sont extrêmement sensibles à l'altération chimique, alors que les phyllades sont très résistants.

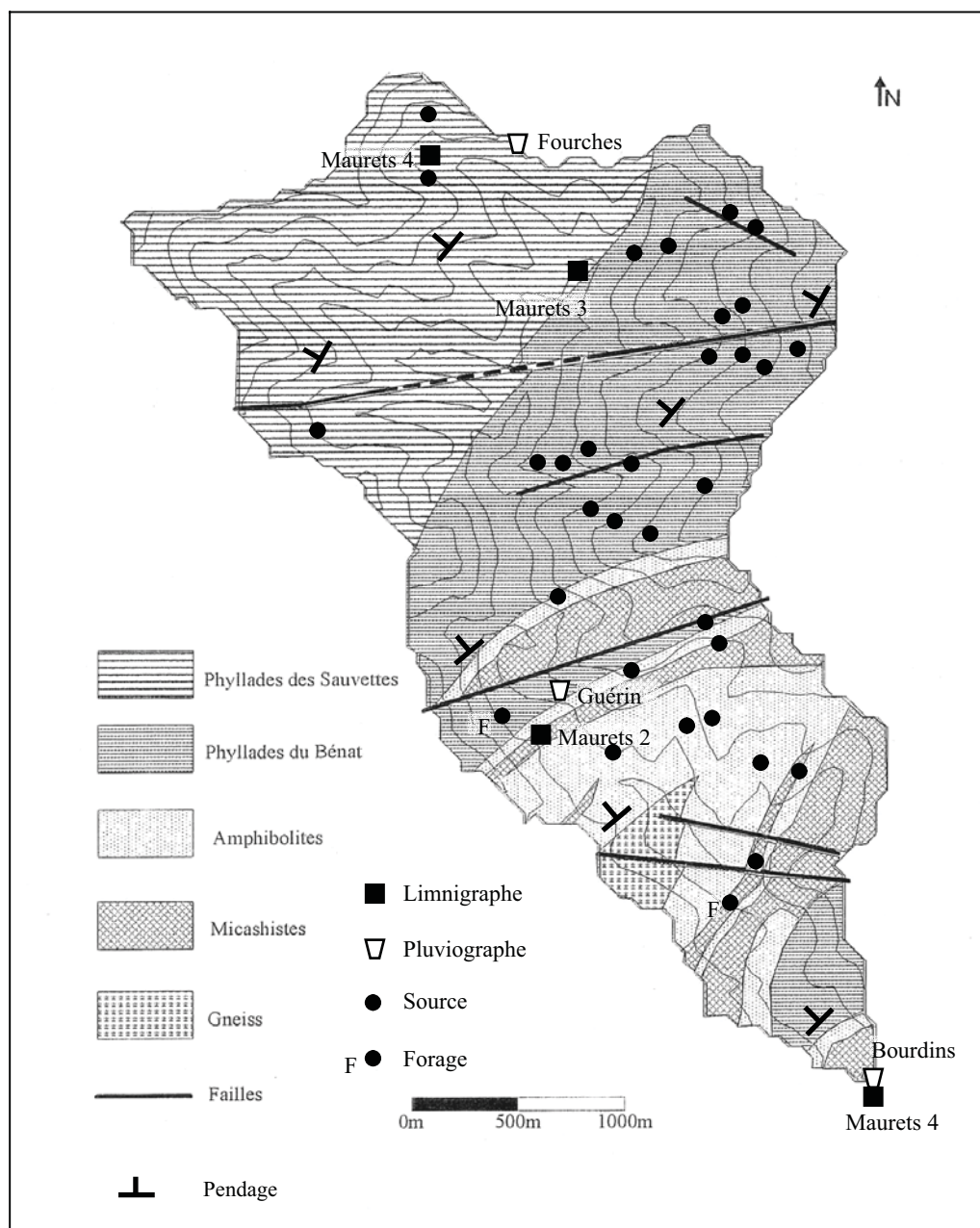


Figure 2 - Présentation du bassin versant des Maurets.

Les roches présentent un fort pendage vers l'ouest où le nord-ouest. L'inclinaison moyenne avoisine 70° . Les plans de schistosité, de foliation, et de stratification sont parallèles les uns aux autres (P. BORDET, 1969).

Les terrains sont affectés de nombreuses failles, d'orientation E.NE-O.SO.

2) Relief

Le bassin versant est orienté N.NE-S.SO. Il présente une forme grossièrement triangulaire, la partie amont étant ouverte sur les plus hauts sommets du massif des Maures (Notre-Dame-des-Anges et la Sauvette), tandis que la vallée se

resserre fortement vers l'aval. Les principales caractéristiques physiques sont résumées dans le tableau I.

La partie inférieure du bassin versant présente une topographie assez douce. La vallée est délimitée par deux croupes dont l'altitude décroît vers l'aval et qui n'ont pas été vigoureusement entaillées par les affluents du ruisseau des Maurets. Les dénivelées restent inférieures à 200 m ; l'inclinaison des versants ne dépassent pas 20° . Au niveau des affleurements d'amphibolites, l'altération des roches a permis un évasement du fond de la vallée, mais les formes topographiques ainsi dégagées ne doivent

Tableau I - Caractéristiques physiques du bassin versant des Maurets (d'après V. MARC, 1994).

Superficie (km ²)	8,37	Longueur totale du réseau de drainage (km)	19,88
Périmètre (km)	15,25	Densité de drainage (km/km ²)	2,36
Altitude moyenne (m)	445	Pente moyenne des thalwegs (%)	9,3
Altitude minimale (m)	196	Longueur de rectangle équivalent (km)	6,29
Altitude maximale (m)	780	Largeur du rectangle équivalent (km)	1,34

pas être interprétées comme l'indice de la présence d'une nappe alluviale largement développée.

Dans la partie amont du bassin versant, les dénivelées maximales dépassent 400 m et les pentes sont fortes. Le réseau hydrographique secondaire est souvent bien adapté à la fracturation. En rive droite du ruisseau des Maurets, quatre affluents importants ont découpé une série d'échines parallèles qui marquent fortement la topographie : les dénivellations dépassent 100 m et les versants ont des pentes fortes. En rive gauche, l'encaissement des affluents a été beaucoup moins profond. De ce fait, ils ont délimité entre eux de grands pans de

versant qui descendent directement vers le ruisseau principal. Les éléments du relief proche du sommet de La Sauvette, qui correspondent à une ancienne topographie héritée du Tertiaire (C. MARTIN, 1986), offrent des pentes inférieures à 20°, alors que l'inclinaison des versants est très forte près du ruisseau des Maurets. Sur cette même rive gauche du ruisseau des Maurets, les vallons affluents, grossièrement parallèles à la direction des structures planaires des roches, sont dissymétriques (Fig. 3). L'évolution dissymétrique de ces vallons est liée à la pénétration différentielle des eaux dans les roches en fonction de la relation entre la topographie et les structures planaires des roches (C. MARTIN, 1972).

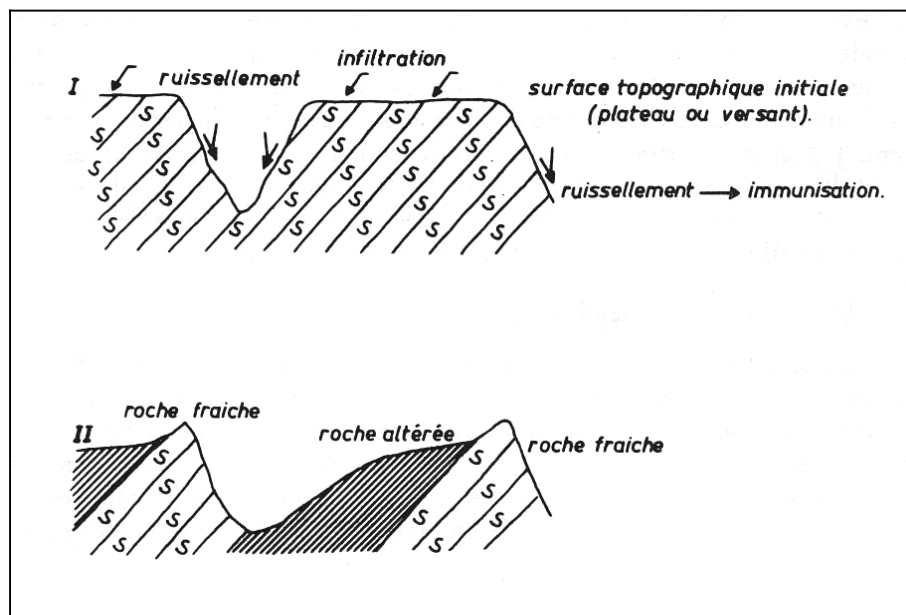


Figure 3 - L'évolution dissymétrique des vallées (C. MARTIN, 1972).

Les bancs venant à l'affleurement sur les escarpements regardant dans le sens opposé à celui du pendage se trouvent immunisés. Les versants dont la pente a le même sens que le pendage favorisent l'infiltration des eaux et l'altération des roches. Cette pénétration des eaux emprunte essentiellement les structures planaires des roches.

La différence de structuration de relief entre les secteurs amont et aval du bassin versant transparaît également à travers la densité de drainage correspondant aux seuls ruisseaux secondaires : 1,98 km/km² pour le secteur amont, contre 1,39 km/km² pour le secteur aval (1,81 km/km² pour l'ensemble du bassin versant).

3) Relations entre topographie et structures planaires des roches

Un MNT couplant la direction de la pente des versants à celle des structures planaires a été réalisé à partir du fichier de l'IGN au 1/25 000 (F. MARTIN, 1999). Ce document (Fig. 4) reproduit les informations que l'on peut tirer de la lecture la carte géologique sur fond topographique (voir Fig. 2). Moins globalisante (pas de 50 m), la vision qu'il fournit se révèle complémentaire.

Sur de nombreux secteurs de la partie amont du bassin versant, les structures planaires forment avec la direction de la pente topographique un angle supérieur à 60°. Une telle disposition se rencontre particulièrement en rive gauche du ruisseau des Maurets.

Dans la partie amont occidentale du bassin versant, les structures planaires sont fréquemment parallèles à la pente des versants.

Enfin, dans la partie aval du bassin versant, les structures planaires sont souvent parallèles à la pente topographique. Mais un autre facteur intervient dans ce cas : l'épaisseur des manteaux d'altérites développés dans la zone d'affleurement des amphibolites, qui pourrait limiter l'importance des écoulements le long des structures planaires.

4) Localisation des sources

Les sources du bassin versant des Maurets ont été cartographiées par C. DELAUNAY (1992). Elles sont situées sur des versants dont la pente topographique est perpendiculaire ou fortement oblique à la direction des structures planaires des roches. Cette condition est souvent réalisée sur le versant oriental du bassin versant, secteur où la décompression des roches est en outre la plus poussée. Dans le détail, la localisation des sources est déterminée par différents facteurs : blocage des eaux par un banc de roches peu altérées et peu fissurées derrière lequel se forme une nappe, intervention d'une fracture drainante qui concentre les écoulements, présence d'une rupture de pente qui rapproche les eaux de la surface.

Vers le haut du versant occidental de la Sauvette, les vallons en berceau où prennent naissance les affluents de rive gauche du ruisseau des Maurets constituent des zones d'accumulation où les eaux se concentrent après avoir circulé sur les versants le long des structures planaires des roches. Elles se trouvent alors en partie piégées

du fait de l'épaisseur des formations superficielles et des roches altérées, ainsi que de la disposition des structures planaires qui gêne leur évacuation vers le ruisseau des Maurets en dépit de la présence d'importantes fractures orientées E.NE-O.SO.

Sur les versants dont la pente est parallèle à la direction des structures planaires des roches, pour que des sources pérennes apparaissent, il faut que des conditions particulières soient réunies (C. MARTIN, 1986) :

- alimentation par des eaux s'échappant latéralement d'un versant dont la pente topographique est perpendiculaire ou très oblique à la direction des structures planaires ;
- localisation en relation avec une faille drainante alimentée par un secteur, situé plus haut sur le versant, où la relation entre la topographie et la lithologie est favorable à la formation d'une nappe aquifère.

5) Sols et formations superficielles

Les connaissances sur les sols et les formations superficielles reposent essentiellement sur les travaux de J. PORTIER (1974) et de T. CURT (1994).

Les sols sont peu évolués et présentent un horizon humifère bien différencié. Les profils sont de type A-C ou A-(B)-C.

Les rankers sur roche ont un horizon A peu épais (50 cm au maximum). L'épaisseur de l'horizon d'altération (C) est variable et dépend de la roche mère et de la disposition des structures planaires par rapport à la pente. Dans le secteur aval, sur les amphibolites, les altérites sont parfois épaisses de plusieurs mètres. Dans le secteur amont, lorsque la pente est parallèle à la schistosité, les versants présentent de nombreux chicots rocheux. Sur les phyllades dont la pente est perpendiculaire aux structures planaires, des racines d'altérites ont pu être conservées grâce à la protection fournie par les bancs les moins altérés.

Les rankers colluviaux (ou sols bruns rankers) sont issus de l'évolution pédogénétique récente de matériaux déplacés. Ce type de sol est principalement représenté dans la partie supérieure du versant oriental de la Sauvette, où les pentes sont relativement faibles.

6) Couvert végétal

Le climat méditerranéen exige de la

végétation une adaptation aux sécheresses estivales. Les essences sont en outre calcifuges. Le couvert est essentiellement constitué d'un maquis plus ou moins dégradé associé à des chênes lièges (*Quercus suber*) mélangés à des pins maritimes (*Pinus pinaster*). Les principales formes du maquis sont composées par la bruyère arborescente (*Erica arborea*) et l'arbousier (*Arbustus unedo*) pour le maquis haut, par la bruyère à balai (*Erica scoparia*), la callune (*Calluna vulgaris*), la fausse lavande (*Lavandula staechas*), les cistes (*Cistus monspeliensis* et *Cistus salviaefolius*) et le genêt épineux (*Calycotome spinosa*) pour le maquis bas.

Là où les conditions d'humidité le permettaient, des châtaigneraies ont été implantées. Elles sont bien représentées dans la partie aval du bassin versant où elles couvrent les arènes sur amphibolites, et sur le versant occidental de la Sauvette, en particulier au niveau des têtes de vallon.

U. WEESAKUL (1992) donne les valeurs suivantes des proportions, par rapport à la surface totale du bassin versant, des secteurs où chaque type d'essences apparaît dominant à la lumière d'une étude par télédétection : 27% pour le châtaignier, 58% pour le chêne liège, 8% pour le pin maritime, 6% pour le maquis (et le sol nu).

III - LES MESURES HYDROLOGIQUES

1) Dispositif de mesure

L'équipement de mesure comprenait initialement deux stations limnigraphiques (Maurets 1 et Maurets 2, mises en place en 1968, et en 1992) et trois pluviographes (Fig. 2). Dans la perspective de la présente étude, deux limnigraphes (Maurets 3 et 4) ont été ajoutés en 1997. Les quatre stations hydrométriques présentent un seuil bâti, doté d'un déversoir triangulaire pour les mesures en basses eaux. Les données fournies par un flotteur (Maurets 1 et 2) ou une sonde de pression (Maurets 3 et 4) sont enregistrées par une centrale d'acquisition informatique (depuis 1989 à la station des Maurets 1). Les courbes de tarage intégrant ces jaugeages ont été appliquées à toutes les mesures hydrométriques effectuées depuis septembre 1992.

Le réseau des stations hydrométriques détermine un ensemble de bassins versants emboîtés :

- Maurets 1 : bassin des Maurets dans son intégralité (8,37 km²).
- Maurets 2 : partie amont du bassin des Maurets, en amont de la station des Maurets 2 (5,75 km²).
- Maurets 3 : bassin des Fourches dans son intégralité (0,56 km²).
- Maurets 4 : partie amont du bassin des Fourches, en amont de la station des Maurets 4 (0,255 km²).

Ce dispositif permet d'étudier le fonctionnement des secteurs suivants :

a / Le secteur aval (Maurets 1-2 ; 2,65 km²) où la direction des structures planaires des roches est souvent parallèle à la pente des versants, mais où les formations superficielles sont épaisses (en particulier sur les amphibolites).

b / Le secteur amont (Maurets 2 ; 5,75 km²), uniquement constitué de phyllades, qui associe deux parties bien distinctes :

- La partie orientale, en rive gauche du ruisseau des Maurets, où les structures planaires ont souvent une direction perpendiculaire à celle de la pente des versants et où les roches sont fortement décompressées. Les circulations des eaux alimentant le ruisseau des Maurets sont ici trop complexes pour qu'il soit possible d'effectuer des mesures hydrologiques utiles aux recherches. En effet, au cours d'une campagne de jaugeages menée en avril 1999 sur le ruisseau des Maurets et ses affluents (F. MARTIN, 1999), il est apparu que l'alimentation occulte du ruisseau des Maurets représentait 52 % de l'écoulement total à la station des Maurets 2 (16,3 l/s) et 66 % des écoulements provenant du seul versant de rive gauche (écoulements mesurés + alimentation occulte : 8,5 l/s).

- La partie occidentale, en rive droite, qui présente des conditions très différentes, où nous disposons de l'équipement implanté sur le bassin versant des Fourches.

c / Les bassins des Maurets 3 et 4 (Fourches) dont nous considérons qu'ils sont représentatifs des cinq bassins versants qui constituent la partie occidentale du bassin des Maurets 2. Formé de phyllades, le bassin des Maurets 3 est orienté perpendiculairement à la direction des structures planaires des roches. Au niveau de l'amphithéâtre amont (Maurets 4 ; 0,255 km²), la relation entre la direction de la pente des versants et la disposition des roches est évidemment très complexe. Dans la partie aval (Maurets 3-4 ; 0,305 km²), rectiligne, les versants présentent une pente parallèle à la direction des structures planaires des roches. L'altération chimique

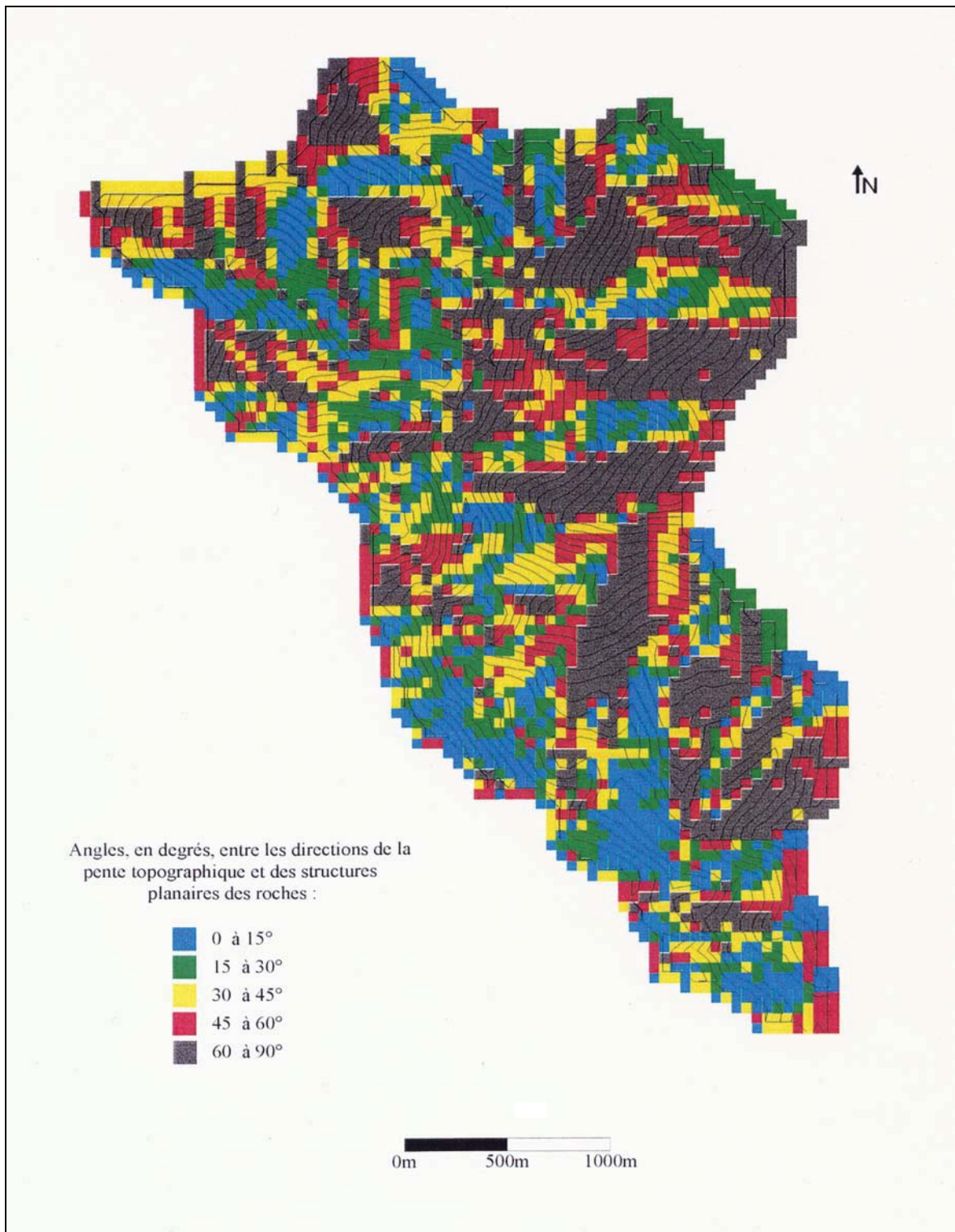


Figure 4 - Relations entre les directions de la pente topographique et des structures planaires des roches sur le bassin versant des Maurets (F. MARTIN, 2000).

rencontre ici des conditions défavorables : les roches sont résistantes ; la faible décompression rend l'infiltration des eaux difficile ; enfin, les eaux circulent rapidement le long des structures planaires des roches et s'évacuent sans participer à l'altération. Qui plus est, l'ablation des formations superficielles a été facilitée : la faible infiltration des eaux dans les roches constitue un facteur favorable au déclenchement des écoulements de surface et les altérites ne sont pas protégées de l'érosion par des bancs résistants comme c'est le cas lorsque la pente topographique est perpendiculaire à la direction des structures planaires des roches. Les formations superficielles sont donc peu épaisses.

2) Contrôle des données

Une partie des informations nécessaires à la compréhension du fonctionnement hydrologique du bassin versant des Maurets est obtenue en effectuant la différence entre les écoulements mesurés sur des bassins emboîtés. Ce type de démarche nécessite de disposer de données d'une extrême fiabilité pour que les erreurs sur les valeurs déterminées par différence n'entachent pas la crédibilité des recherches. De nombreux jaugeages ont donc été effectués, avec le plus grand soin, pour préciser les courbes de tarage : jaugeages au micro-moulinet aux stations des Maurets 1 et 2 ; jaugeages chimiques au chlorure de sodium aux stations des Maurets 2, 3 et 4 ; jaugeages par empotement sur toutes les stations en étiage). Par ailleurs, à partir du début 1998, les tournées sur les sites ont été multipliées, et les mesures aux échelles limnimétriques ont été effectuées au millimètre.

La station des Maurets 1 a connu, après 1990, une accumulation de sédiments en rive droite, derrière le mur du déversoir à section rectangulaire, ce qui a provoqué un détarage de la station pour les hautes eaux. Mais des problèmes ont également été rencontrés pour les basses eaux. Les jaugeages réalisés dans le cadre de la présente étude ont permis de reprendre totalement la courbe de tarage.

La station des Maurets 2 subit un ensablement important qui a nécessité de nombreuses interventions pour maintenir la qualité des mesures. Cet ensablement est devenu très gênant au cours de l'année 2000. À l'automne de cette même année, il a été si important que les suivis ont été arrêtés.

Après une étude minutieuse des chroniques, nous avons constaté des problèmes sur certaines données instantanées. Les corrections nécessaires

ont été effectuées avec beaucoup de prudence, en s'appuyant sur les relevés aux échelles ou en utilisant les corrélations établies avec une autre station pour des périodes voisines et/ou semblables sur le plan hydrologique.

Les stations qui ont nécessité les corrections les plus nombreuses sont celles des Maurets 1 et des Maurets 3. En effet, il semble que la station des Maurets 1 ait parfois présenté des problèmes de blocage du flotteur. La station des Maurets 3 a été sujette à des variations irrégulières des mesures des hauteurs d'eau, sans doute liées à la présence d'une bulle d'air dans le capillaire de la sonde de pression, problème identifié tardivement par le fournisseur.

IV - HYDROLOGIE COMPARÉE DES BASSINS DES MAURETS 1 ET 2

La présente étude a pour but de mettre en évidence, à la fois le fonctionnement des bassins versants en période de crues, mais également la part prise par chacun dans le total des écoulements (cela sur l'ensemble de la période considérée).

1) Précipitations sur les bassins versants

Les trois pluviographes du bassin versant des Maurets (Fig. 2) sont bien répartis :

- Le poste des Bourdins (à 207 m d'altitude) est situé près du limnigraphe des Maurets 1. Sur la période septembre 1992 - août 1999, il a reçu des précipitations annuelles moyennes de 1186 mm.
- Le poste de Guérin (à 348 m d'altitude) se trouve sur un replat au-dessus de la station des Maurets 2. Les précipitations annuelles moyennes sur la période 1992-99 s'établissent à 1074 mm.
- Enfin, le poste des Fourches (à 543 m d'altitude) est placé en tête de bassin. Les précipitations annuelles moyennes sur la période 1992-99 y atteignent 1098 mm.

L'extrémité aval du bassin, située à proximité immédiate de la vallée du Réal Collobrier qui se prolonge en amont par le col de Taillude (411 m d'altitude), échappe en partie à l'abri que procurent au bassin des Maurets le plateau du Treps (à 600-650 m d'altitude) et le sommet de la Sauvette par rapport aux vents d'est, qui amènent la pluie. Aussi reçoit-elle des précipitations un peu plus fortes que celles qui

tombent sur les parties moyennes et supérieures du bassin.

Les doubles cumuls établis à partir des données journalières des différents postes attestent de la stationnarité des chroniques sur la période d'observation.

Les différences entre les précipitations mensuelles sont parfois assez importantes. Sur la période 1992-99, elles oscillent entre :

-63,2 mm (janvier 1996) et +38,4 mm (janvier 1994) pour la soustraction Guérin - Fourches ;

-119,2 mm (janvier 1996) et +61,2 mm (décembre 1995) pour la soustraction Guérin - Bourdins ;

-71,6 mm (janvier 1994) et +71,0 mm (décembre 1995) pour la soustraction Fourches - Bourdins.

Les précipitations aux postes de Guérin, des Fourches et des Bourdins ont atteint respectivement 167, 128 et 200 mm en janvier 1994 ; 431, 494 et 550 mm en janvier 1995 ; et 192, 201 et 130 mm en janvier 1996.

Pour le calcul des pluies sur ses bassins, le Cemagref traite les données de l'ensemble de son réseau à l'aide de la fonction SPLINE 2D (J. LAVABRE, 1988). Les postes situés sur le bassin considéré pèsent évidemment d'un poids très important. Pour les bassins des Maurets 3 et des Maurets 4, nous avons directement utilisé les données du pluviographe des Fourches.

2) Événements hydrologiques en crue

L'étude doit reposer sur des événements où les données sont les plus sûres possible. Certains épisodes n'ont donc pas été pris en compte, car ils présentent des incertitudes au niveau des débits spécifiques des Maurets 1-2, ces derniers n'augmentant pas lors des crues et ayant même tendance à diminuer. La crue des 6 et 7 novembre 1997 a également été éliminée, les mesures à la station des Maurets 2 étant affectées par un problème métrologique (embâcle, glissement du câble sur la poulie, ... ?) qui s'est traduit encore plusieurs jours après la crue.

Nous avons retenu comme seuil de début et de fin de "crue" un débit de 50 l/s à la station des Maurets 1. Les figures 5 à 9 présentent les débits journaliers observés lors des événements retenus. Les hyétogrammes portés sur les figures montrent que les précipitations ont toujours été légèrement supérieures sur le secteur aval du bassin (Maurets 1-2) par rapport au secteur amont (Maurets 2).

3) Débits journaliers spécifiques (Qj) en crue

Les débits journaliers spécifiques des bassins des Maurets 1-2 et des Maurets 2 sont portés sur les figures 10 à 14. Leur analyse permet d'avancer quelques idées sur le fonctionnement hydrologique du bassin versant des Maurets.

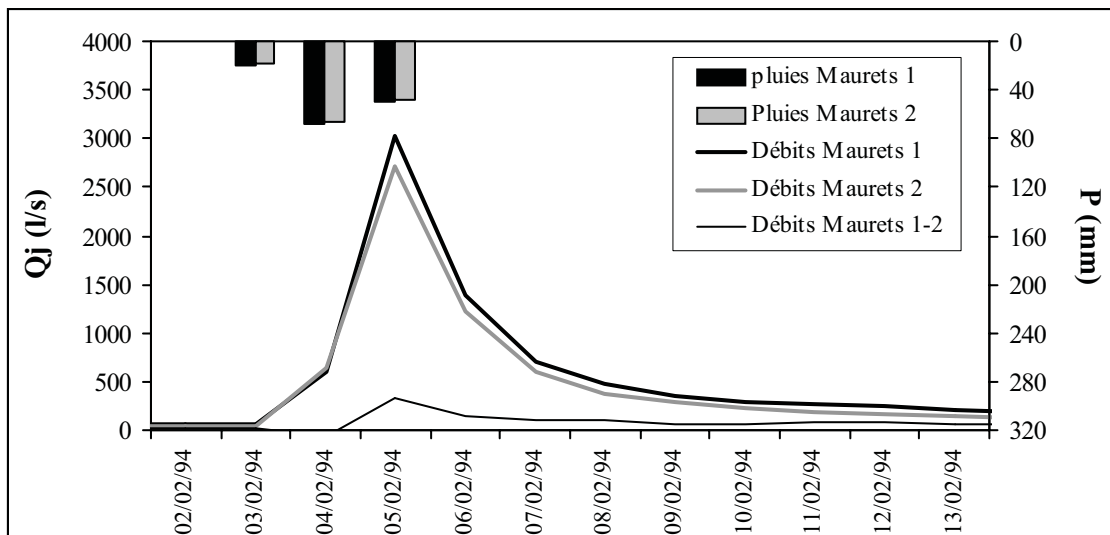


Figure 5 - Débits journaliers lors de la crue du 5 février 1994.

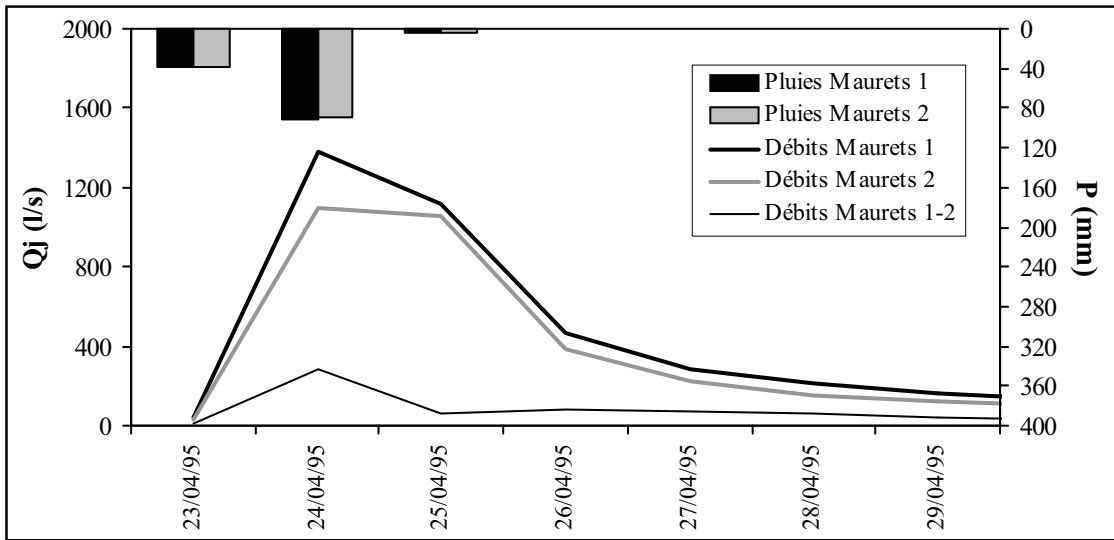


Figure 6 - Débits journaliers lors de la crue du 24 avril 1995.

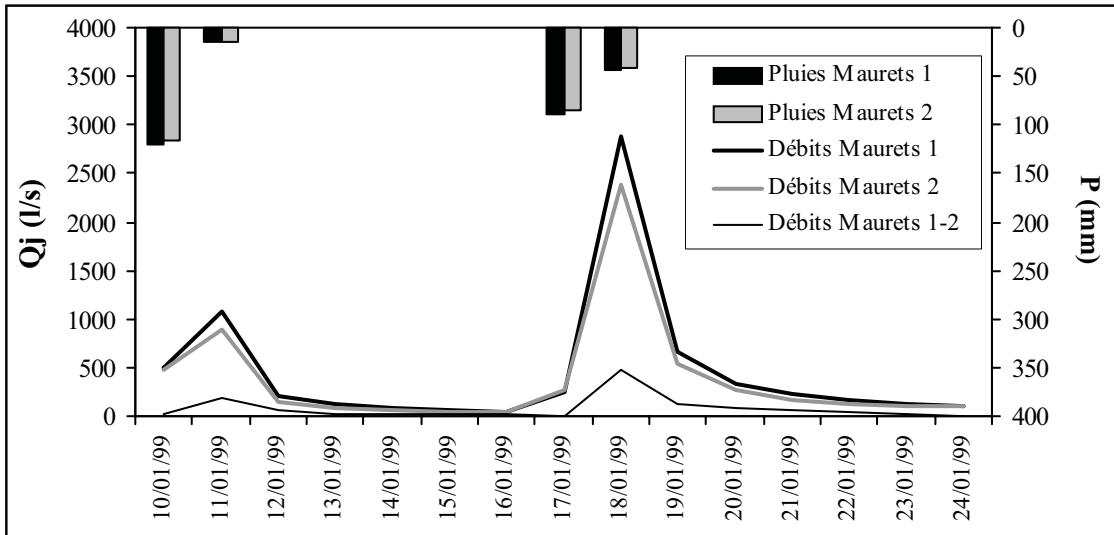


Figure 7 - Débits journaliers lors des crues des 11 et 18 janvier 1999.

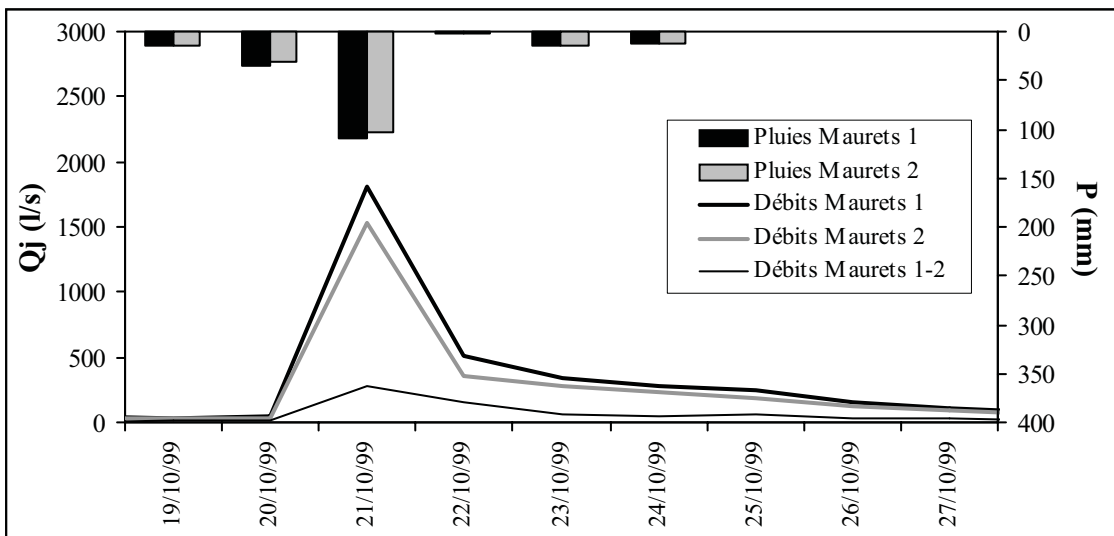


Figure 8 - Débits journaliers lors de la crue du 21 octobre 1999.

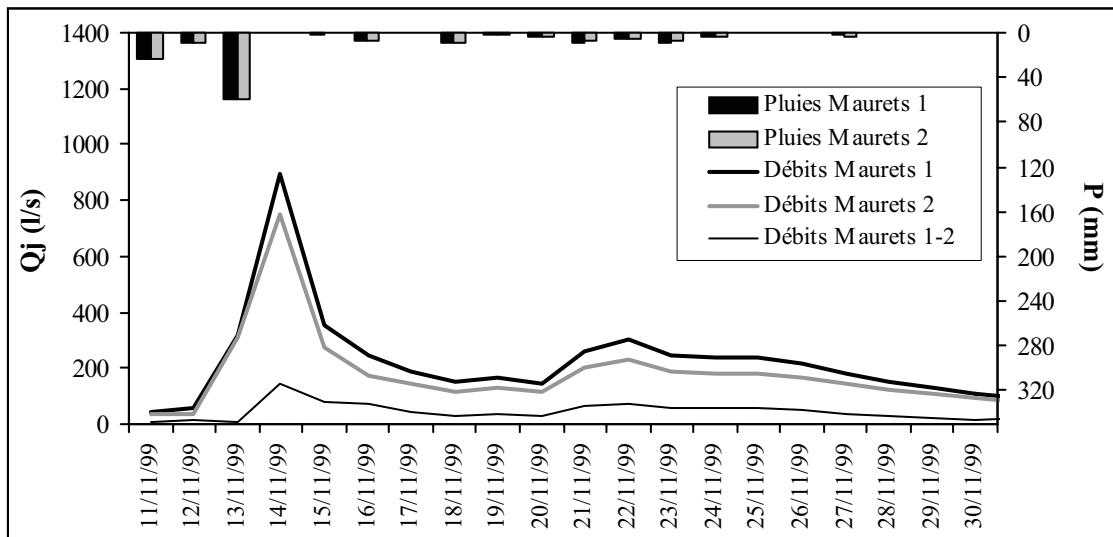


Figure 9 - Débits journaliers lors de la crue du 14 novembre 1999.

Il apparaît que le bassin des Maurets 2 réagit plus fortement aux précipitations que le bassin des Maurets 1-2 (Fig. 10 – débits spécifiques des Maurets 2 = 470 l/s/km^2 , contre 125 l/s/km^2 pour le bassin des Maurets 1-2). Il fournit alors la majeure partie du débit à la station des Maurets 1. En récession, en décrue bien sûr mais aussi en phase de tarissement, il semble que la partie amont du bassin versant des Maurets restitue au moins aussi facilement de l'eau que la partie aval. Le stockage d'eau dans les altérites épaisses de la partie aval – au sein des pores responsables de la

capacité de rétention – pourrait expliquer ce fonctionnement. Les données de certains jaugeages confirment le pouvoir du bassin amont à mieux soutenir les étiages :

- 07/04/1997 : Maurets 2 : $2,63 \text{ l/s/km}^2$;
Maurets 1-2 : $1,53 \text{ l/s/km}^2$.
- 23/06/1999 : Maurets 2 : $0,50 \text{ l/s/km}^2$;
Maurets 1-2 : $0,12 \text{ l/s/km}^2$.
- 03/07/1999 : Maurets 2 : $0,15 \text{ l/s/km}^2$;
Maurets 1-2 : $< 0,00 \text{ l/s/km}^2$.

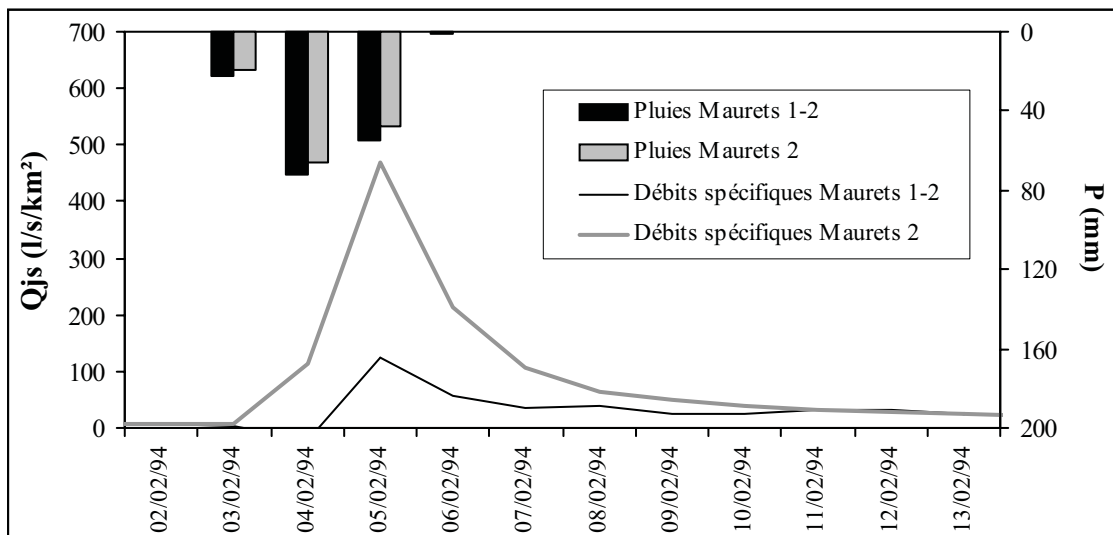


Figure 10 - Débits journaliers spécifiques lors de la crue du 5 février 1994.

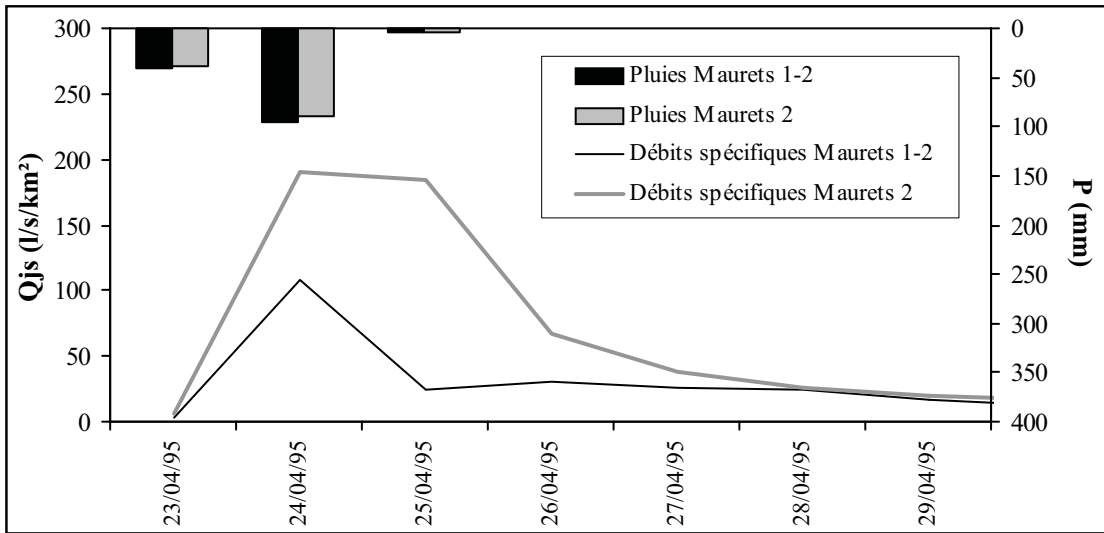


Figure 11 - Débits journaliers spécifiques lors de la crue du 24 avril 1995.

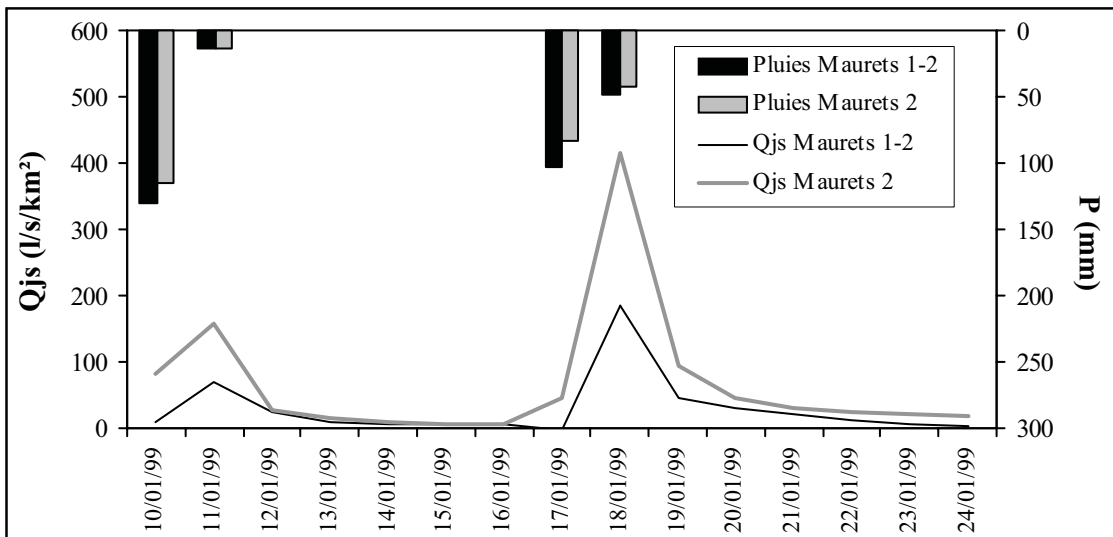


Figure 12 - Débits journaliers spécifiques lors des crues de janvier 1999.

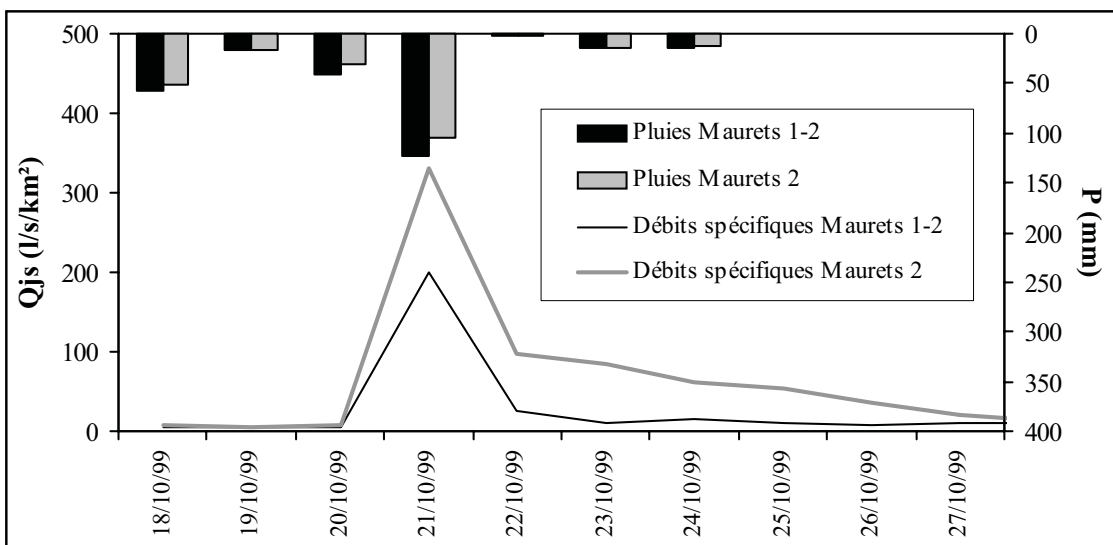


Figure 13 - Débits journaliers spécifiques lors de la crue du 21 octobre 1999.

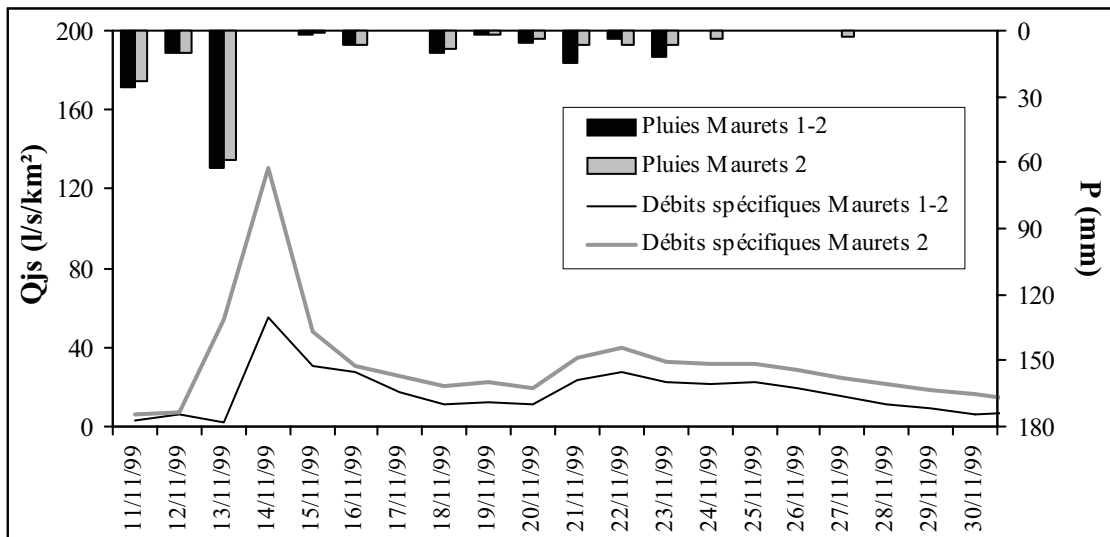


Figure 14 - Débits journaliers spécifiques lors de la crue du 14 novembre 1999.

4) Débits instantanés d'une crue aux stations des Maurets 1 et 2

La figure 15 présente les débits instantanés lors de la crue du 14 novembre 1999 et les pluies correspondantes au pas de temps de 5 minutes. Ce graphique permet d'estimer, d'une part, le temps de montée des bassins versants et, d'autre part, leur temps de réponse par rapport aux précipitations.

Le temps de montée à la station des Maurets 1 peut être estimé à environ 150 minutes et celle de la station amont à 100 minutes. Le temps de réponse semble être supérieur pour l'ensemble du bassin, avec environ 270 minutes, contre 210 minutes pour l'amont.

L'allure générale des hydrogrammes laisse à penser que les débits à la station des Maurets 1 résultent essentiellement du transfert des débits observés à la station des Maurets 2. Aucune zone contributive majeure (Ch. OBLED, 1990 ; J.M. GRÉSILLON, 1994 ; C. COSANDEY, 1990) ne doit donc être recherchée à l'aval de la station des Maurets 2.

5) Lames d'eau cumulées

La méthode des doubles cumuls permet de comparer les fonctionnements de deux bassins versants (C. COSANDEY, 2000). Elle révèle également les problèmes susceptibles d'affecter la stationnarité des chroniques, qu'ils proviennent d'une modification de la station, ou d'un mauvais fonctionnement des appareils. Sur le bassin versant des Maurets, cette méthode permet

d'observer la part prise par chaque sous-bassin dans les écoulements totaux sur une période considérée.

a . Écoulements globaux

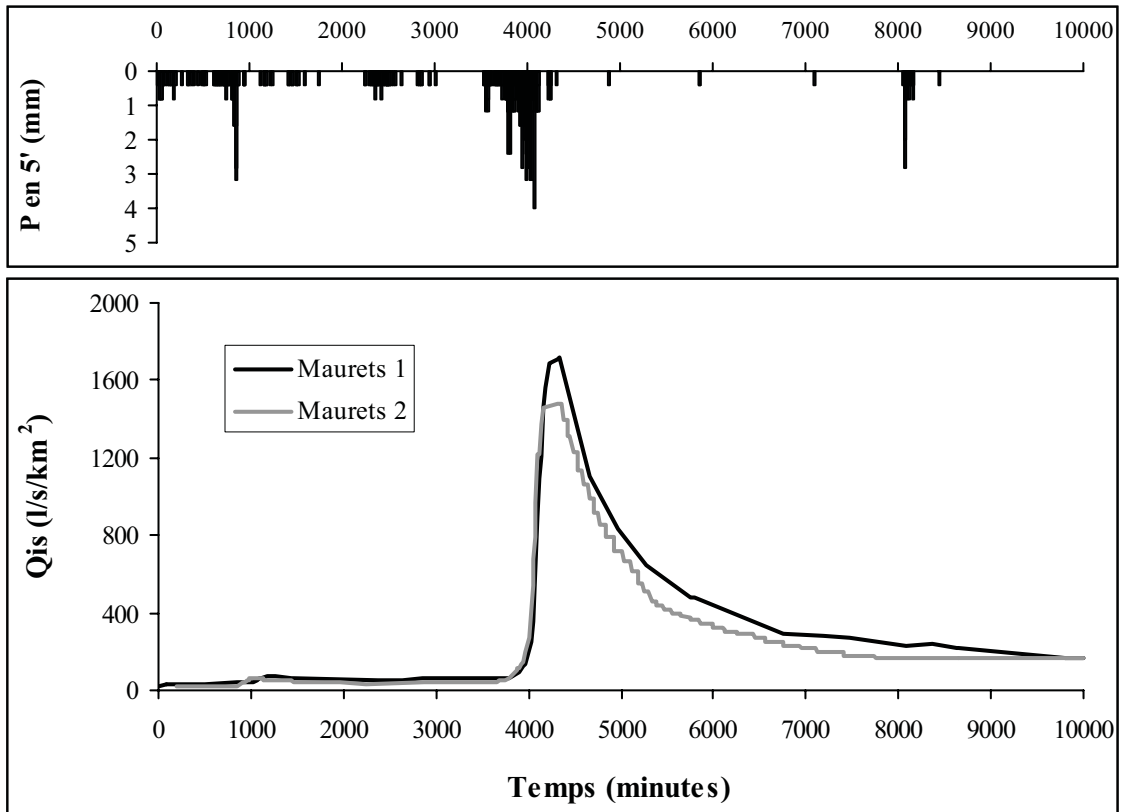
L'étude est menée à partir des données journalières. La figure 16 permet de comparer le bassin des Maurets 1-2 avec celui des Maurets 2. Les observations portent sur l'ensemble des débits de septembre 1992 à décembre 1999.

Il apparaît que les lames d'eau écoulées par le bassin des Maurets 2 sont nettement supérieures (plus de deux fois plus fortes) à celles écoulées par le bassin des Maurets 1-2. Sur la période considérée, le bassin amont a donc fourni des écoulements spécifiques plus abondants que la zone aval.

Sur la période 1992-99, les lames d'eau écoulées annuelles moyennes s'élèvent à 252 mm pour le bassin des Maurets 1 (Précipitations : 1087 mm ; P - L : 835 mm), 310 mm pour le bassin des Maurets 2 (Précipitations : 1061 mm ; P - L : 751 mm) et 125 mm seulement pour le bassin des Maurets 1-2 (Précipitations : 1143 mm ; P - L : 1019 mm).

b . Débits supérieurs à 500 l/s à la station des Maurets 1

Nous considérons les débits supérieurs à 500 l/s à la station des Maurets 1 comme significatifs de hautes eaux. La figure 17 révèle l'importance du bassin amont dans les apports d'eau en crue par rapport au bassin aval. Le tableau II appuie cette observation.

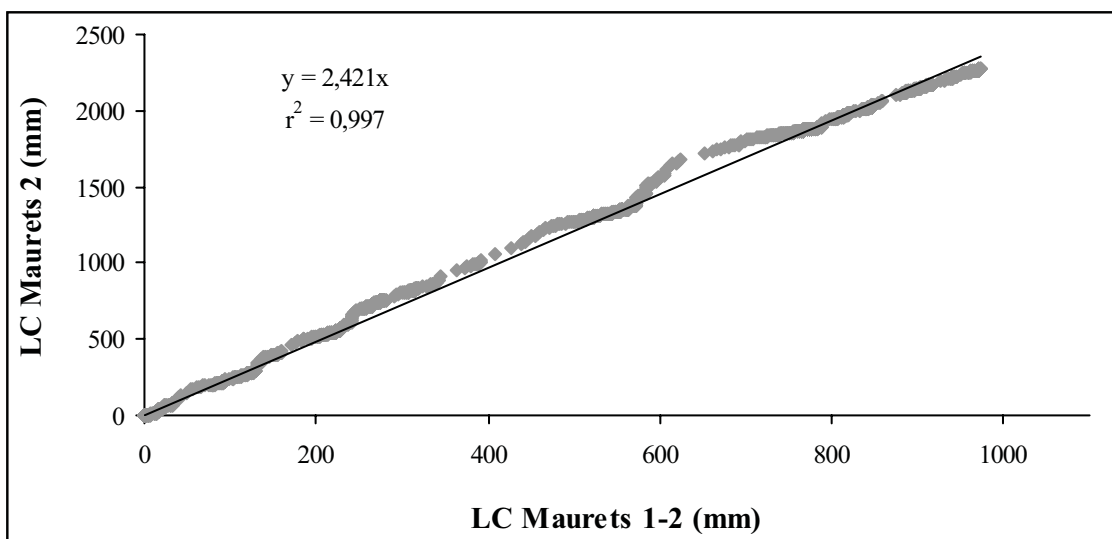


P en 5' : pluies en 5 minutes au poste des Bourdins.

Figure 15 - Crue du 14 novembre 1999 aux stations des Maurets 1 et des Maurets 2.

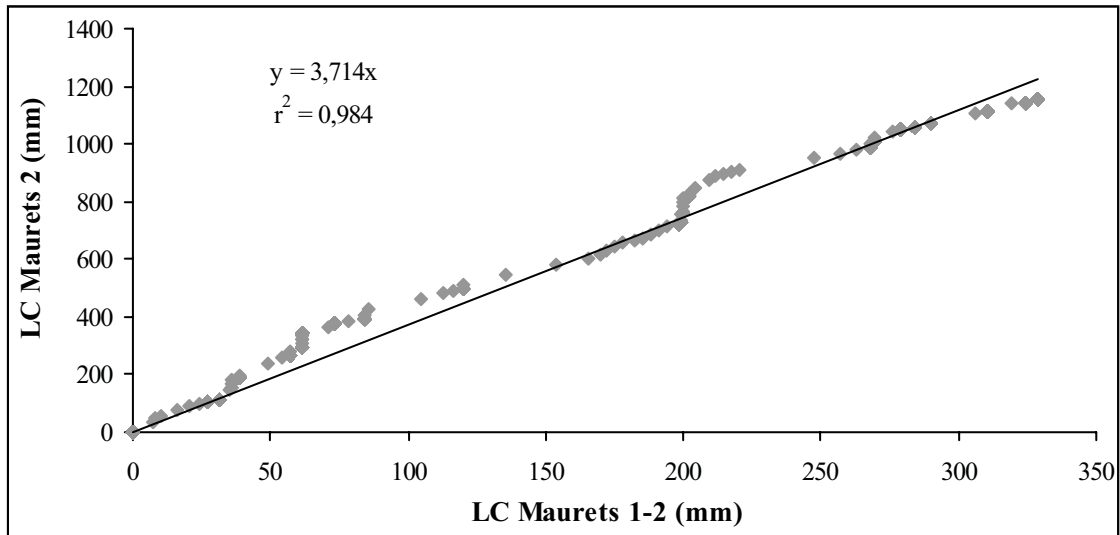
Les données en hautes eaux confirment la prédominance de l'eau fournie par le bassin amont dans les débits observés à la station des Maurets 1 (2,5 fois plus sur toute la période et 3,5

fois en crue). Il faut noter cependant que 51 % de l'eau écoulee par le bassin amont transite en hautes eaux, contre seulement 34 % à l'aval.



LC : lames d'eau cumulées.

Figure 16 - Double cumul des lames d'eau écoulees journalières des bassins des Maurets 1-2 et des Maurets 2 de septembre 1992 à décembre 1999.



LC : lames d'eau cumulées.

Figure 17 - Double cumul des lames d'eau écoulées journalières des bassins des Maurets 1-2 et des Maurets 2 pour des débits supérieurs à 500 l/s à la station des Maurets 1.

Tableau II - Cumuls des lames d'eau écoulées aux stations des Maurets 1 et Maurets 2 en hautes eaux (débits journaliers > 500 l/s à la station des Maurets 1) sur la période septembre 1992 - décembre 1999.

	Bassin aval (Maurets 1-2)	Bassin amont (Maurets 2)	Rapport Maurets 2 / Maurets 1-2
Cumul pour QJ > 500 l/s à la station des Maurets 1 (A)	329 mm	1 155 mm	3,5
Cumul pour tous les débits (B)	972 mm	2271 mm	2,4
Part de A dans B	33,8 %	50,9 %	-

c. Débits inférieurs à 100 l/s à la station des Maurets 1

Lors des périodes de faibles débits, le bassin amont écoule également des lames d'eau nettement supérieures à celles fournies par le

secteur aval (Tab. III). On notera cependant que les lames d'eau au moment des faibles débits représentent 30 % du total des lames d'eau pour le secteur aval, contre 22,5 % seulement pour le bassin des Maurets 2.

Tableau III - Cumuls (en mm) des lames d'eau écoulées aux stations des Maurets 1 et Maurets 2 pour des basses eaux (débits journaliers < 100 l/s à la station des Maurets 1).

	Bassin aval (Maurets 1-2)	Bassin amont (Maurets 2)	Rapport Maurets 2 / Maurets 1-2
Cumul pour QJ < 100 l/s à la station des Maurets 1 (A)	290 mm	511 mm	1,8
Cumul pour tous les débits (B)	972 mm	2271 mm	2,4
Part de A dans B	29,8 %	22,5 %	-

La figure 18 montre une bonne corrélation entre les deux sous-bassins. Les lames d'eau écoulées pour les faibles débits sont 1,8 fois plus

fortes sur le bassin amont par rapport au secteur aval.

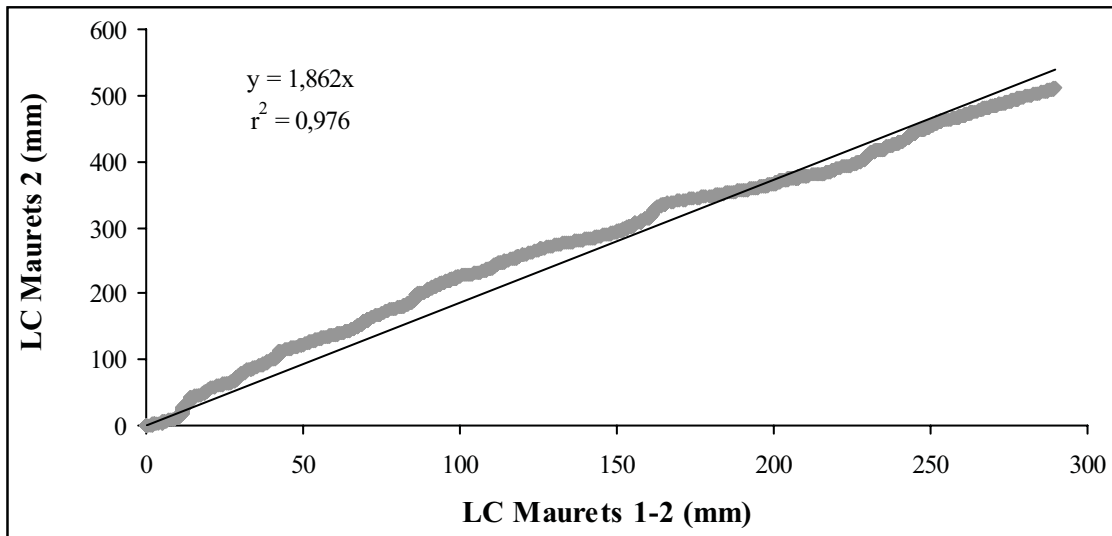


Figure 18 - Double cumulé des lames d'eau écoulées journalières des bassins des Maurets 1-2 et des Maurets 2 pour des débits inférieurs à 100 l/s à la station des Maurets 1.

6) Variations annuelles des stocks d'eau

Il est possible de suivre les variations du stock d'eau des bassins versants en fonction d'un petit nombre de paramètres (C. MARTIN, 1986). En effet, pour chaque mois, l'on peut poser :

$$St.f = St.i + Bh'$$

où :

St.f représente le stock d'eau final (en mm) ; St.i le stock d'eau initial mensuel ; et Bh' le bilan hydrologique mensuel. Bh' = précipitations - (lame d'eau écoulée + évapotranspiration). En toute rigueur, le bilan hydrologique (Bh) devrait être calculé à partir de la valeur de l'évapotranspiration réelle. Mais, faute de données suffisantes, l'on est contraint d'utiliser celle de l'évapotranspiration potentielle (ici selon la formule de TURC).

L'ETP TURC a été calculée à partir des données recueillies par Météo-France aux stations de Collobrières (températures) et du Luc (durées d'insolation), en tenant compte de la variation des températures avec l'altitude (gradient de variation utilisé : 0,5 °C pour 100 m).

Pour une série de mois consécutifs, la variation du stock d'eau d'un bassin versant est égale à la somme algébrique des variations mensuelles.

Le stock initial présent en début d'année

hydrologique (septembre ou octobre) étant très difficile à connaître, nous avons choisi de le négliger dans notre approche. En effet, notre but n'est pas d'évaluer la réalité des stocks d'eau, mais de comparer les fonctionnements des sous bassins versants. Ainsi nous n'essayons pas de déterminer les stocks d'eau, mais seulement d'en suivre les variations au cours de chaque année. La valeur maximale mensuelle du stock d'eau accumulé depuis le début de l'année fournit la valeur du stockage annuel.

Les stockages maximums annuels déterminés pour la zone aval sont 1,2 à 1,9 fois plus forts que ceux du secteur amont (Tab. IV). Lorsque les durées de stockage diffèrent, la durée la plus longue correspond au bassin des Maurets 1-2.

V - ÉTUDE HYDROLOGIQUE DU BASSIN AMONT DES MAURETS

L'équipement du bassin amont comporte trois stations hydrométriques. Deux d'entre elles délimitent une portion de bassin où la direction des structures planaires est parallèle à la pente des versants (bassin des Fourches, Maurets 3-4). L'implantation des stations des Maurets 3 et 4 fut décidée fin 1996 pour les besoins de la présente étude. Le jeu de données ne couvre donc pas un grand nombre d'années, mais les événements hydrologiques répertoriés sont néanmoins

Tableau IV - Stockages d'eau annuels (St.a) des bassins des Maurets 1-2 et des Maurets 2

Année	Maurets 1-2			Maurets 2		
	P (mm)	L (mm)	St.a (mm)	P (mm)	L (mm)	St.a (mm)
1992-93	1028	93	531 (avril)	1012	225	412 (avril)
1993-94	1037	134	462 (février)	993	340	247 (février)
1994-95	1006	88	423 (avril)	976	265	248 (avril)
1995-96	1342	293	616 (mars)	1320	593	364 (janvier)
1996-97	1327	219	624 (janvier)	1304	533	348 (décembre)
1997-98	927	76	354 (avril)	897	156	285 (décembre)
1998-99	941	74	345 (janvier)	924	156	291 (janvier)

P : précipitations annuelles. L : lame d'eau écoulee annuelle. Entre parenthèses : mois au cours duquel se produit le stockage maximal. Le stock d'eau est ramené à 0 au début de chaque année hydrologique.

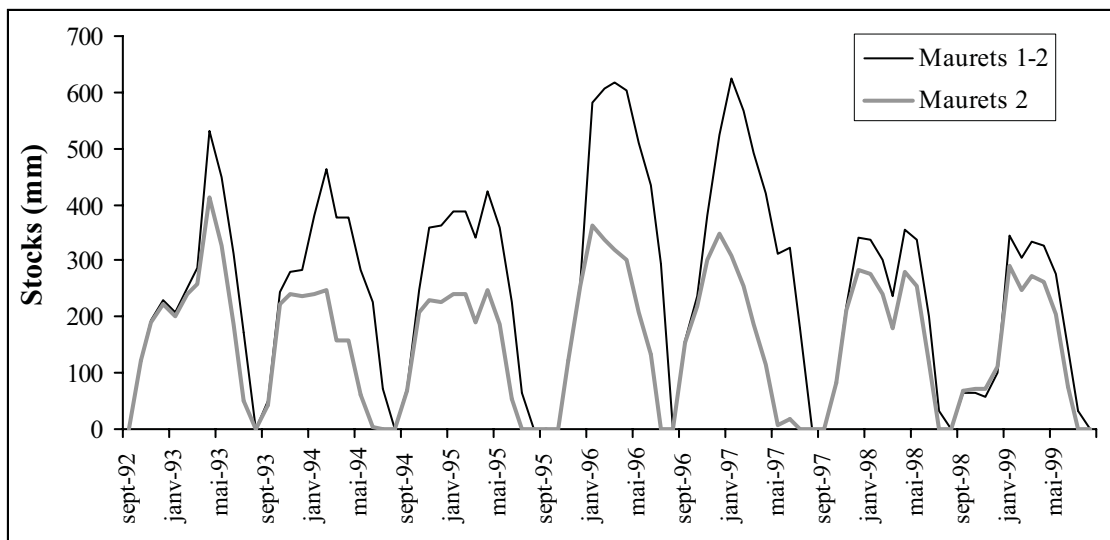


Figure 19 - Évolution du stock d'eau sur les bassins des Maurets 1-2 (aval) et des Maurets 2 (amont) au cours de chaque année hydrologique de 1992-93 à 1998-99.

suffisants pour tirer des informations sur le fonctionnement de ce secteur. La diversité spatiale des pluies ne semble pas devoir affecter énormément les débits.

1) Présentation des événements hydrologiques

Plusieurs crues importantes se sont produites pendant la période étudiée. Il a été possible d'en retenir 5 (Fig. 20 à 24). L'année 1999 a vu trois fortes crues (débits de pointe de crue à la station des Maurets 2 : 2390 l/s en janvier, 1536 l/s en octobre, et 751 l/s en novembre).

Ces cinq événements permettent de tirer des enseignements précis sur le fonctionnement de l'ensemble des sous-bassins amont et particulièrement du bassin des Maurets 3-4 où la disposition des structures planaires est parallèle à

la direction de la pente topographique.

2) Débits instantanés d'une crue (Maurets 2, 3 et 4)

La figure 25 présente les débits spécifiques enregistrés lors de la crue du 14 novembre 1999 sur les bassins des Maurets 3 et 4, ainsi que les pluies au pas de temps de 5 minutes. Ce graphique est à mettre en relation avec la figure 13. Les précipitations au col des Fourches sont à peu près égales à celles mesurées près de la station des Maurets 2 (Fig. 24).

Les temps de montée atteignent environ 250 minutes à la station des Maurets 3 et 300 minutes à celle des Maurets 2. Le temps de réponse à la station des Maurets 3 (240 minutes) est lui aussi légèrement supérieur à celui aux Maurets 2 (330 minutes). En revanche, la montée s'amorce aux

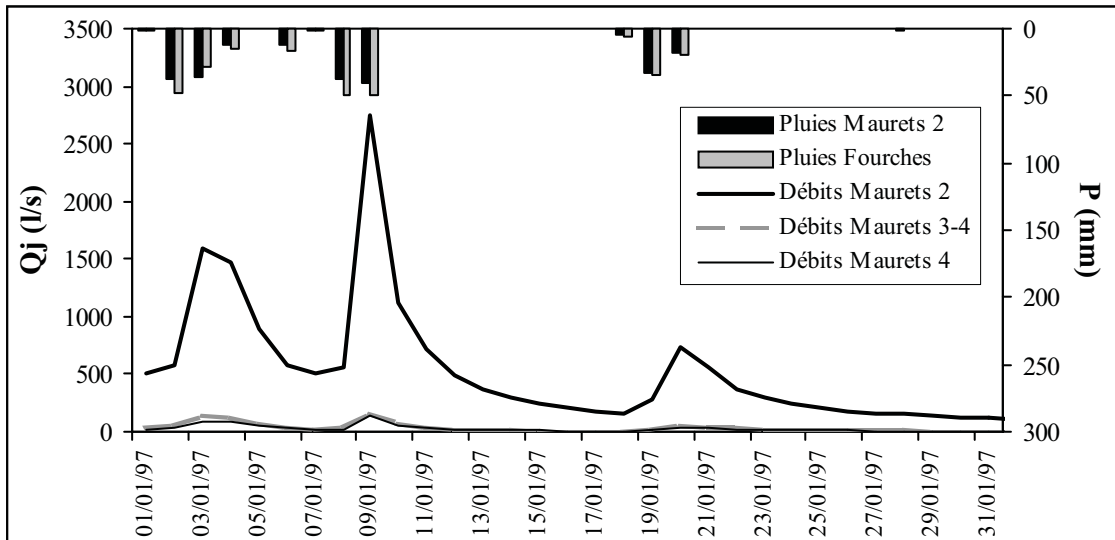


Figure 20 - Débits journaliers lors des crues de janvier 1997 sur le bassin amont des Maurets.

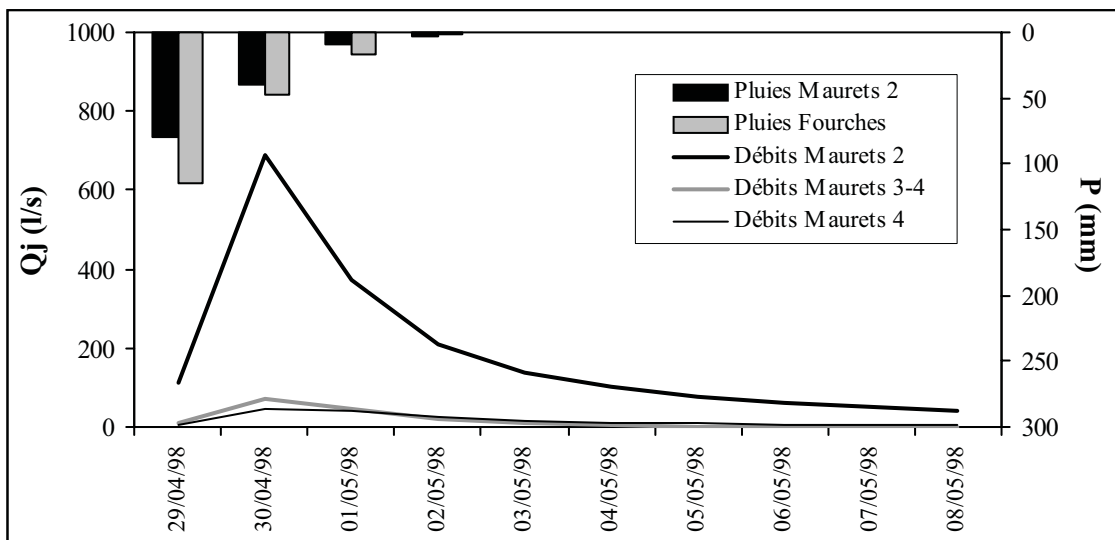


Figure 21 - Débits journaliers lors de la crue du 30 avril 1998 sur le bassin amont des Maurets.

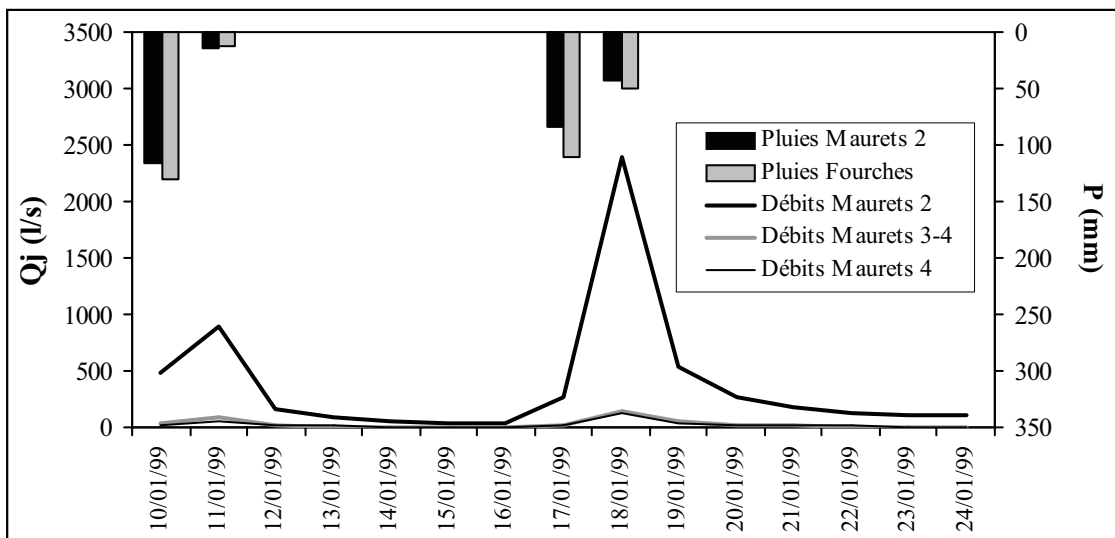


Figure 22 - Débits journaliers lors des crues des 11 et 18 janvier 1999 sur le bassin amont des Maurets.

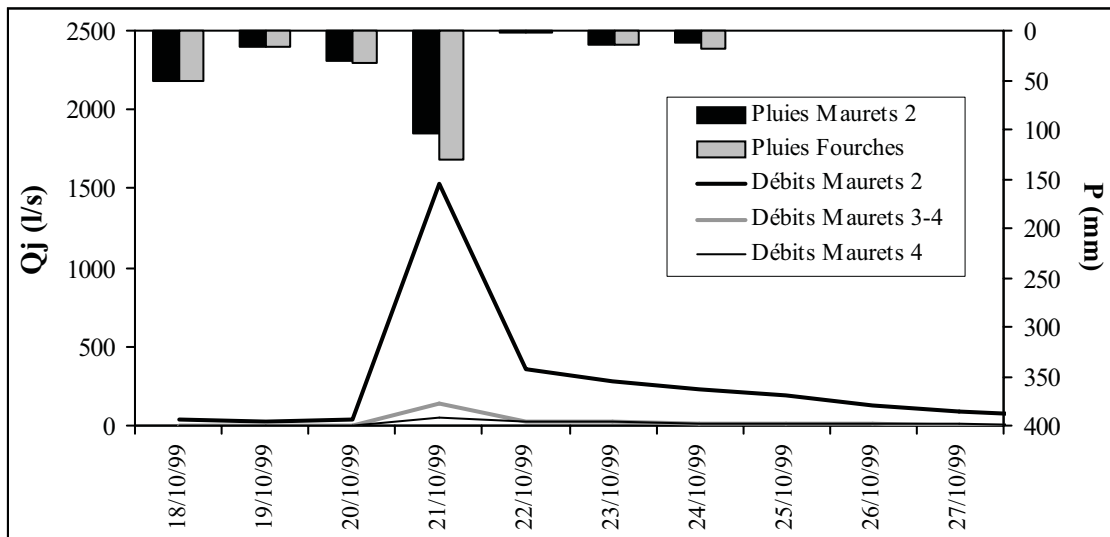


Figure 23 - Débits journaliers lors de la crue du 21 octobre 1999 sur le bassin amont des Maurets.

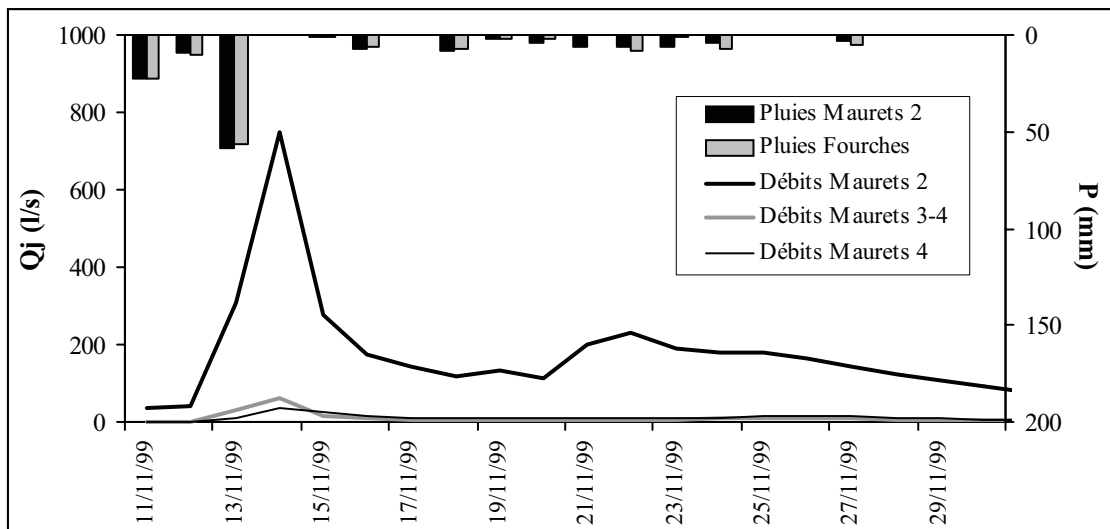


Figure 24 - Débits journaliers lors de la crue du 14 novembre 1999 sur le bassin amont des Maurets.

Maurets 3 plus de 100 minutes avant celle aux Maurets 2 et le décalage entre les pointes de crue approche une heure. Ces observations traduisent à la fois l'influence de la taille des bassins versants et la réactivité du bassin des Fourches (Maurets 3) aux précipitations.

3) Débits journaliers spécifiques de crue (Maurets 2, 3 et 4)

Les événements présentés (Fig. 26 à 30) révèlent le rôle prédominant joué par les bassins du type de celui des Maurets 3-4 dans les écoulements de crue. La crue d'octobre 1999 (Fig. 29) est à cet égard représentative. Le 21

octobre 1999, le débit spécifique est de 446 l/s/km^2 pour le bassin des Maurets 3-4, contre 267 l/s/km^2 pour celui des Maurets 2. Il apparaît donc que cette portion de bassin est bien plus réactive que l'ensemble du bassin des Maurets 2. Cependant, lorsqu'une crue intervient après une période pluvieuse ayant déjà engendré une crue, les ruisseaux réagissent quasiment de la même façon aux deux stations (Fig. 26 et 28). Ce fonctionnement peut s'expliquer par la saturation du bassin des Maurets 2 (B. AMBROISE, 1999). En effet, après des pluies importantes, un stockage d'eau supplémentaire dans les formations superficielles devient impossible et l'eau s'évacue rapidement vers les thalwegs.

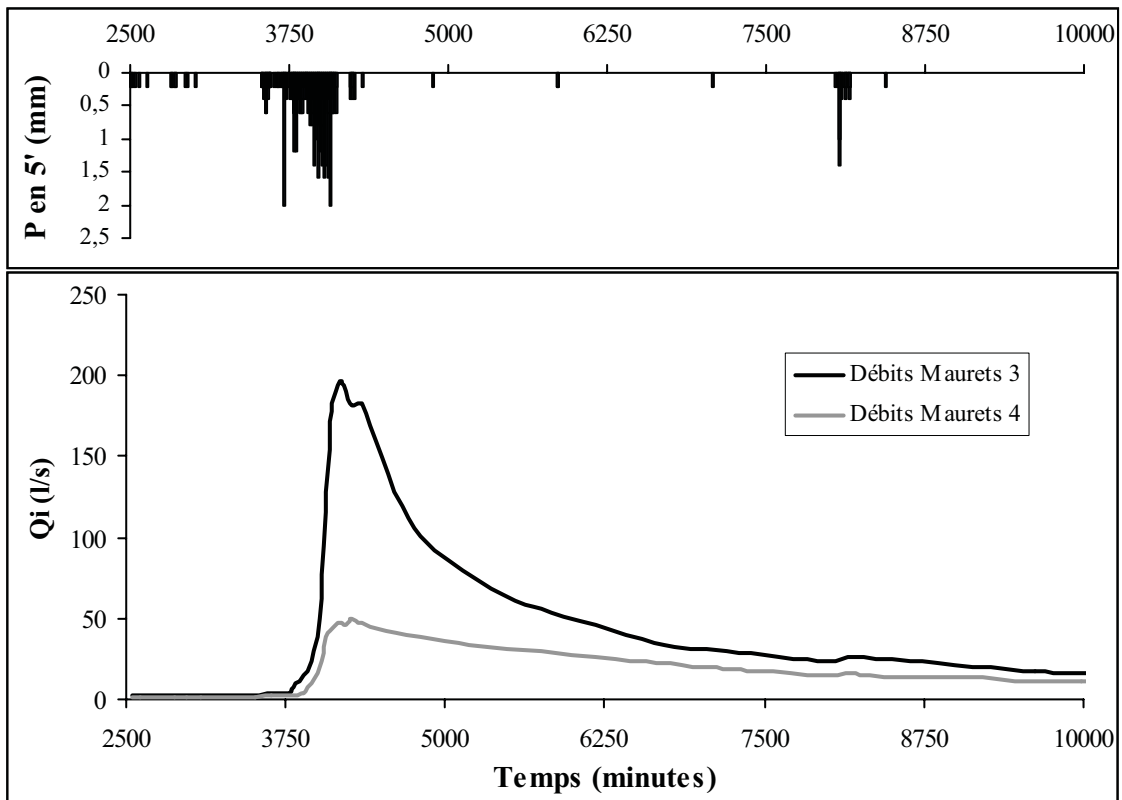


Figure 25 - Débits instantanés aux stations des Maurets 3 et 4 lors de la crue du 14 novembre 1999.

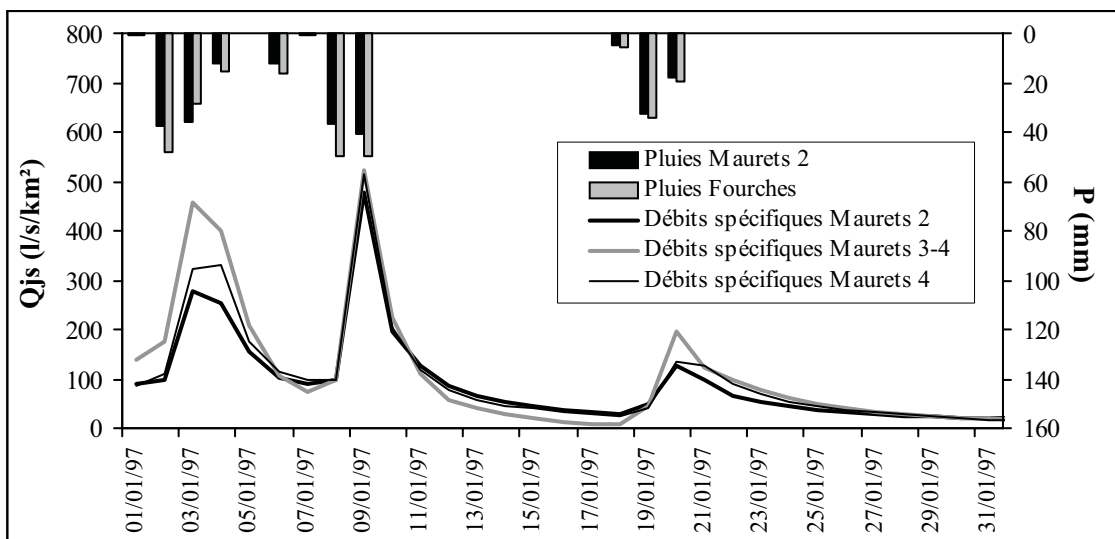


Figure 26 - Débits journaliers spécifiques (Qjs) lors des crues de janvier 1997 sur le bassin amont des Maurets.

Le bassin des Maurets 4 présente des débits spécifiques intermédiaires.

Ces observations appuient l'hypothèse selon laquelle les écoulements sont facilités lorsque les structures planaires des roches sont parallèles à la

pente topographique des versants. Le fonctionnement du bassin des Maurets 4 est, quant à lui, conditionné par l'hétérogénéité de la disposition des structures planaires par rapport à la topographie.

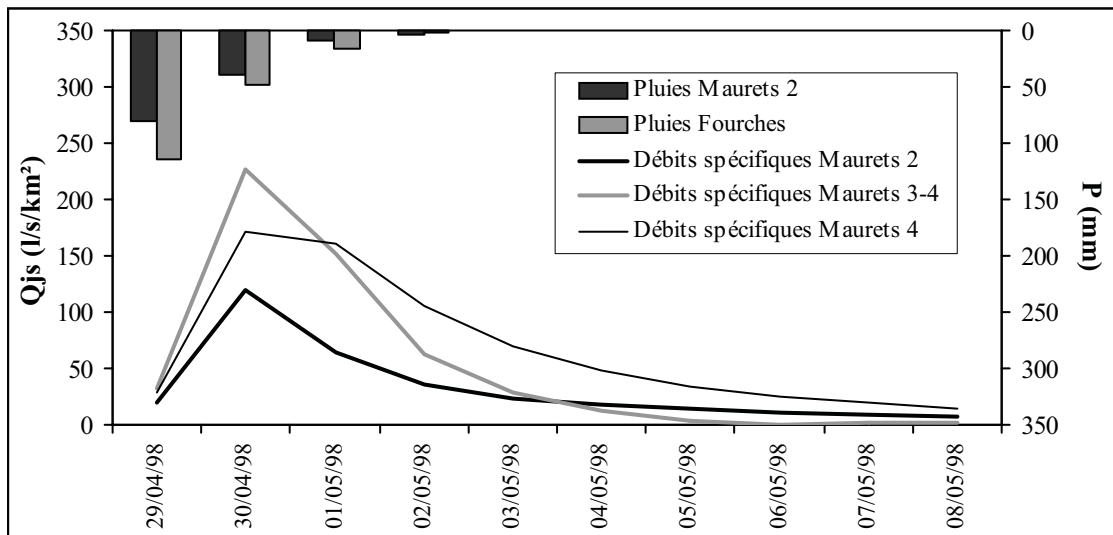


Figure 27 - Débits journaliers spécifiques (Qjs) lors de la crue du 30 avril 1998 sur le bassin amont des Maurets.

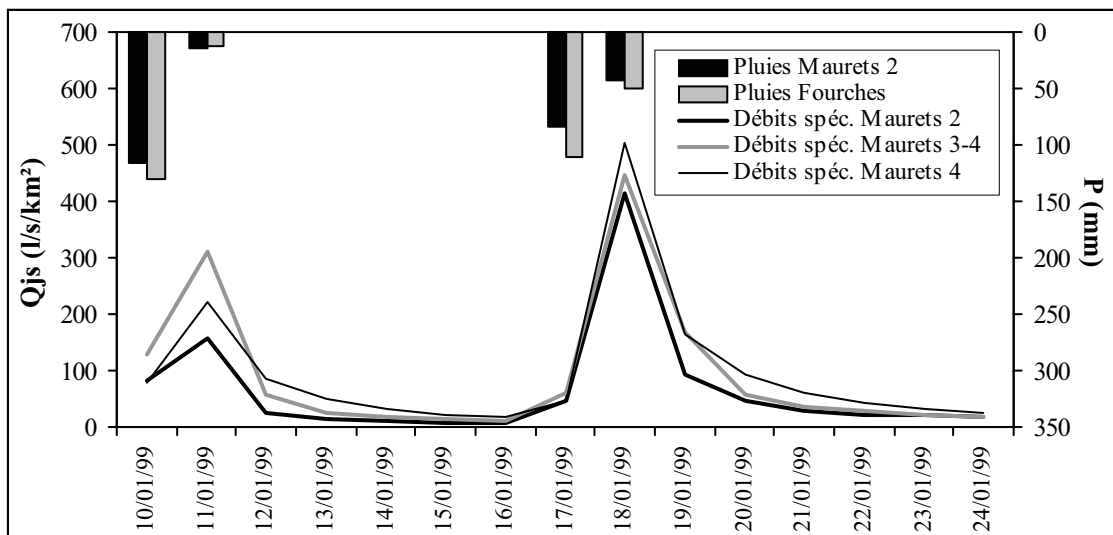


Figure 28 - Qjs lors des crues des 11 et 18 janvier 1999 sur le bassin amont des Maurets.

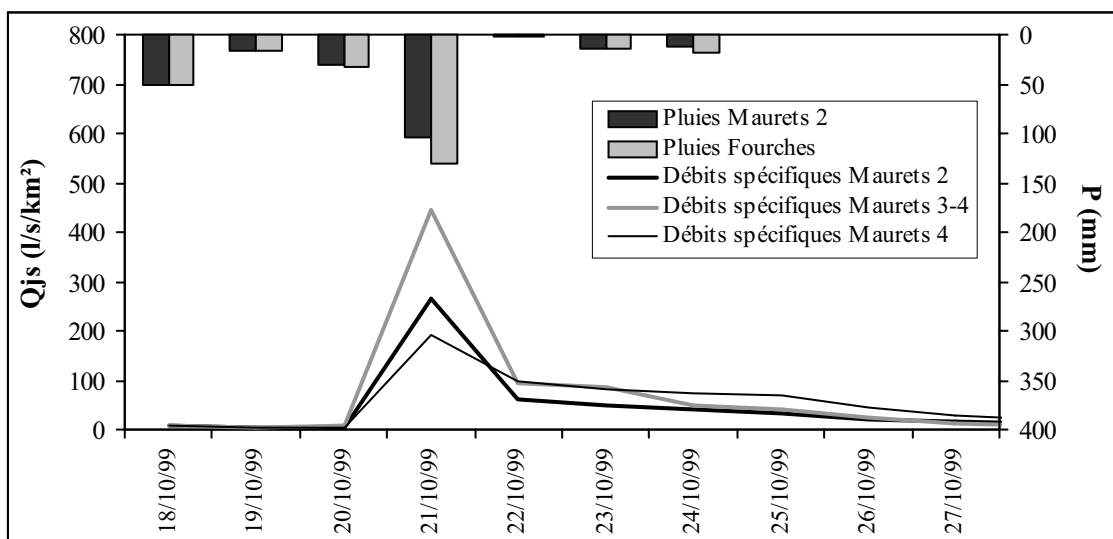


Figure 29 - Qjs lors de la crue du 21 octobre 1999 sur le bassin amont des Maurets.

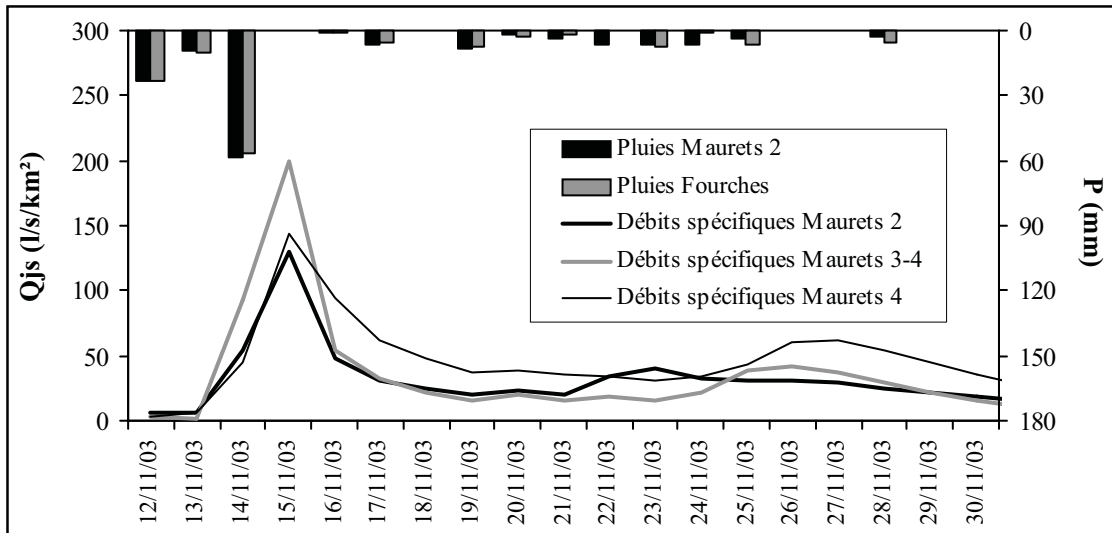


Figure 30 - Débits journaliers spécifiques (Qjs) lors de la crue du 14 novembre 1999 sur le secteur amont du bassin des Maurets.

4) Lames d'eau cumulées

Pour aider à l'interprétation des résultats, il faut rappeler que les précipitations diffèrent très peu entre le poste de Guérin et celui des Fourches.

a. Pour l'ensemble de la période (décembre 1996 - décembre 1999)

Les figures 31, 32 et 33 indiquent que les lames d'eau écoulées par les trois sous-bassins amont sont assez proches. En effet, les rapports entre les bassins sont compris entre 1,04 à 1,15. Le bassin des Maurets 2 fournit les lames d'eau les plus faibles ; celui des Maurets 4, les lames d'eau les plus fortes.

Pour l'ensemble de la partie occidentale du bassin des Maurets 2 (2,95 km²), le rapport entre la somme des superficies des amphithéâtres amont et la somme des superficies des portions aval est pratiquement identique à ce qu'elle est sur le bassin des Maurets 3. Celui-ci peut donc être considéré comme représentatif de la partie amont occidentale du bassin des Maurets. Aussi, en appliquant à l'ensemble du bassin amont occidental les débits spécifiques observés à la station des Maurets 3, est-il possible d'apprécier les lames d'eau fournies par les secteurs majoritairement favorables à la circulation rapide des eaux vers les thalwegs et d'obtenir, par différence avec les observations à la station des Maurets 2, les lames d'eau correspondant au reste du bassin amont (Fig. 34).

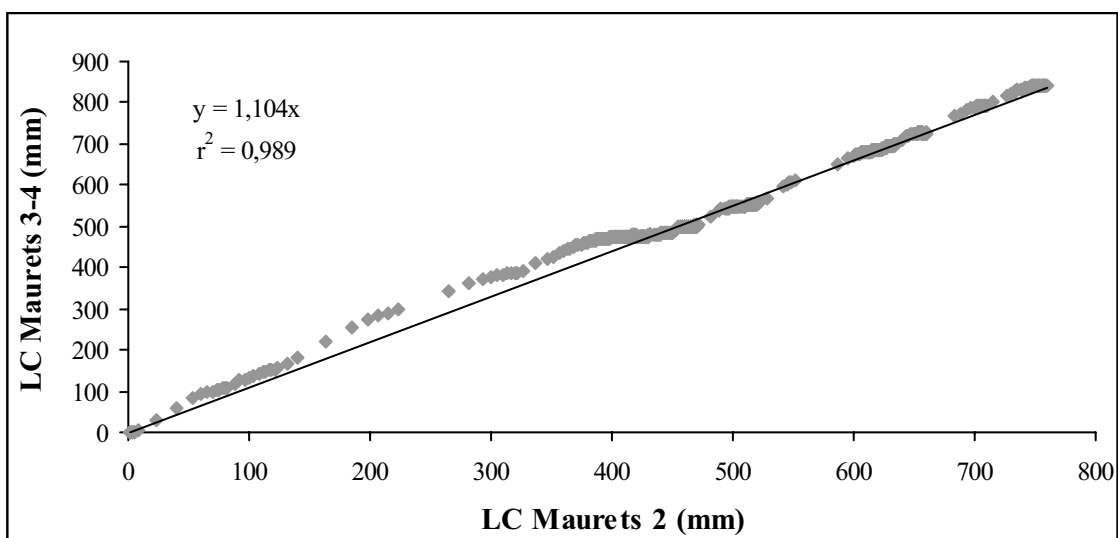


Figure 31 - Double cumul des lames d'eau écoulées journalières des bassins des Maurets 2 et des Maurets 3-4 de décembre 1996 à décembre 1999.

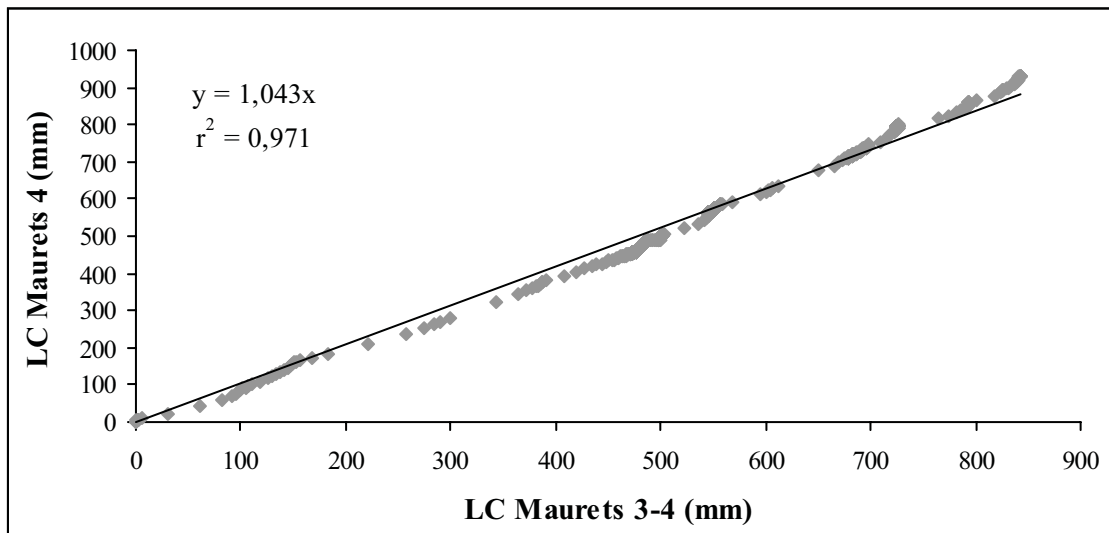


Figure 32 - Double cumul des lames d'eau écoulées journalières des bassins des Maurets 3-4 et des Maurets 4 de décembre 1996 à décembre 1999.

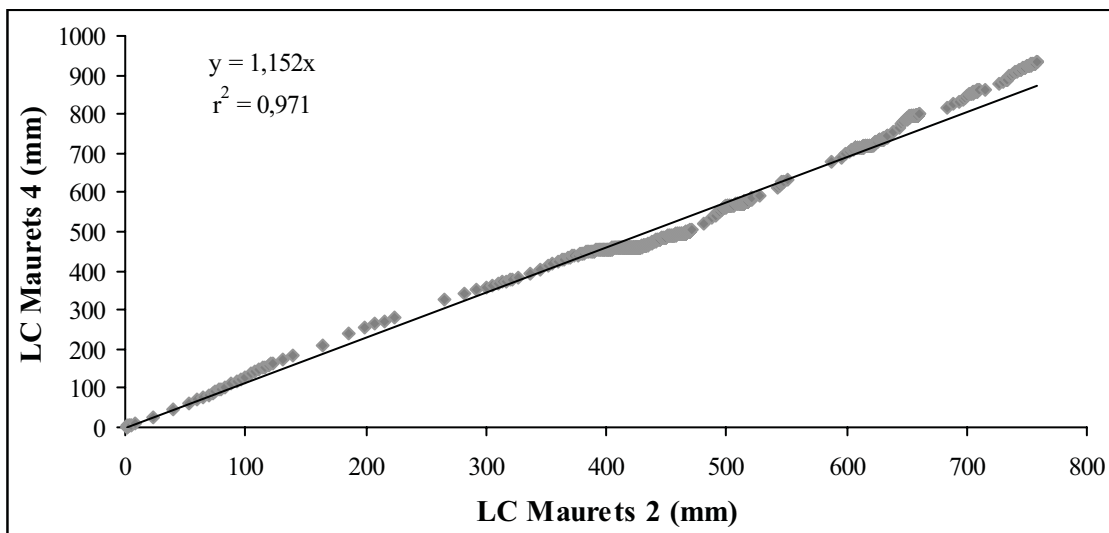


Figure 33 - Double cumul des lames d'eau écoulées journalières des bassins des Maurets 2 et des Maurets 4 de décembre 1996 à décembre 1999.

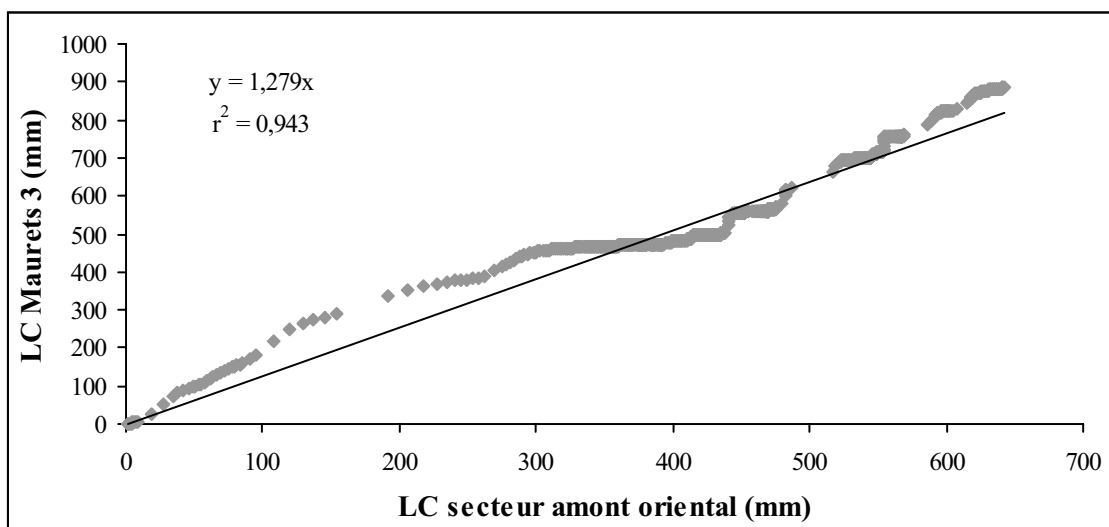


Figure 34 - Double cumul des lames d'eau écoulées journalières des secteurs amont occidental (Maurets 3) et amont oriental du bassin des Maurets de décembre 1996 à décembre 1999.

Selon cette approche, il s'avère que, sur la période décembre 1996 - décembre 1999, la partie occidentale du bassin des Maurets 2 a écoulé une lame d'eau 1,3 fois plus forte que celle fournie par la partie orientale.

Pour l'année hydrologique 1998-99, où les précipitations à Guérin et aux Fourches ont été identiques (respectivement 945 et 942 mm), ce qui dénote une bonne homogénéité spatiale des pluies sur le bassin des Maurets 2, la détermination des éléments du bilan hydrologique des différents bassins et sous-bassins donne les résultats portés dans le tableau V.

En 1998-99, les différences de comportement entre les secteurs amont occidental et

oriental du bassin des Maurets ont été considérables, beaucoup plus fortes que celles mises en évidence par la méthode des doubles cumuls sur la période décembre 1996 - décembre 1999.

Il faut toutefois nuancer ces résultats. En effet, l'année 1997-98 montre des comportements totalement différents (Tab. VI). Au cours de cette année, le secteur amont oriental aurait en effet écoulé une lame d'eau supérieure à 200 mm, contre moins de 100 mm pour le secteur occidental. Pour expliquer ces résultats, on peut bien sûr essayer d'invoquer, d'une part, l'abondance et le rythme des précipitations et, d'autre part, les capacités de stockage et de restitution des bassins versants.

Tableau V - Éléments du bilan hydrologique (exprimés en mm) des bassins versants des Maurets pour l'année 1998-99.

	Maurets 1	Maurets 1-2	Maurets 2	Maurets 3	Maurets 4	Maurets 3-4	SA Orient.	SA Occid.
P "Bassin"	941	977	924					
P "Postes"	961	1000	944	942	942	942	944	944
L	122	72	145	197	224	177	83	204
P Postes - L	839	928	799	745	718	765	860	740

Maur : Maurets. SA Orient. : secteur amont oriental. SA Occid. : secteur amont occidental. P. "Bassin" : pluies calculées avec la fonction SPLINE 2D. P. "Postes" : moyenne de Bourdins et Guérin pour Maurets 1 ; moyenne de Bourdins et Guérin pour Maurets 2, SA Orient. et SA Occid. ; poste des Fourches pour Maurets 3, Maurets 4 et Maurets 3-4. L : lame d'eau écoulée. Pour SA Occid., la lame d'eau a été évaluée en tenant compte des superficies occupées, sur le secteur amont occidental du bassin des Maurets, par les parties de bassins identiques à Maurets 4 et par celles identiques à Maurets 3-4.

Tableau VI - Précipitations et écoulements annuels sur les bassins versants des Maurets en 1997-98 et 1998-99.

		Maurets 1	Maurets 2	Maurets 3	Maurets 4
1997-98	P (mm)	968	925	944	944
	L (mm)	123	148	92	113
1998-99	P (mm)	961	924	942	942
	L (mm)	122	145	197	224

L : lame d'eau écoulée. P : précipitations "Postes" (voir tableau V).

L'année 1997-98 survient après deux années extrêmement humides (P au poste des Fourches : 1441 mm en 1995-96 et 1368 mm en 1996-97). Les pluies en 1997-98 ont été modérées (944 mm au poste des Fourches) et se sont réparties entre de nombreux mois (P mensuelles maximums : 209 mm en avril). On peut donc se demander si le bassin des Maurets 2 n'a pas profité des forts stockages réalisés antérieurement pour se montrer localement plus réactif que le bassin des Maurets 3. La différence entre les bassins se creuse pendant la période de reconstitution des

réserves, et tout particulièrement en décembre. Au cours de ce mois, le bassin des Maurets 2 évacue une lame d'eau de 64,6 mm, tandis que celui des Maurets 3 écoule 9,6 mm seulement.

L'année 1998-99 connaît des pluies très abondantes en janvier, qui est le premier mois véritablement pluvieux de l'année (310 mm au poste des Fourches – dont 46,0 mm le 1^{er} janvier, venant après les 56,2 mm du 31 décembre ; 119 et 14,0 mm les 10 et 11 janvier ; 86,0 et 43,0 mm les 17 et 18 janvier). Les lames d'eau écoulées au

cours du mois sont de 131 mm pour le bassin des Maurets 3 (135 mm pour celui des Maurets 4) et de 90 mm pour celui des Maurets 2. La réponse hydrologique du secteur amont oriental aux précipitations de janvier 1999 a donc été très amortie. La différence de comportement s'est retrouvée en mai : L = 40,2 mm sur le bassin des Maurets 3 (55 mm sur celui des Maurets 4) et 23,1 mm sur celui des Maurets 2 (P au poste des Fourches : 89 mm).

Toutefois, il est impossible d'exclure la possibilité d'incertitudes sur les mesures (la multiplication des tournées de terrain n'a débuté qu'en février 1998). La poursuite des observations sur un plus grand nombre d'années permettra sans doute de préciser les causes des différences observées.

b . Pour des débits journaliers supérieurs à 500 l/s à la station des Maurets 1

Les traitements par double cumul sont

présentés sur les figures 35 et 36.

Ces graphiques montrent l'importance des lames d'eau écoulées en crue par le bassin des Maurets 3-4 par rapport à celles des Maurets 2 (Maurets 3-4 / Maurets 2 = 1,4). En revanche le rapport entre les Maurets 4 et le bassin des Maurets 3-4 est proche de un.

Le tableau VII résume les résultats obtenus. Sur l'ensemble de la période, le bassin des Maurets 3-4 a écoulé une lame d'eau 1,4 fois supérieure à celle des Maurets 2 pour des débits supérieurs à 500 l/s à la station des Maurets 1. Ce résultat traduit la forte influence de la partie occidentale du bassin amont dans les écoulements de crue. Les lames d'eau écoulées pour les forts débits pris en considération représentent 57 % du total écoulé par le bassin des Maurets 3-4, contre 45 % du total écoulé par le bassin des Maurets 2. Il faut préciser que les débits supérieurs à 500 l/s ne s'observent que sur deux pour cent des jours d'écoulement.

Tableau VII - Cumuls (en mm) des lames d'eau écoulées en hautes eaux par les bassins amont des Maurets sur la période décembre 1996 - décembre 1999 (débits > 500 l/s à la station des Maurets 1).

	Maurets 2	Maurets 3-4	Maurets 4	Maurets 3-4 / Maurets 2	Maurets 3-4 / Maurets 4
Cumul pour QJ > 500 l/s à la station des Maurets 1 (A)	349	489	401	1,40	1,22
Cumul pour tous les débits (B)	759	843	933	1,11	0,90
Part de A dans B	46 %	58 %	43 %	-	-

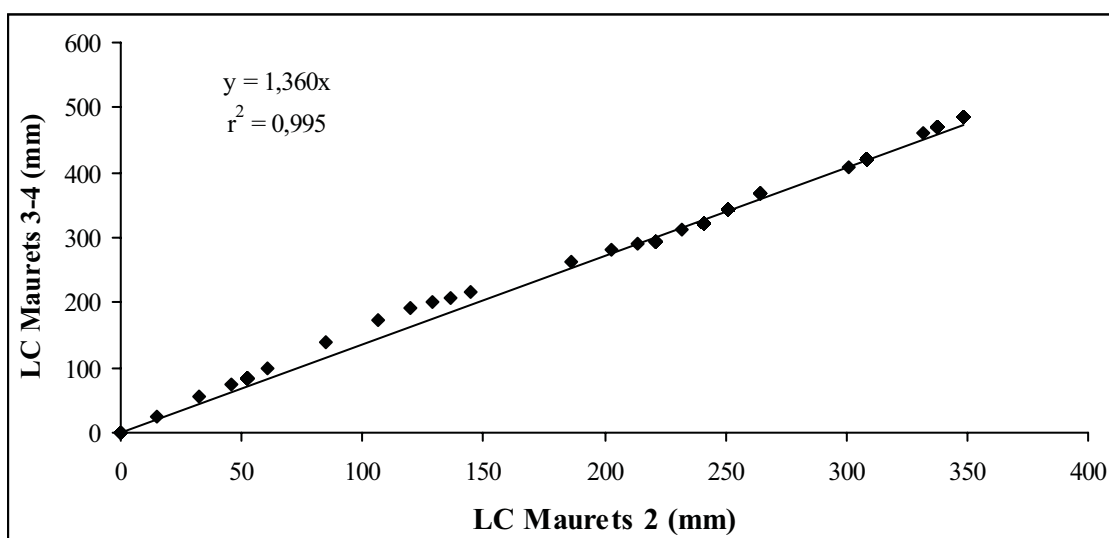


Figure 35 - Double cumul des lames d'eau écoulées journalières des bassins des Maurets 2 et des Maurets 3-4 pour des débits supérieurs à 500 l/s à la station des Maurets 1.

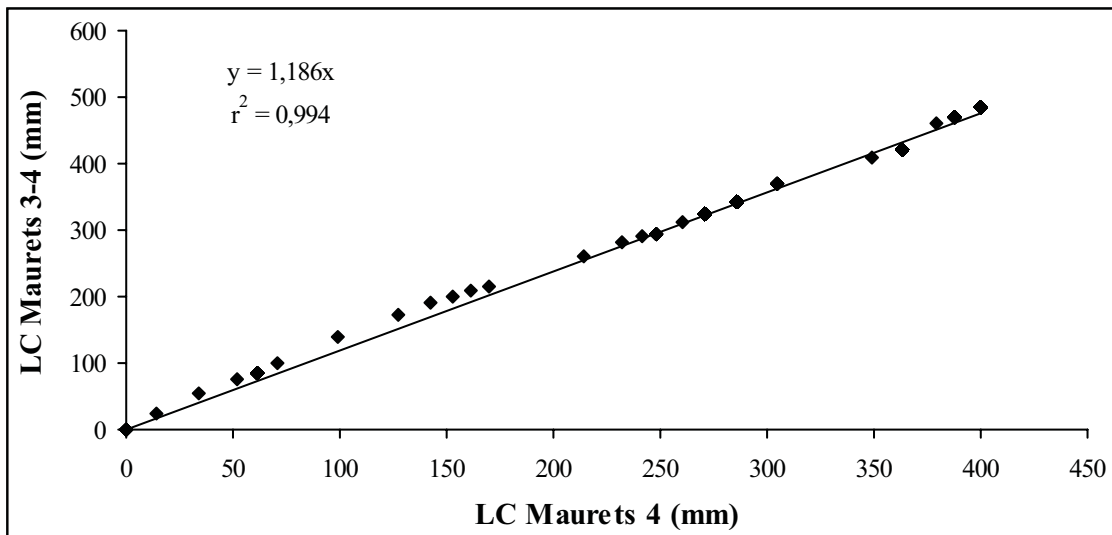


Figure 36 - Double cumul des lames d'eau écoulées journalières des bassins des Maurets 4 et des Maurets 3-4 pour des débits supérieurs à 500 l/s à la station des Maurets 1.

L'estimation des lames d'eau écoulées en crue par les parties amont orientale et amont occidentale du bassin des Maurets 2 fait encore mieux ressortir la part essentielle prise par les affluents de rive droite dans les écoulements de

hautes eaux du ruisseau des Maurets (Fig. 37). En effet, pour ces épisodes, la partie occidentale du bassin des Maurets 2 fournit des lames d'eau 1,7 fois plus fortes que la partie orientale.

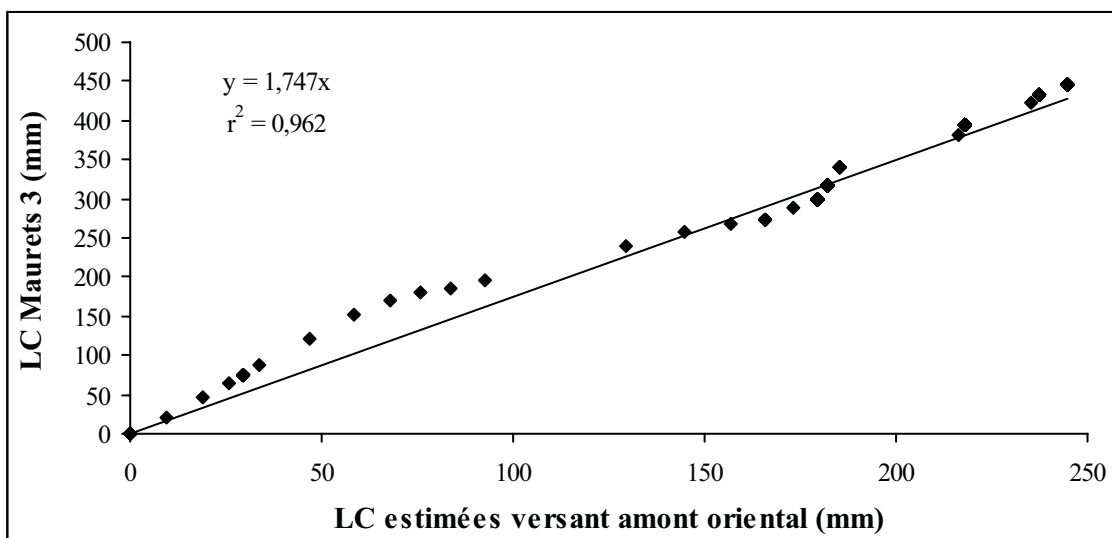


Figure 37 - Double cumul des lames d'eau écoulées journalières des secteurs amont occidental (Maurets 3) et amont oriental pour des débits supérieurs à 500 l/s à la station des Maurets 1.

c . Pour un débit journalier inférieur à 100 l/s à la station des Maurets 1

La figure 38 montre que le cumul des lames d'eau de faibles débits des Maurets 2 est supérieur de plus deux fois à celui des Maurets 3-4. Le bassin des Maurets 2 est plus

restitutif que le bassin des Maurets 3-4. Le tableau VIII complète ces observations.

Par une approche identique à celle appliquée à l'ensemble des débits (voir paragraphe V-4-a), on peut estimer les lames d'eau fournies par la partie orientale du bassin des Maurets 2. La

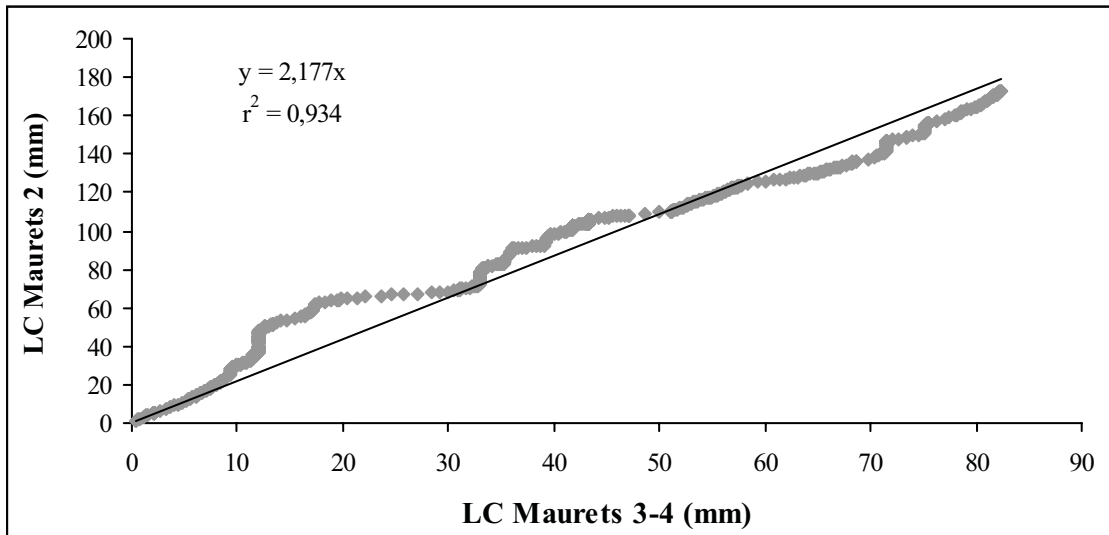


Figure 38 - Double cumulus des lames d'eau écoulées journalières des bassins des Maurets 2 et des Maurets 3-4 pour des débits inférieurs à 100 l/s à la station des Maurets 1.

Tableau VIII - Cumuls (en mm) des lames d'eau écoulées en basses eaux par les bassins amont des Maurets sur la période décembre 1996 - décembre 1999 (débits journaliers < 100 l/s à la station des Maurets 1).

	Maurets 2	Maurets 3-4	Maurets 4	Maurets 3-4 / Maurets 2	Maurets 3-4 / Maurets 4
Cumul pour QJ < 100 l/s à la station des Maurets 1 (A)	173	82	166	0,47	0,49
Cumul pour tous les débits (B)	759	843	933	1,11	0,90
Part de A dans B	23 %	9,7 %	18 %	-	-

figure 39 compare les cumuls des lames d'eau écoulées effectués, d'une part, pour le bassin des Maurets 3 et, d'autre part, pour la partie orientale du bassin des Maurets 2. Des difficultés pour l'estimation de ces lames ont été rencontrées sur l'année 1997. En effet, les données de l'année 1997 ne s'alignent pas correctement avec celles des années suivantes. Cette observation rejoint les remarques déjà formulées au paragraphe V-4-a au sujet de l'année 1997-98. Un double cumulus a donc aussi été réalisé avec les seules données recueillies à partir de janvier 1998 (Fig. 40). D'après ces données, le bassin versant amont oriental fournit 1,5 fois plus d'eau au mètre carré que son homologue occidental.

VI - CONCLUSION

Le bassin versant des Maurets amont (Maurets 2) fournit une part importante des écoulements de l'ensemble du bassin versant des

Maurets (Maurets 1). Par rapport au sous-bassin aval (Maurets 1-2), le bassin amont est nettement plus réactif, et il se révèle en outre légèrement plus restituteur en décrue.

Sur une large partie du bassin des Maurets 3 (Maurets 3-4), les versants ont une pente parallèle à la direction des structures planaires des roches. De plus, les formations superficielles sont ici très peu épaisses. Ce bassin est représentatif du comportement des sous-bassins du secteur amont occidental. En crue, sur la période décembre 1996 - décembre 1999, les débits spécifiques journaliers ont toujours été supérieurs à ceux observés pour le bassin des Maurets 2. L'examen des lames d'eau cumulées indique que lorsque les débits sont élevés, le bassin des Maurets 3-4 évacue des lames d'eau 1,4 fois supérieures à celles fournies par l'ensemble du bassin des Maurets 2. Pour les faibles débits, le comportement des bassins est totalement inversé. Le bassin des Maurets 2 restitue alors des lames d'eau 2 fois plus fortes

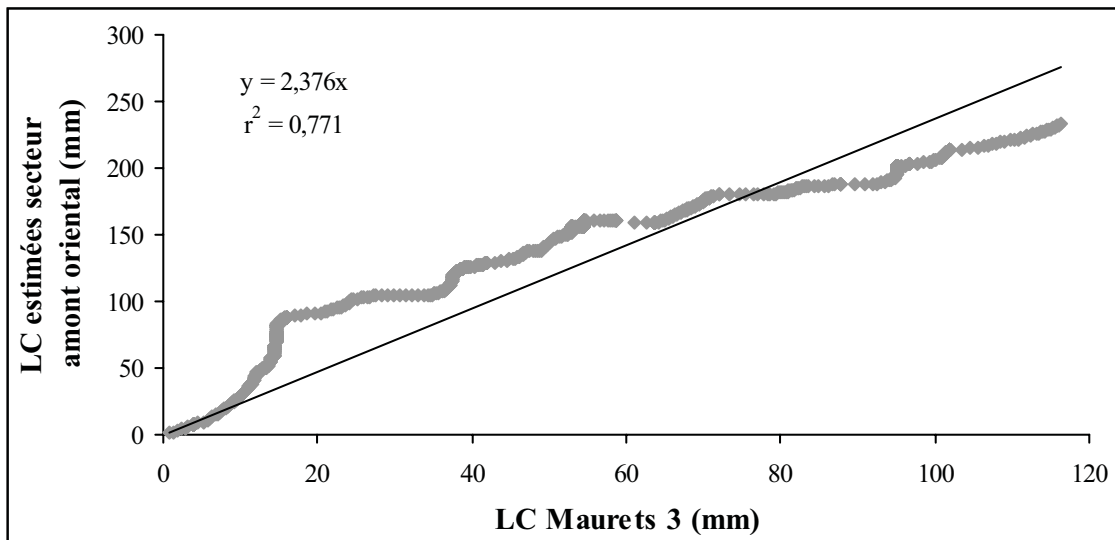


Figure 39 - Double cumulation des lames d'eau écoulées journalières des secteurs amont occidental (Maurets 3) et amont oriental pour des débits inférieurs à 100 l/s à la station des Maurets 1.

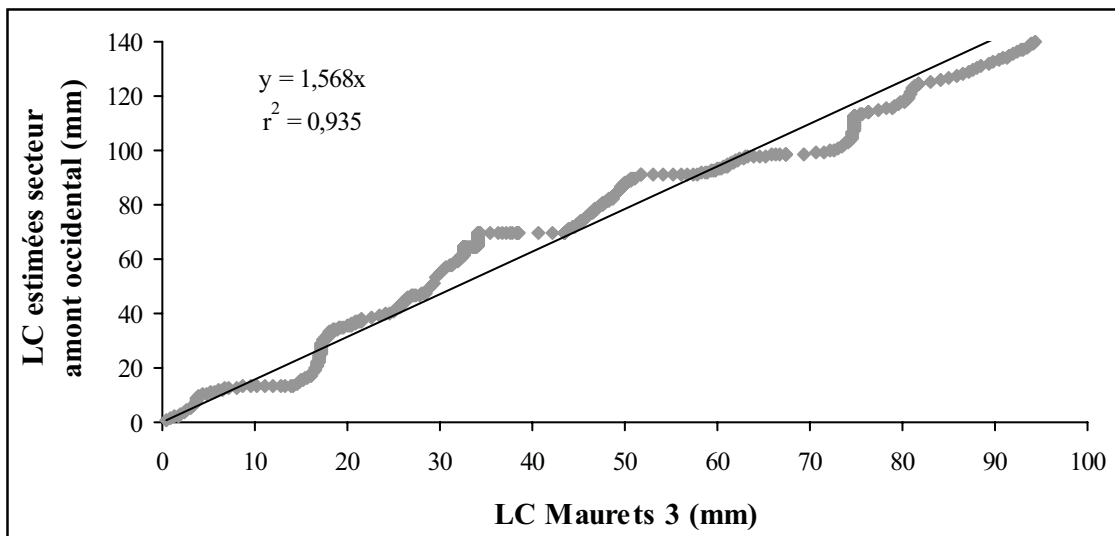


Figure 40 - Double cumulation des lames d'eau écoulées journalières des secteurs amont occidental (Maurets 3) et amont oriental pour des débits inférieurs à 100 l/s à la station des Maurets 1 sur la période janvier 1998 - décembre 1999.

que celles correspondant au bassin des Maurets 3-4. Le secteur amont oriental du bassin des Maurets semble donc soutenir beaucoup mieux les étiages que ne le fait le secteur occidental.

En partant de l'hypothèse que les bassins du secteur amont du bassin des Maurets 2 réagissent de la même façon que le bassin versant des Maurets 3, il a été possible de traduire à l'échelle des deux secteurs amont, les conséquences des différences de fonctionnement hydrologique entre le secteur occidental, qui fournit beaucoup d'eau lors des crues (les lames d'eau cumulées pour les hautes eaux sont 1,7 fois plus élevées que sur la partie orientale), et le secteur oriental,

qui soutient plus efficacement les décrues et les étiages (les lames d'eau cumulées pour les faibles débits sont 1,5 fois plus fortes que sur la partie occidentale).

Dans les secteurs amont, la circulation des eaux est nettement facilitée lorsque la direction des structures planaires des roches est parallèle à celle de la pente. Cette disposition favorise un écoulement rapide vers les thalwegs, génère les crues et ne permet pas un stockage des eaux. En revanche, lorsque les structures planaires sont disposées perpendiculairement à la pente, l'infiltration et la restitution lente des eaux se trouvent favorisées.

Ces conclusions doivent cependant être précisées :

- Dans la partie amont du bassin des Maurets, sur un substrat constitué uniquement de phyllades, et sur un relief offrant de fortes dénivelées, la relation entre les structures planaires des roches et la pente des versants influence à la fois la décohéssion des roches et l'épaisseur du manteau d'altérites. Les bassins occidentaux présentent des roches peu décompressées et n'offrent que des formations superficielles peu épaisses. Au contraire, les roches manifestent une forte décompression sur les bassins orientaux, et ceux-ci portent localement des formations superficielles épaisses, racines de paléaltérites protégées par des alignements de chicots, formations de solifluxion conservées sur les vieilles topographies assez douces préservées près des sommets, ou colluvions accumulées en tête des vallons. Qui plus est, la couverture végétale est évidemment plus fournie sur les

sols épais, sur les roches décompressées et sur les versants où la pente est perpendiculaire à la direction des structures planaires.

- L'impact des formations superficielles sur les écoulements est évident sur le sous-bassin des Maurets 1-2. Dans ce cas, les versants présentent souvent une pente perpendiculaire à la direction des structures planaires, mais les comportements hydrologiques sont conditionnés par la forte capacité de stockage d'eau des altérites. La nature des roches joue ici un rôle très important, les amphibolites étant particulièrement sensibles à l'altération chimique.

- Enfin, les effets de la relation entre la pente topographique et les structures planaires et/ou de l'épaisseur des formations superficielles cessent d'être sensibles lorsque des précipitations extrêmement abondantes amènent les bassins versants à saturation.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

AMBROISE B. (1999) - *La dynamique du cycle de l'eau dans un bassin versant - processus, facteurs, modèles*-. Editions *H*G*A, Bucarest, 200 p.

BORDET P. (1969) - *Carte géologique Collobrières au 1/50 000, avec notice explicative*. Feuille XXXIV-45 (couverte en collaboration avec G. MENNESSIER), Édit. BRGM, Orléans.

COSANDEY C. (1990) - L'origine des crues dans les bassins versants élémentaires : du ruissellement sur les versants à l'écoulement de crue. *Annales de Géographie*, n° 556, p. 641-658.

COSANDEY C. (2000), avec la collaboration de C. MARTIN et DIDON-LESCOT J.F.- Forêts et écoulements, étude des conséquences d'une coupe forestière sur le bilan d'écoulement annuel, les crues et les étiages. *Rapport sectoriel de recherche du programme CEE « FOREX »*, 34 p.

CURT T. (1994) - Cartographie des formations superficielles du bassin versant des Maurets (massif des Maures, Var). Apports pour l'hydrologie et la reconnaissance des écosystèmes forestiers. *Ét. Géogr. Phys.*, n° XXIII, p. 15-22.

DELAUNAY C. (1992) - *Hydrogéologie du bassin des Maurets*. Rapport de stage de DESS, Univ. Nice, Édit. Cemagref, 93 p.

GAILLARD É., LAVABRE J., ISBÉRIE C. et NORMAND M. (1996) - État hydrique d'une

parcelle et écoulements dans un petit bassin versant du massif cristallin des Maures. *Hydrogéologie*, n° 4, p. 41-48.

GRÉSILLON J.M. (1994) - *Contribution à l'étude de la formation des écoulements de crue sur les petits bassins versants, approches numériques et expérimentales à différentes échelles*. Document d'Habilitation à Diriger des Recherches, Univ. Grenoble I - Joseph FOURIER, 156 p.

GUEIRARD S. (1957) - *Description pétrographique et zonéographique des schistes cristallins des Maures*. Thèse de Doctorat d'État, Univ. Aix-Marseille, Trav. Lab. Géol. Marseille, t. VI, 1959, p. 71-264.

LAMBERT R. (1975) - *Recherches hydrologiques dans le sud-est du bassin garonnais*. Thèse de Doctorat d'État, Univ. Toulouse, 2 tomes, 750 p.

LAVABRE J. (1988) - *Les programmes Spline isovtr et interg*. Édit. Cemagref, Aix-en-Provence, 8 p. + annexes.

LOISEAU Ph. (1988) - *Étude structurale et géostatistique des gneiss de la région du Cézallier (Massif Central Français)*. Documents du BRGM, n° 162, 181 p.

LUTAUD L. (1951) - *Carte géologique Toulon au 1/80 000*. Feuille n° 248., Édit. BRGM, Orléans.

MARC V. (1994) - *Étude de la relation pluie-débit sur bassin versant en climat méditerranéen par le traçage chimique et*

- isotopique naturel de l'eau (Réal Collobrier, massif des Maures, Var)*. Thèse de Doctorat de l'Université de Montpellier II, 293 p.
- MARTIN C. (1972) - L'érosion différentielle dans la région de Collobrières. Massif des Maures - Var. *Méditerranée*, n° 3-4, p. 159-170.
- MARTIN C. (1975) - L'érosion des sols sur roches métamorphiques en milieu méditerranéen provençal : les enseignements d'une station expérimentale. *Rev. Géomorph. dyn.*, t. XXIV, p. 49-63.
- MARTIN C. (1986) - *Contribution à l'étude de la dynamique des versants en roches métamorphiques ; l'exemple du massif des Maures*. Thèse de Doctorat d'État, Univ. Paris I, 935 p.
- MARTIN C. (1992) - Étude hydro-géomorphologique comparée de deux bassins versants en roches métamorphiques du massif des Maures (Maurets et Valescure). *Ét. Géogr. Phys.*, n° XXI, p. 5-15.
- MARTIN F. (1999) - *Fonctionnement hydrologique des bassins versants de roches métamorphiques : recherches préliminaires sur le bassin des Maurets (massif des Maures, Var, France)*. Mémoire de Maîtrise, Univ. Nice, 66 p.
- MARTIN F. (2000) - *Fonctionnement hydrologique des bassins versants de roches métamorphiques : exemple du bassin versant des Maurets (massif des Maures, Var, France)*. Mémoire de DEA, Univ. Nice, 70 p.
- OBLED Ch. (1999) - Le versant et le bassin versant : quelques aperçus sur la formation des crues et la production du ruissellement. *Actes des journées de la SHF, Lyon*. p. 5-23.
- PORTIER J. (1974) - *Carte pédologique Toulon au 1/100000*. Carte pédologique de France à moyenne échelle, Publication n° 3, INRA, Versailles, notice explicative, 130 p.
- SEYLER M. (1975) - *Pétrologie et lithostratigraphie des formations cristallophylliennes dans la chaîne de la Sauvette (Maures, Var, France)*. Thèse de 3^{ème} Cycle, Univ. Nice, 184 p.
- WEESAKUL U. (1992) - *Apport de la télédétection et de l'information géographique numérique à la compréhension du fonctionnement hydrologique de bassins versants méditerranéens*. Thèse de Doctorat de l'Université de Montpellier II, 300 p.