

ACADEMIE DE MONTPELLIER

UNIVERSITE DES SCIENCES ET TECHNIQUES DU LANGUEDOC
SCIENCES DE L'EAU ET AMENAGEMENT

**CONTRIBUTION AU CALCUL DE BILANS
D'EROSION SUR PETITS BASSINS
REPRESENTATIFS
LES BASSINS DU PIC SAINT-LOUP**

SIGHA NKAMDJOU

MEMOIRE DE DE A NATIONAL

SOUTENU LE 22 SEPTEMBRE 1986

JURY:

C. BOCQUILLON PRESIDENT
J.C. OLIVRY
B. POUYAUD
J. COLOMBANI
M. GOENAGA

U S T L

LABORATOIRE D'HYDROLOGIE
MATHEMATIQUE

O R S T O M

INSTITUT FRANÇAIS DE
RECHERCHE SCIENTIFIQUE
POUR LE DEVELOPPEMENT
EN COOPERATION

AVANT-PROPOS

J'ai eu la chance de faire mon DEA National d'Hydrologie au Laboratoire d'Hydrologie Mathématique (LHM) de l'Université des Sciences et Techniques du Languedoc (USTL) en qualité d'élève ORSTOM ; je remercie les Responsables et les Enseignants pour les connaissances que cette formation m'a permis d'acquérir.

En acceptant la Présidence du jury de ce modeste travail, Monsieur le Professeur BOCQUILLON, Responsable du LHM, témoigne une fois de plus de son inlassable disponibilité au service de l'Etudiant. Je l'en remercie de tout coeur.

J.C. OLIVRY, de l'ORSTOM, Responsable entre autres projets de celui du bassin versant du Pic St-Loup sur lequel porte notre étude, m'a fait l'honneur, malgré ses multiples occupations, de diriger ce mémoire et m'a guidé pour sa réalisation. Je lui renouvelle ma profonde gratitude pour son encadrement.

Je remercie d'avance B. POUYAUD, Responsable du Laboratoire d'Hydrologie de l'ORSTOM et J. COLOMBANI, également de l'ORSTOM, ainsi que M. GOENAGA, Directeur de l'ENGREF, pour leur participation comme membres du jury.

P. RIBSTEIN, Responsable de la formation au Laboratoire d'Hydrologie de l'ORSTOM, n'a ménagé aucun effort pour m'apporter son aide et me prodiguer des conseils au cours de la réalisation de ce travail. Je lui suis très reconnaissant.

L'équipement du projet est l'oeuvre de M. TOURNE et G.J. DUBOIS dont j'ai également bénéficié du concours pour les travaux de terrain. Qu'ils trouvent ici mes sincères remerciements.

De même, que tous ceux qui sont intervenus aussi bien dans la réalisation du rapport bibliographique que dans celle de la présente note, en particulier J.M. MASSON et F. BRISSAUD du LHM, G. COCHONNEAU, N. ROUCHÉ, J. LIBES, J. BERNAGOU et J.P. DEBUICHE, tous de l'ORSTOM, trouvent ici le témoignage de ma reconnaissance.

Je saisis également l'occasion pour remercier les autorités de l'Organisation Météorologique Mondiale (OMM) et les Responsables de l'Agence pour la Coopération Technique Industrielle et Economique (ACTIM) dont je reconnais l'aide pour cette formation.

Enfin, force est de reconnaître que je dois la poursuite de mes études à l'Institut de Recherches Géologiques et Minières (IRGM) du Cameroun ; aussi j'ose espérer que Monsieur SOBA DJALLO, Directeur de cet Institut, son adjoint J.P. MABOUKA, le Chef de service de la Recherche G.E. EKODECK, le Chef du Centre de Recherches Hydrologiques (CHR). E. NAAH et P. CARRE trouveront en ce travail le résultat de leur dynamisme.

Que tout le personnel de cet Institut, et plus particulièrement celui du CHR dont je connais la sympathie, soit assuré de mon souvenir affectueux.

"Si l'érosion est la maladie de la terre,
la désertification est sa mort."

LE COURRIER, UNESCO : janvier 1985

RESUME

L'étude des processus d'érosion peut se définir suivant plusieurs aspects (quantitatif, qualitatif, socio-économique...). Les aspects quantitatif et socio-économique ont pour objectifs la quantification des pertes de terre, la détermination de la durée de remplissage des retenues et par conséquent celle de leur gestion et de leur exploitation, le choix des méthodes de lutte contre l'érosion.

La réalisation de ces objectifs nécessite des interactions entre divers secteurs de la recherche.

Notre contribution au projet "BRE du Pic St-Loup" s'est limitée à l'analyse des données hydro-pluviométriques de Juillet 1985 à Juin 1986 et à un essai de quantification des pertes de terres au cours de cette période, sur le bassin de Combe Nègre (0,03 km²).

La dégradation spécifique est estimée à 4000 t/km² sur ce petit bassin dont les 2/3 sont constitués de marnes noires.

Le taux de dénudation correspondant, évalué à 1,6 mm à l'échelle annuelle, correspond en cent ans à un décapage d'une épaisseur de 16 cm de marnes, ce qui est très important à l'échelle géologique.

Cette note, sans prétendre aboutir à des résultats et un bilan définitifs, place les premiers jalons pour la suite du projet.

SOMMAIRE

SOMMAIRE

	Page
AVANT-PROPOS	
SOMMAIRE	
INTRODUCTION	8
I - GENERALITES	11
I-1 DESCRIPTIONS DES BASSINS	11
I-2 LES EQUIPEMENTS DU PROJET	14
II - LES DONNEES HYDROPLUVIOMETRIQUES	23
II-1 LA PLUVIOMETRIE	23
II-2 L'HYDROMETRIE DE LA COMBE NEGRE	34
III - ANALYSE DES DONNEES HYDROPLUVIOMETRIQUES	42
III-1 RAPPELS DE QUELQUES DEFINITIONS	43
III-2 RELATIONS FLUIE-DEBIT	47
III-2-1 L'ECHANTILLON DISPONIBLE	47
III-2-2 RECHERCHE DE RELATION AVERSE-CRUE	55
III-2-3 APPLICATION A LA RECONSTITUTION DE LA CRUE DU 5/10/85	57
IV - MESURES DES TRANSPORTS SOLIDES	60
IV-1 QUELQUES RAPPELS	60
IV-2 MESURE DE TRANSPORTS SOLIDES EN SUSPENSION	60
IV-2-1 DEBITS SOLIDES EN SUSPENSION	61
IV-2-1-1 Teneur en MES des échantillons	61
IV-2-1-2 Débits solides	63

	Page
IV-2-2 ESTIMATION DU POIDS DES MES	63
IV-2-3 ESSAI D'INTERPRETATION DES RESULTATS	66
IV-3 MESURE DES TRANSPORTS SOLIDES DE FOND	67
IV-3-1 ESTIMATION DU VOLUME DES MATIERES ACCUMULEES	68
IV-3-1-1 Principe de la méthode	68
IV-3-1-2 Cubage des matériaux piégés	68
IV-3-1-2-1 Levés topographiques	68
IV-3-1-2-2 Méthodes de détermination du volume des matériaux	69
IV-3-1-2-2-1 Première méthode	70
IV-3-1-2-2-2 Deuxième méthode	76
IV-3-1-2-2-3 Fiabilité des méthodes de cubage	80
IV-3-2 POIDS DES MATERIAUX PIEGES	82
IV-3-2-1 Problème de la densité du matériau	82
IV-3-2-2 Poids des sédiments piégés	85
IV-3-3 COMMENTAIRE DES RESULTATS	86
IV-3-4 GRANULOMETRIE DES SEDIMENTS PIEGES	87
IV-3-4-1 Quelques rappels sur les dimen - sions des éléments transportés	87
IV-3-4-2 Granulométrie des sédiments piégés	89
IV-3-5 LA CALCIMETRIE	91
 V - CALCUL DU BILAN D'EROSION	 93
V-1 ESTIMATION DU POIDS DES MES	93
V-2 EVALUATION DU BILAN D'EROSION	96
V-3 COMPARAISON DES RESULTATS	97
V-3-1 RAPPEL DE QUELQUES DEFINITIONS	97
V-3-2 CALCUL DES TURBIDITES ET DES DEGRADATIONS SPECIFIQUES	98
V-3-3 ESTIMATION DE LA DEGRADATION SPECIFIQUE ANNUELLE	100
V-3-4 CALCUL DE LA TRANCHE DE MARNE DECAPEE	102
V-3-5 COMPARAISON DES RESULTATS	103
 CONCLUSION GENERALE	 105
 ANNEXES	 109
 BIBLIOGRAPHIE	

INTRODUCTION

INTRODUCTION

Le sol est un milieu en constante évolution. Il provient de la décomposition des roches; mais les agents atmosphériques et les interventions humaines le dégradent au cours du temps. Ce phénomène d'ablation, appelé érosion, constitue la "maladie de la terre". L'érosion se produit partout dans le monde sous forme mécanique, chimique, éolienne... On estime à environ 25 milliards de tonnes les pertes annuelles de terre dans le monde. Le taux de dénudation moyen serait de 5 à 6 cm en 1000 ans.

Le phénomène érosif, bien que posant de nos jours moins de problèmes dans les pays développés (il cause d'énormes dégâts dans les pays en voie de développement), reste très difficile à maîtriser.

En France, le problème de l'érosion a suscité un grand intérêt vers le milieu du siècle dernier, suite à des catastrophes enregistrées surtout dans les Alpes. Après un ralentissement, les études sur le sujet se multiplient depuis la fin de la deuxième guerre mondiale, afin d'améliorer la qualité des résultats et les connaissances sur les mécanismes d'ablation.

En 1984, l'Université des Sciences et Techniques du Languedoc (USTL) et l'Institut Français de Recherche scientifique pour le développement en Coopération (ORSTOM) s'associent pour proposer au Ministère de l'Environnement un projet d'études sur le ruissellement et l'érosion dans la région du Pic St Loup au Nord de Montpellier. Le projet prend corps en 1985 et reçoit une aide matérielle du Ministère de l'Environnement et du cadre de Vie (MECV).

Depuis la fin 1985, l'étude du Pic St Loup constitue un

des volets principaux de ce qui a été appelé "Laboratoire Hydrologique Naturel du Nord Montpellier" soutenu par le groupe VERSEAU (Valorisation des Etudes et des Recherches dans les Sciences de l'Eau) dont les partenaires scientifiques sont l'USTL représentée par son centre de recherche sur les Techniques de l'Eau (CERETE), l'ORSTOM, le Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM) et la Compagnie Nationale d'Aménagement de la Région du Bas-Rhône et du Languedoc (C.N.A.B.R.L.).

L'Etude du bassin représentatif expérimental (BRE) du Pic St Loup dont les travaux sont dirigés par J.C. Olivry, responsable par ailleurs d'études similaires mais plus développées dans les Alpes du Sud (bassin versant de Paca du groupe BRGM-ORSTOM), concerne plus précisément le bassin de la Combe de Mortiés, situé sur le flanc Sud du Pic. Ce bassin versant (BV) comporte un sous bassin sur lequel affleurent les marnes noires, d'où son nom de Combe Nègre. Le projet "BRE du Pic St Loup" a un double objectif:

- Le premier concerne les études hydrologiques et de l'érosion, l'établissement des relations entre l'érosion et les facteurs hydroclimatiques et géomorphologiques et l'élaboration des modèles régionaux de flux de sédiments (avec en application le calcul du comblement d'une retenue projetée par le C.N.A.B.R.L. sur le site de l'étude, à l'exutoire de la Combe des Mortiés).

- Le second porte sur la démonstration de technologies modernes de mesure et de collecte de données. Le projet sert également de support pédagogique dans le cadre d'une formation sur le terrain incluse dans les enseignements hydrologiques dispensés par le Laboratoire d'Hydrologie Mathématique (LHM) de l'USTL et le Laboratoire d'Hydrologie de l'ORSTOM.

Ainsi donc, dans le cadre de notre mémoire de DEA à l'USTL, nous avons été associés à cette étude.

Après une partie du travail qui a porté essentiellement sur les recherches bibliographiques et qui a fait l'objet d'un rapport soutenu en février 1986 (voir annexe), nous avons entrepris à partir de mars, des mesures sur le terrain et l'exploitation des résultats obtenus entre juillet 1985 à juin 1986 constituent l'essentiel du présent travail.

Précisons que notre intervention s'est limitée à la quantification des apports solides de la Combe Nègre et à l'observation des processus qui les mobilisent. Cette évaluation se fait par la mesure de matériaux transportés dans le lit (charriage et saltation) et par celle des matières en suspension (MES). La quantification des matières de Fond se fait par piégeage, puis cubage des sédiments; quant à celle des MES, elle se fait par la détermination de leurs concentrations dans l'eau qui les véhicule; cela nécessite donc la connaissance des précipitations et du ruissellement.

L'analyse de l'érosion hydrique commence donc par une analyse hydrologique classique. Ces deux phénomènes sont intimement imbriqués : la pluie provoque le ruissellement; l'énergie de ses gouttes provoque l'arrachement des matériaux; le ruissellement entraîne ces matériaux à l'exutoire des bassins.

Ce mémoire comporte :

- La description des bassins et des équipements du projet.
- La présentation et l'analyse des données pluviométriques.
- Les mesures et l'exploitation des résultats des transports solides,
- Un essai d'évaluation du bilan d'érosion pour la période d'observations.

I - GENERALITES

I — GENERALITES

I-1 DESCRIPTION DES BASSINS

Deux bassins emboîtés ont été retenus sur la Combe de Mortières dont le ruisseau est un affluent de St Romans, branche majeure de la Combe de Mortières, qui deviendra près de St Jean de Cuculles le torrent de Yargues.

La combe Nègre, comme son nom l'indique, draine essentiellement les marnes noires du Lias supérieur et en particulier celles du Toarcien, alors que l'autre branche de la Combe de Mortières draine essentiellement des calcaires et dolomies du Jurassique moyen et supérieur (du Bathonien au Kimméridgien) dont la Karstification très avancée limite considérablement l'importance des écoulements superficiels.

La partie la plus déprimée de la Combe de Mortières est occupée par un recouvrement quaternaire d'alluvions et colluvions indifférenciés, complantés en vignes.

Le bassin principal a une superficie de 60 hectares; son exutoire est à la cote 180 m, soit la limite supérieure du remplissage prévu pour la future retenue. En rive gauche du drain principal, les pentes sont relativement modestes et occupées par les vignes de la ferme de Mortières. L'écoulement principal se fait d'ouest en est. En rive droite et à l'amont, les pentes deviennent très fortes et un ravinement intense est observé plus particulièrement dans toute la partie sud du bassin où les marnes, argiles, schistes carton de couleur sombre ont une puissance atteignant deux cents mètres d'épaisseur. A peu près le tiers de la superficie du bassin est occupée par ces zones ravinées, un paysage de bads-lands peuplés d'une végétation très clairsemée ou même absente.

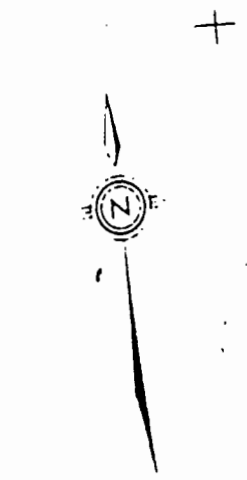
Le toarcien marneux est couronné par les calcaires beiges et roux de l'Aalénien et du Bajocien, caractérisés par leurs chailles (noyaux silicifiés) qui constituent les hauteurs sud et ouest du bassin (Ferme de Courtès, 342m, de la Figarède, 324 m, et Eglise St Etienne, 284 m). La partie haute des versants et les sommets sont occupés par des bois denses où dominent chênes verts, arbousiers et buis, ainsi que quelques pins d'Alep.

Le bassin a grosso-modo une forme ovale dont les diamètres auraient pour dimension respectivement 1100 et 600 m.

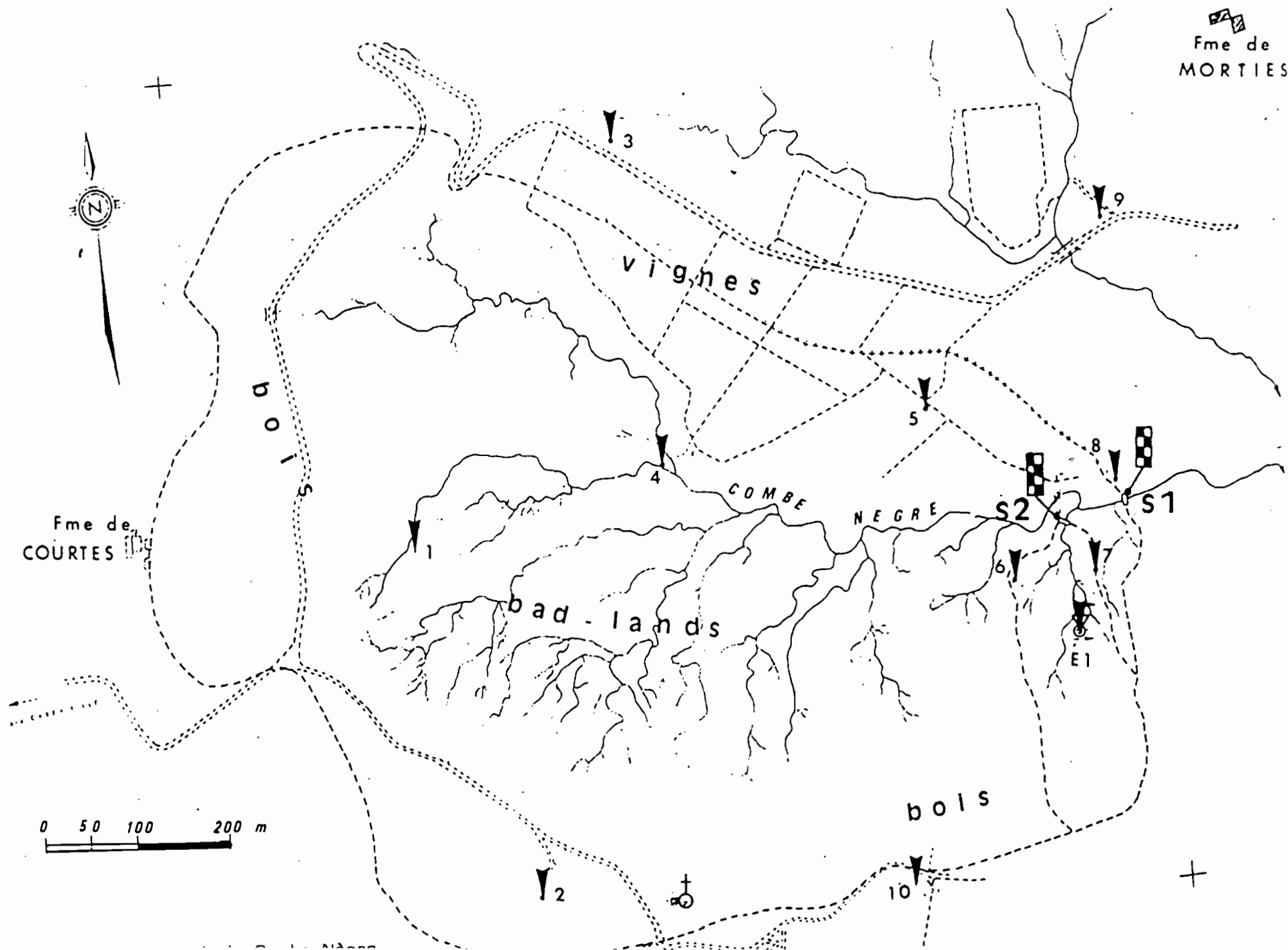
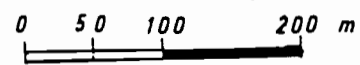
Le petit bassin n'a que 3 hectares de superficie; allongé sur un peu plus de 300 m et large d'une centaine de mètres, ce bassin constitue un exemple type des roubines de la partie sud du grand bassin. Les deux tiers inférieurs du bassin appartiennent exclusivement au domaine des bad-lands; le pendage des couches, inverse à la pente topographique, a entraîné la formation d'un cirque de confluence des ravines principales, cirque où se développe une petite pinède à l'abri du vent; à l'aval de ce cirque, la roubine rejoint le ruisseau du bassin principal par un couloir tortueux à forte pente, peu en amont de la station principale. En amont de la zone de bad-lands, le petit bassin devient très boisé jusqu'aux crêtes qui culminent à 298 m. La prédominance des calcaires et le pendage permettent de penser que malgré les fortes pentes une partie des précipitations est soustraite en tête de bassin par infiltration au bilan du petit bassin. La pente longitudinale moyenne est de 70% sur de courts profils transversaux, la pente dépasse fréquemment 60%.

La carte de la figure 1 propose une représentation sommaire des bassins étudiés.

Fme de
MORTIES



Fme de
COURTES



I-2 LES EQUIPEMENTS DU BASSIN VERSANT

I-2-1 LES EQUIPEMENT PLUVIOMETRIQUES

Le bassin est équipé de dix postes pluviométriques (P1 à P10) et d'un pluviographe (voir carte n° 1)

Les dix pluviomètres sont de type association; la surface collectrice, de 400 cm², est délimitée par une bague placée à 1 m du sol. Malgré le dispositif de fermeture par un cadenas monté sur l'ensemble entonnoir seau et support de fixation, le vandalisme et les malveillances n'ont pu être évités : on s'est retrouvé assez souvent avec un à deux pluviomètres en moins.

Le pluviographe Oedipe (fig. 2a) de conception ORSTOM et de fabrication Elsyde est implanté en tête du bassin secondaire (Combe Nègre), il est constitué de deux parties:

- Une partie réceptrice constituée d'un système précis-mécanique à augets basculeurs (0,2mm de pluie pour un basculement) avec une ampoule contact mercure et d'un entonnoir de 1000 cm² de surface réceptrice.

- Une partie électronique constituée d'une cartouche à mémoire statique EPROM sur laquelle est stockée l'information.

L'alimentation en énergie se fait par une batterie de 12 volts.

I-2-2 LES EQUIPEMENTS HYDROMETRIQUES

A la station principale (S1), le lit du cours d'eau a été régularisé par un radier et contreforts bétonnés sur les deux rives. L'étalonnage de la station est prévu à partir d'une passerelle de jaugeage; la méthode retenue est celle de l'étalonnage verticale par verticale, dite du "jaugeage en continu" compatible avec la rapidité des événements de crue. Au milieu du radier, qui a 4 m de largeur, un petit canal a été aménagé pour collecter les très faibles écoulements; à l'aval de ce petit collecteur, un petit déversoir triangulaire amovible (pour éviter l'envasement du canal) permet une rapide détermination des débits après stabilisation.

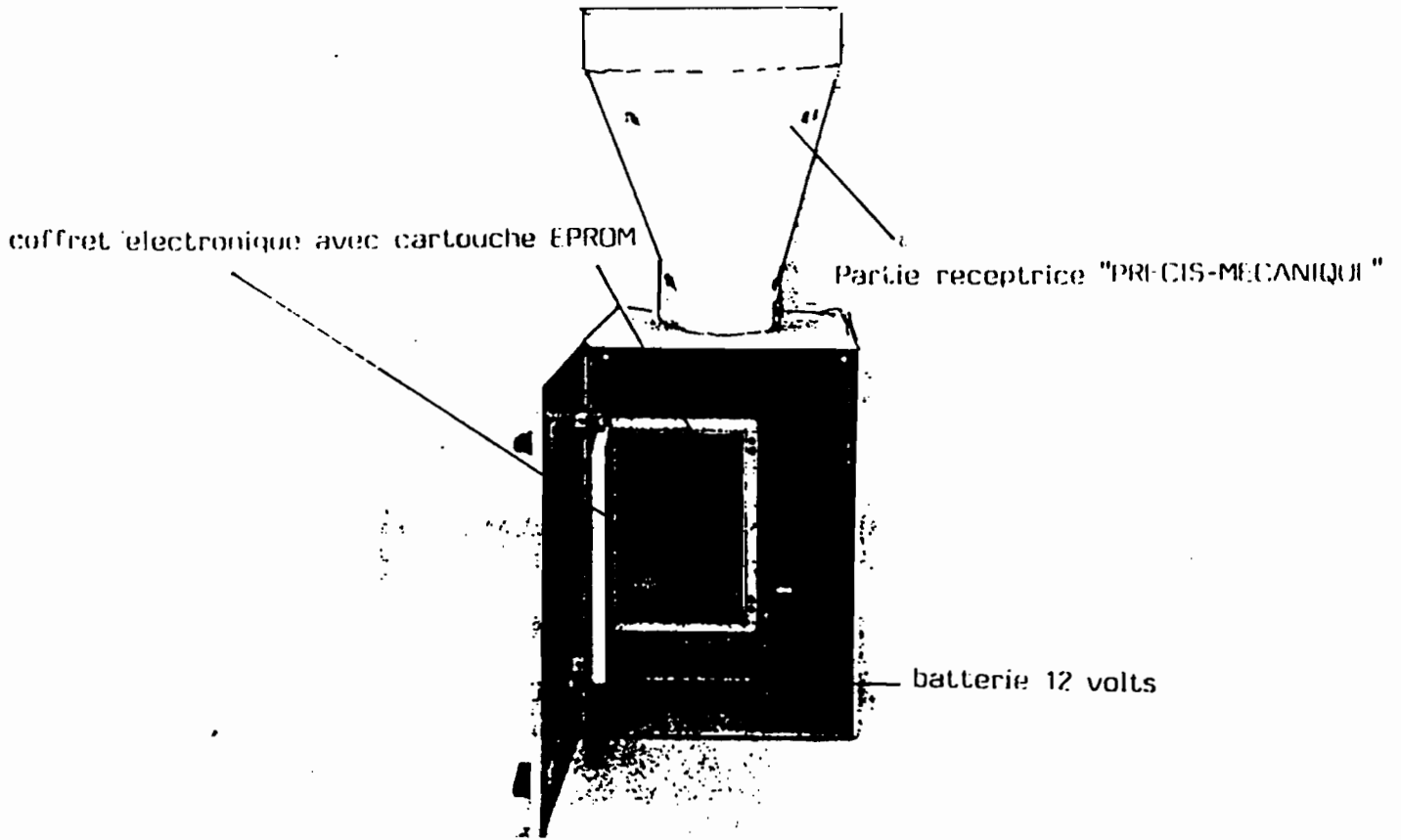


Fig:2a ENSEMBLE PLUVIOGRAPHE OEDIPE

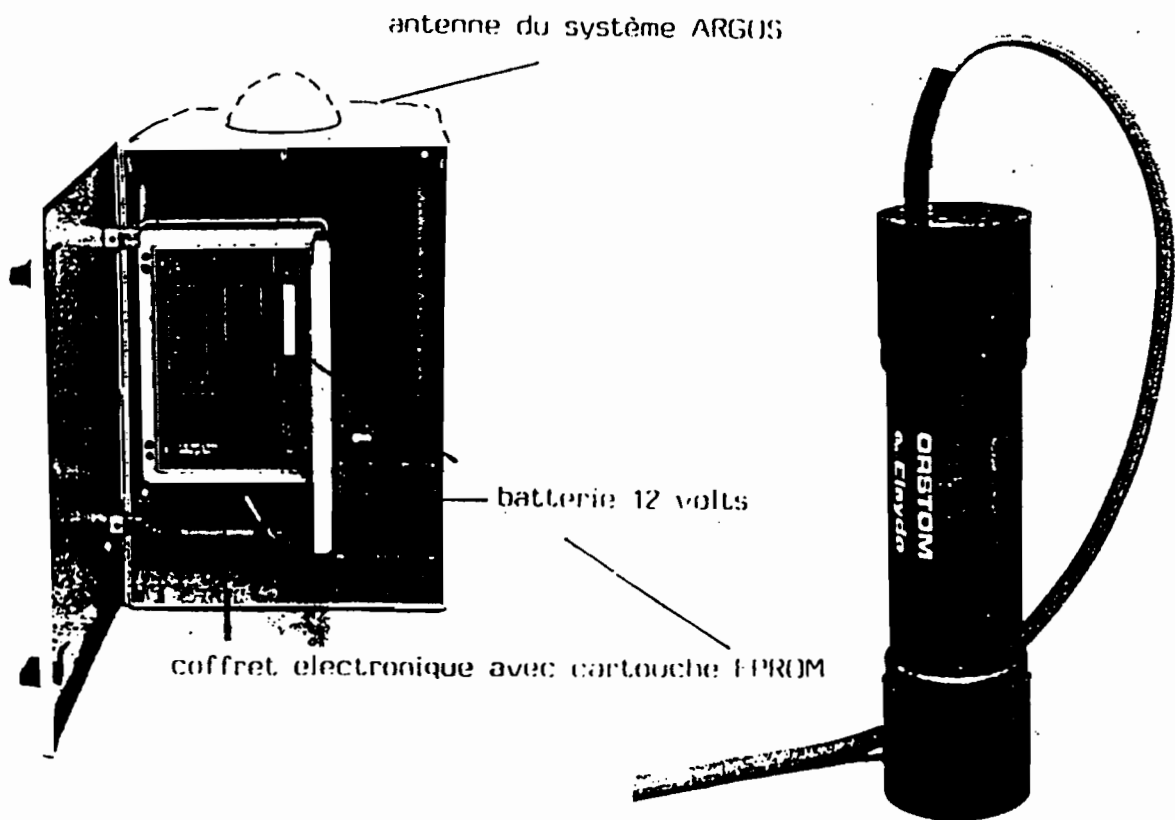


Fig.2b ARMOIRE LIMNIGRAPHIQUE CHLOE

Fig:2c SONDE IMMERSIBLE S P 1
(avec cable "Transmission et capillaire")

Les hauteurs d'eau enregistrées sur un limnigraphe CHLOE, de conception ORSTOM et de fabrication ELSYDE (fig. 2b). L'information est stockée sur cartouche EPROM et provient d'une sonde piézométrique immergée (SPI) (fig. 2c) après transformation par micro-processeur des traitements numériques du capteur relatifs à la hauteur d'eau et à la température de l'eau. Le SPI est noyé dans un puits de mesure comblé avec du gravier, en amont du radier. L'expérience des bassins sur Terres Noires de Haute Provence a montré un envasement du système préjudiciable à la qualité des mesures. Une prise d'eau (avec ou sans filtre) au niveau du milieu du radier, reliée à une enceinte fermée dans laquelle sera immergée le SPI devrait résoudre le problème. On prévoit également l'installation en parallèle d'un limnigraphe à flotteur de type traditionnel pour comparaison.

A la station secondaire (S2), la configuration du terrain ne permettait pas, au niveau des entreprises contactées, d'envisager des travaux de maçonneries en amont du couloir étroit aval reliant la roubine au ruisseau principal. Le choix s'est arrêté sur une station hydrométrique contrôlée par un déversoir triangulaire implanté quelques mètres seulement en amont du confluent. Le zéro du déversoir est à 50 cm au dessus du lit du cours d'eau principal. Un canal d'amenée de 5 m de longueur sur 1 m de largeur a été réalisé en maçonnerie et béton.

La lame mince du déversoir est constituée d'une tôle de 5 mm d'épaisseur boulonnée sur un cadre scellé dans la maçonnerie. Cette mobilité du déversoir permet un accès au canal et son nettoyage après engrèvement. En amont du canal, une plaque a été posée dans le but de limiter pour chaque événement crue le comblement du canal et laisser une hauteur de pelle suffisante au niveau du déversoir.

En rive gauche du canal, on a installé un limnigraphe à flotteur de type OTT X.

I-2-3 LES EQUIPEMENTS DE MESURE DES TRANSPORTS SOLIDES

1°) LES TRANSPORTS SOLIDES EN SUSPENSION

Sur la station principale, la mesure des transports solides doit se limiter à la seule mesure des transports en suspension dans un premier temps, par simples prélèvements au cours des crues, et dans une deuxième phase de financement, par l'installation d'un préleveur automatique du type Manning asservi au limnigraphe CHLOE. Un suivi de l'évolution du cours d'eau sur une cinquantaine de mètres en amont de la station doit permettre de préciser par des repères enfouis les éventuelles phases d'afouillement pouvant précéder un dépôt au cours de la crue.

Sur la station du petit bassin, on a disposé en rive droite du canal des prises de prélèvement amorçant par siphonnage à différents niveaux le remplissage de flacons de 1 litre pour échantillonnage des matières en suspension pendant la phase de montée de la crue; un système voisin d'échantillonnage est prévu pour la décrue sur la base d'un dispositif mécanique simple. Bien évidemment, la présence d'opérateurs doit permettre des prélèvements directs plus précis suivant les variations de l'hydrogramme. Enfin, un système de prélèvement concernant un seul échantillon moyen pondéré par le débit de la crue est en cours de construction; il prévoit une prise en amont du déversoir triangulaire (d'où le raccord dans la tôle sous le V), une conduite vers un système à augets de capacité d'un litre et un partiteur. Le basculement d'augets est enregistré par un appareil OEDIPE en contrôle (ou pour étalonnage) du limnigraphe OTT X.

En ce qui concerne le prélèvement automatique des MES déjà en fonctionnement pour les crues, son dispositif est sché-

maté sur la figure 4. Cet échantillonneur inventé par les chercheurs américains a déjà été utilisé par G. Bediot en 1960 en Tunisie.

L'appareil adapté dans la Combe Nègre est constitué de 4 tubes de prise d'eau, 4 tubes d'échappement d'air et des bouteilles à siphons. Sur le goulot de la bouteille est fixé un bouchon à deux trous où passent deux tubes de cuivre.

Les côtes d'amorçage et orifices d'échappement d'air sont représentées dans le tableau 1.

L'opération de prélèvement s'effectue de la manière suivante : Pendant la crue, lorsque le niveau d'eau atteint l'orifice de prise, l'eau monte dans le tube de prélèvement. Si l'élévation du niveau d'eau atteint le coude du siphon, l'écoulement amorce le siphon et commence à remplir la bouteille échantillonneuse. L'air s'échappe par l'autre siphon au fur et à mesure que la bouteille se remplit. Si le niveau d'eau atteint l'orifice d'échappement d'air, de l'air est piégé dans le tube d'échappement et empêche toute circulation dans le tube. Alors, le mécanisme de prélèvement pour cette bouteille s'arrête, qu'elle soit pleine ou non. L'opération de remplissage des autres bouteilles est similaire à la précédente si le niveau d'eau continue à monter et que l'eau atteigne les autres canules de prélèvement.

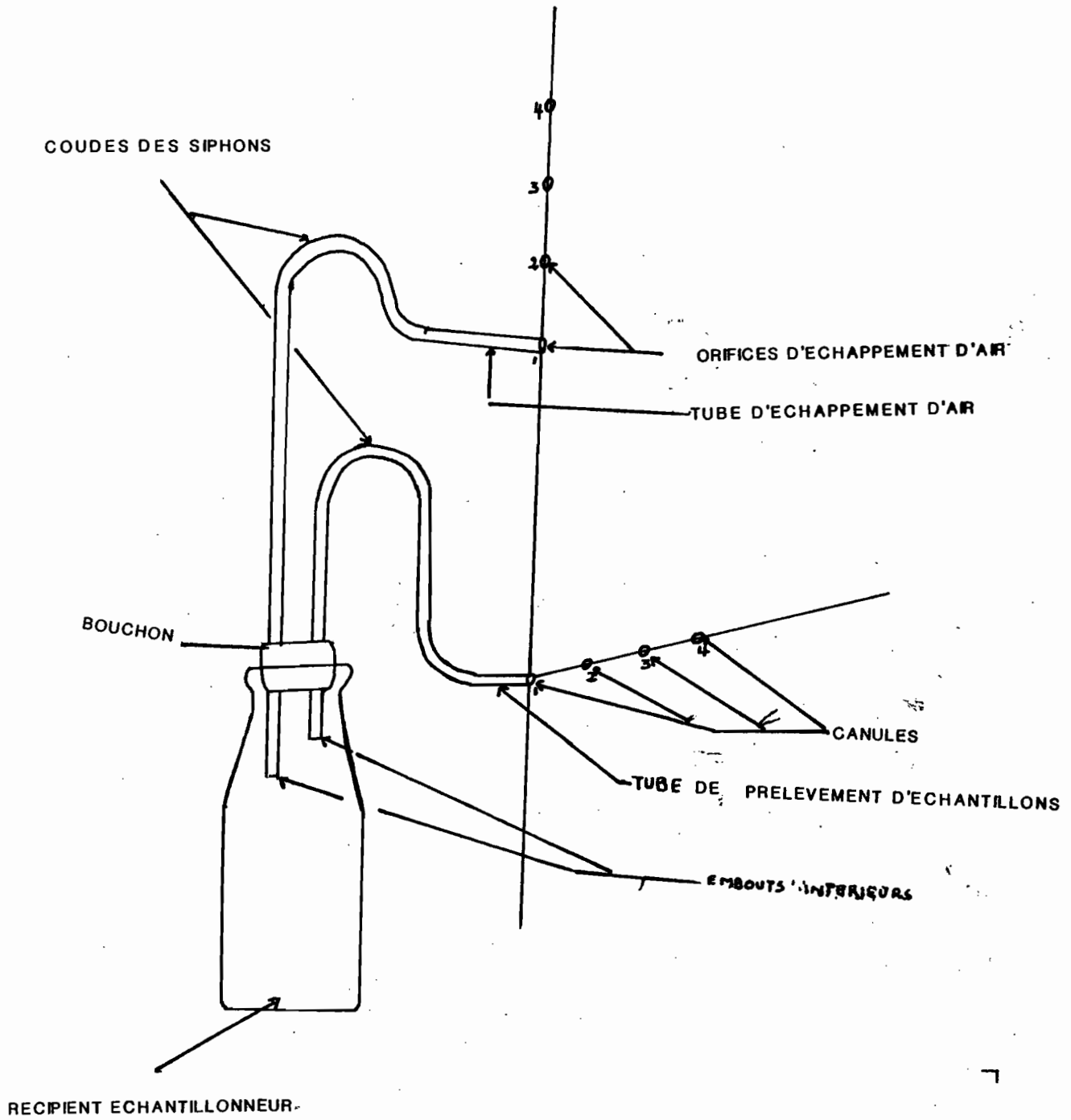
L'opération d'échantillonnage devrait bien se dérouler tant qu'il n'y a pas de perturbations aussi bien à la surface du plan d'eau que dans les tubes. Or il semble que ces perturbations soient assez fréquentes et que le fonctionnement normal décrit ci-dessus n'a presque pas été atteint à la S2.

En effet, de nombreuses crues dont le débit maximal était supérieur à celui du début et même de fin de remplissage de la première et voire de la deuxième bouteille sont passées

Fig-4

SCHEMA DU DISPOSITIF

DE L'ECHANTILLONNEUR AUTOMATIQUE DE LA COMBE NEGRE



N° des SYPHONS	COTE DEBUT DE PRELEVEMENT D'EAU cm	COTE ORIFICE ECHAPPEMENT D'AIR cm	DISTANCE entre cotes Idébut de PRISE D'EAU I et ORIFICE sortie AIR
1	306,5	314	7,5 cm
2	312	319,5	7,5 cm
3	321,5	329	7,5 cm
4	332	340	8 cm

**Tableau 1 : COTES DE DEBUT PRELEVEMENT D'ECHANTILLONS
COTES DES ORIFICES D'ECHAPPEMENT D'AIR**

sans qu'aucun échantillon ne soit prélevé. Aussi la bouteille N° 3 n'a pas été amorcée lors de la crue du 5/10/85 alors que la bouteille N° 4 a été remplie; de même, le débit maximal de la crue du 15/4/86 a atteint et dépassé le débit du début du remplissage de la bouteille N° 4 sans que celle-ci soit amorcée, la 3^e bouteille n'ayant par ailleurs prélevé que 90 ml d'eau. Ces anomalies de fonctionnement seraient dues à plusieurs causes:

En effet, l'échantillonnage est soumis à d'importantes variations de pression résultante des fluctuations de vitesse, de la turbulence, des vagues et des remous de surface (l'agitation de la surface de l'eau provoque un prélèvement intermittent). La vitesse du courant et la turbulence peuvent être tellement élevées que le remplissage n'ait pas le temps de s'amorcer. On pense également que le gel de février aurait touché les tubes et serait sans doute à l'origine du mauvais fonctionnement de l'échantillonneur pendant les crues de ce mois. En fait, ce type d'installation implique que l'on apporte un soin tout particulier à la position des tuyaux de prise d'air par rapport aux siphons et aux flacons.

2°) LES TRANSPORTS SOLIDES PAR CHARRIAGE

En amont de la station, à 20 et 50 m, deux pièges à sédiments ont été installés. Chacun est constitué de deux panneaux grillagés en fer déployé superposés et amovibles sur glissières en fer scellés dans la maçonnerie des contreforts. Une topographie détaillée du lit de la roubine permet de chiffrer les apports accumulés en amont de chaque piège après chaque crue. Ces pièges sont aujourd'hui à moitié remplis et le problème se posera rapidement de leur maintien, avec poursuite du stockage emmagasiné mais exportation vers la station aval des nouveaux apports d'éléments grossiers, ou de leur suppression, avec un déstockage progressif des matériaux vers la station hydrométrique. Ces solutions ne sont pas très satisfaisantes, puisque seuls les apports de quelques crues auront pu être

mesurés dans des conditions initiales naturelles et qu'il faut ensuite soit admettre un nouveau profil de la roubine par les apports grossiers ultérieurs au niveau de la station, soit attendre le nettoyage du lit et un retour aux conditions antérieures par une succession d'averses violentes, pas si nombreuses que cela dans la région. La première solution paraît devoir être retenue.

II - LES DONNEES HYDROPLUVIOMETRIQUE

II - LES DONNEES HYDROPLUVIOMETRIQUES

La campagne de mesure sur laquelle porte cette étude ne couvre complètement ni une année calendaire, ni une année hydrologique. Elle s'étend du 1er juillet 1985 au 30 juin 1986 pour la pluviométrie, et du 25 octobre 1985 au 17 avril 1986 pour l'hydrométrie de S2. De plus cette période comprend certaines lacunes qui ont été comblées dans la mesure du possible à partir d'observations sur des postes voisins.

II-1 LA PLUVIOMETRIE

L'étude des données pluviométriques mesurées dans la Combe de Mortiès est assez difficile compte tenu du nombre élevé des lacunes d'observations.

D'abord, les relevés aux pluviomètres ne sont pas faits tous les jours et rarement à la même heure (à cause de l'éloignement du personnel). Par conséquent, la hauteur de pluie au jour du relevé est parfois un cumul de plusieurs pluies journalières. Ensuite on a noté des absences d'observation dues à la disparition de certains pluviomètres (vandalisme) et au gel des pluviomètres en février et mars. Suite au gel, certains pluviomètres éclatés n'ont été remplacés que tardivement.

De ce qui précède, la détermination de la pluie journalière par poste et même la pluie moyenne sur le bassin s'avère délicate, ce d'autant plus que le pluviographe n'a pas bien fonctionné à cette période (mauvais fonctionnement dû sans doute au gel ou au blocage de l'un des augets).

Pour cette campagne, nous avons pensé présenter les hauteurs pluviométriques par poste sous forme de cumul jusqu'au jour de relevé (relevés non quotidiens), tout en les comparant à celles mesurées au pluviographe. L'annexe 1 contient les tableaux regroupant des hauteurs de pluie à l'état.

Pour la suite du travail, nous considérons les données du pluviographe qui couvrent la période allant du 1er juillet 1985 au 30 juin 1986, tout en les comparant à celles des pluviomètres afin de détecter et de corriger les anomalies. Le dépouillement des cartouches du pluviographe OEDIPE a été fait à partir du logiciel "Vauchel-Cochonneau". Les figures 3a, 3b, 3c et 3d donnent les pluviogrammes des averses des 5/10/85, 25/10/85, 17/2/86 et 15/4/86 qui sont quelques exemples de ce dépouillement (voir tableaux 2, 3, 4 et 5 correspondants).

Debut le 5/10/1985

Station : MORTI10A

5H

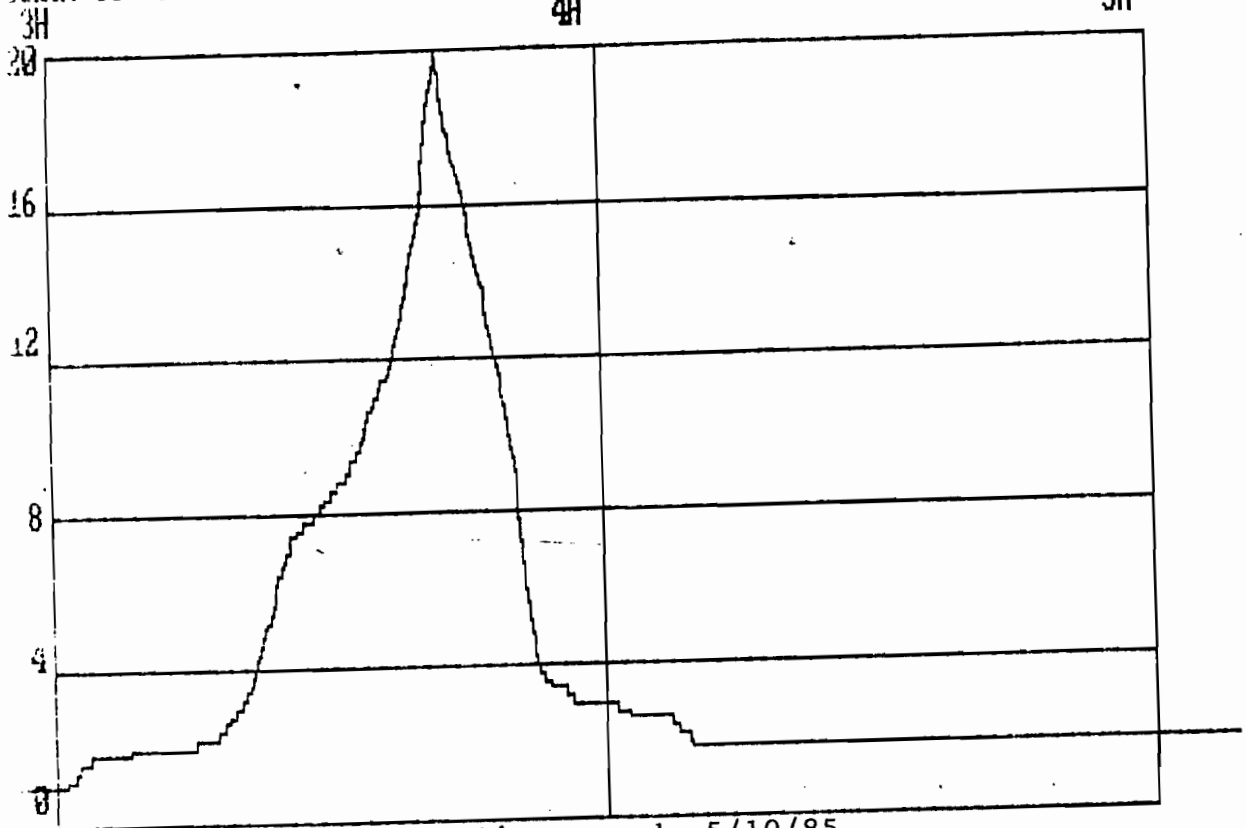


Figure 3a : pluviogramme de l'averse du 5/10/85

5/10/1985	0h50'32	51.0	1h50'32	51.2	3h 0'25	51.2	3h 1'17	51.4	3h 2' 9	51.6	3h 2'44	51
	3h 3'45	52.0	3h 8'11	52.2	3h15'11	52.4	3h17'46	52.6	3h18'14	52.8	3h18'50	53
	3h19'31	53.2	3h20'18	53.4	3h20'55	53.6	3h21'12	53.8	3h21'26	54.0	3h21'40	54
	3h21'54	54.4	3h22' 8	54.6	3h22'24	54.8	3h22'42	55.0	3h22'59	55.2	3h23'10	55
	3h23'28	55.6	3h23'40	55.8	3h23'52	56.0	3h24' 4	56.2	3h24'16	56.4	3h24'28	56
	3h24'42	56.8	3h25' 0	57.0	3h25'16	57.2	3h25'32	57.4	3h25'51	57.6	3h26'29	57
	3h27' 6	58.0	3h28'21	58.2	3h28'56	58.4	3h29'35	58.6	3h30'14	58.8	3h31' 7	59
	3h31'55	59.2	3h32'13	59.4	3h32'33	59.6	3h33' 3	59.8	3h33'27	60.0	3h33'50	60
	3h34' 3	60.4	3h34'20	60.6	3h34'36	60.8	3h34'57	61.0	3h35'15	61.2	3h35'38	61
	3h36' 8	61.6	3h36'37	61.8	3h36'55	62.0	3h37' 6	62.2	3h37'13	62.4	3h37'28	62
	3h37'39	62.8	3h37'51	63.0	3h38' 3	63.2	3h38'16	63.4	3h38'24	63.6	3h38'34	63
	3h38'43	64.0	3h38'51	64.2	3h38'59	64.4	3h39'10	64.6	3h39'18	64.8	3h39'26	65
	3h39'38	65.2	3h39'47	65.4	3h39'56	65.6	3h40' 4	65.8	3h40'12	66.0	3h40'19	66
	3h40'25	66.4	3h40'30	66.6	3h40'36	66.8	3h40'42	67.0	3h40'48	67.2	3h40'56	67
	3h41' 2	67.6	3h41' 7	67.8	3h41'11	68.0	3h41'16	68.2	3h41'20	68.4	3h41'24	68
	3h41'30	68.8	3h41'37	69.0	3h41'45	69.2	3h41'52	69.4	3h41'59	69.6	3h42' 7	69
	3h42'14	70.0	3h42'21	70.2	3h42'27	70.4	3h42'38	70.6	3h42'44	70.8	3h42'50	71
	3h42'55	71.2	3h43' 0	71.4	3h43' 6	71.6	3h43'11	71.8	3h43'17	72.0	3h43'26	72
	3h43'33	72.4	3h43'39	72.6	3h43'47	72.8	3h44' 1	73.0	3h44'19	73.2	3h44'33	73
	3h44'45	73.6	3h45' 1	73.8	3h45' 7	74.0	3h45'16	74.2	3h45'26	74.4	3h45'34	74
	3h45'41	74.8	3h45'50	75.0	3h45'58	75.2	3h46' 9	75.4	3h46'19	75.6	3h46'31	75
	3h46'40	76.0	3h46'50	76.2	3h47' 0	76.4	3h47'12	76.6	3h47'20	76.8	3h47'30	77
	3h47'37	77.2	3h47'47	77.4	3h47'55	77.6	3h48' 4	77.8	3h48'13	78.0	3h48'23	78
	3h48'33	78.4	3h48'47	78.6	3h48'56	78.8	3h49' 5	79.0	3h49'14	79.2	3h49'22	79
	3h49'29	79.6	3h49'36	79.8	3h49'42	80.0	3h49'51	80.2	3h49'57	80.4	3h50' 6	80
	3h50'13	80.8	3h50'20	81.0	3h50'27	81.2	3h50'32	81.4	3h50'37	81.6	3h50'41	81
	3h50'45	82.0	3h50'50	82.2	3h50'54	82.4	3h50'58	82.6	3h51' 2	82.8	3h51' 6	83
	3h51'11	83.2	3h51'15	83.4	3h51'19	83.6	3h51'24	83.8	3h51'28	84.0	3h51'32	84
	3h51'37	84.4	3h51'43	84.6	3h51'49	84.8	3h51'56	85.0	3h52' 2	85.2	3h52'10	85
	3h52'19	85.6	3h52'27	85.8	3h52'35	86.0	3h52'46	86.2	3h52'59	86.4	3h53'20	86
	3h54' 4	86.8	3h55'39	87.0	3h56'25	87.2	4h 1'21	87.4	4h 2'47	87.6	4h 7' 4	87
	4h 8' 1	88.0	4h 8'57	88.2	4h 9'27	88.4						

Tableau 2 : listing de dépouillement (averse du 5/10/85)

Debut le 25/10/1985

Station : MORTILOG



Figure 3b : pluviogramme de l'averse du 25/10/85

25/10/1985	0h47'37	90.6	0h49'35	90.8	0h51'33	91.0	0h53'55	91.2	0h55'42	91.4	0h56'41	91.4
	0h57'15	91.8	0h57'34	92.0	0h59'0	92.2	0h58'18	92.4	0h58'41	92.6	0h59'7	92.6
	0h59'35	93.0	1h0'18	93.2	1h0'42	93.4	1h0'56	93.6	1h1'15	93.8	1h1'29	94.0
	1h2'3	94.2	1h3'14	94.4	1h4'55	94.6	1h5'56	94.8	1h6'44	95.0	1h7'38	95.2
	1h8'25	95.4	1h9'10	95.6	1h10'19	95.8	1h11'11	96.0	1h12'15	96.2	1h13'14	96.4
	1h14'24	96.6	1h15'16	96.8	1h16'36	97.0	1h17'32	97.2	1h18'17	97.4	1h19'32	97.6
	1h18'52	97.8	1h19'20	98.0	1h20'49	98.2	1h22'17	98.4	1h24'56	98.6	1h26'6	98.8
	1h29'4	99.0	1h32'49	99.2	1h35'43	99.4	1h39'57	99.6	1h43'48	99.8	1h45'42	100.0
	1h47'39	100.2	1h48'36	100.4	1h49'52	100.6	1h50'46	100.8	1h52'6	101.0	1h53'54	101.2
	1h55'19	101.4	1h55'39	101.6	1h56'11	101.8	1h56'49	102.0	1h57'11	102.2	1h57'30	102.4
	1h58'30	102.6	1h59'51	102.8	2h1'45	103.0	2h3'39	103.2	2h5'16	103.4	2h8'25	103.6
	2h7'3	103.8	2h8'58	104.0	2h15'59	104.2	2h31'27	104.4	2h51'13	104.6	2h10'59	104.8
	2h29'5	104.8	2h39'17	105.0	2h41'26	105.2	2h43'56	105.4	2h47'3	105.6	2h50'41	105.8
	2h54'0	106.0	2h57'21	106.2	2h0'36	106.4	2h5'4	106.6	2h8'8	106.8	2h10'57	107.0
	2h13'14	107.2	2h16'31	107.4	2h19'21	107.6	2h22'14	107.8	2h24'2	108.0	2h26'13	108.2
	2h28'21	108.4	2h30'25	108.6	2h32'36	108.8	2h35'53	109.0	2h40'6	109.2	2h45'54	109.4
	2h53'31	109.6	2h2'45	109.8	2h9'35	110.0	2h14'39	110.2	2h18'1	110.4	2h23'13	110.6
	2h27'55	110.8	2h33'38	111.0	2h36'40	111.2	2h42'38	111.4	2h48'40	111.6	2h59'42	111.8

26/10/1985	0h6'51	112.0	0h12'13	112.2	0h15'53	112.4	0h18'14	112.6	0h20'55	112.8	0h24'19	113.0
	0h28'32	113.2	0h33'59	113.4	0h37'47	113.6	0h42'28	113.8	0h47'24	114.0	0h51'53	114.2
	0h53'48	114.4	0h57'11	114.6	0h59'0	114.8	1h2'59	115.0	1h7'2	115.2	1h11'48	115.4
	1h15'15	115.6	1h21'15	115.8	1h27'6	116.0	1h32'57	116.2	1h37'8	116.4	1h43'12	116.6
	1h45'32	116.8	1h49'47	117.0	1h55'22	117.2	2h1'46	117.4	2h5'48	117.6	2h8'55	117.8
	2h11'21	118.0	2h14'27	118.2	2h16'34	118.4	2h19'41	118.6	2h22'2	118.8	2h26'34	119.0
	2h29'20	119.2	2h32'35	119.4	2h35'19	119.6	2h38'24	119.8	2h40'57	120.0	2h44'30	120.2
	2h47'47	120.4	2h50'46	120.6	2h53'3	120.8	2h56'10	121.0	2h58'35	121.2	3h1'34	121.4
	3h2'45	121.6	3h3'27	121.8	3h4'0	122.0	3h5'20	122.2	3h7'1	122.4	3h9'33	122.6
	3h11'15	122.8	3h13'19	123.0	3h15'35	123.2	3h18'14	123.4	3h19'33	123.6	3h21'43	123.8
	3h24'13	124.0	3h26'19	124.2	3h27'56	124.4	3h30'2	124.6	3h31'24	124.8	3h33'59	125.0
	3h35'40	125.2	3h38'25	125.4	3h42'42	125.6	3h46'48	125.8	3h49'9	126.0	3h54'45	126.2
	4h4'3	126.4	4h9'47	126.6	4h11'48	126.8	4h14'23	127.0	4h17'0	127.2	4h20'24	127.4
	4h23'18	127.6	4h26'21	127.8	4h28'43	128.0	4h31'50	128.2	4h35'22	128.4	4h39'38	128.6
	4h42'6	128.8	4h44'37	129.0	4h46'24	129.2	4h49'44	129.4	4h51'44	129.6	4h53'19	129.8
	4h55'49	130.0	4h59'19	130.2	5h2'4	130.4	5h3'50	130.6	5h5'40	130.8	5h8'48	131.0
	5h10'39	131.2	5h12'36	131.4	5h14'51	131.6	5h16'57	131.8	5h19'41	132.0	5h23'42	132.2
	5h28'27	132.4	5h33'45	132.6	5h39'11	132.8	5h43'27	133.0	5h47'34	133.2	5h54'12	133.4
	6h14'23	133.6	6h24'57	133.8	6h31'38	134.0	7h4'20	134.2	7h26'6	134.4	8h16'51	134.6
	8h43'55	134.8	8h51'33	135.0	8h52'34	135.2	8h56'44	135.4	9h11'36	135.6	9h29'55	135.8
	9h39'14	136.0	9h56'20	136.2	10h49'52	136.4	15h24'57	136.6	15h34'50	136.8	15h44'43	137.0
	15h51'4	137.0	15h55'41	137.2	15h59'31	137.4	16h4'58	137.6	16h13'38	137.8	16h19'17	138.0
	16h29'10	138.2	16h36'50	138.4	16h44'46	138.6	16h53'3	138.8	16h58'31	139.0	17h1'29	139.2
	17h4'9	139.4	17h7'52	139.6	17h14'56	139.8	17h19'23	140.0	17h27'29	140.2	17h36'28	140.4
	17h29'11	140.6	17h32'43	140.8	17h36'59	141.0	17h43'13	141.2	17h53'34	141.4	18h7'35	141.6
	18h11'49	141.8	18h14'34	142.0	18h20'44	142.2	18h31'11	142.4	18h27'2	142.6	18h31'24	142.8
	18h39'25	143.0	18h50'7	143.2	19h26'7	143.4						

Tableau 3 : LISTING DE DEPOUILLEMENT (Averses des 25 & 26/10/85)

Debut le 16/ 2/1986

Station : MORTI10B

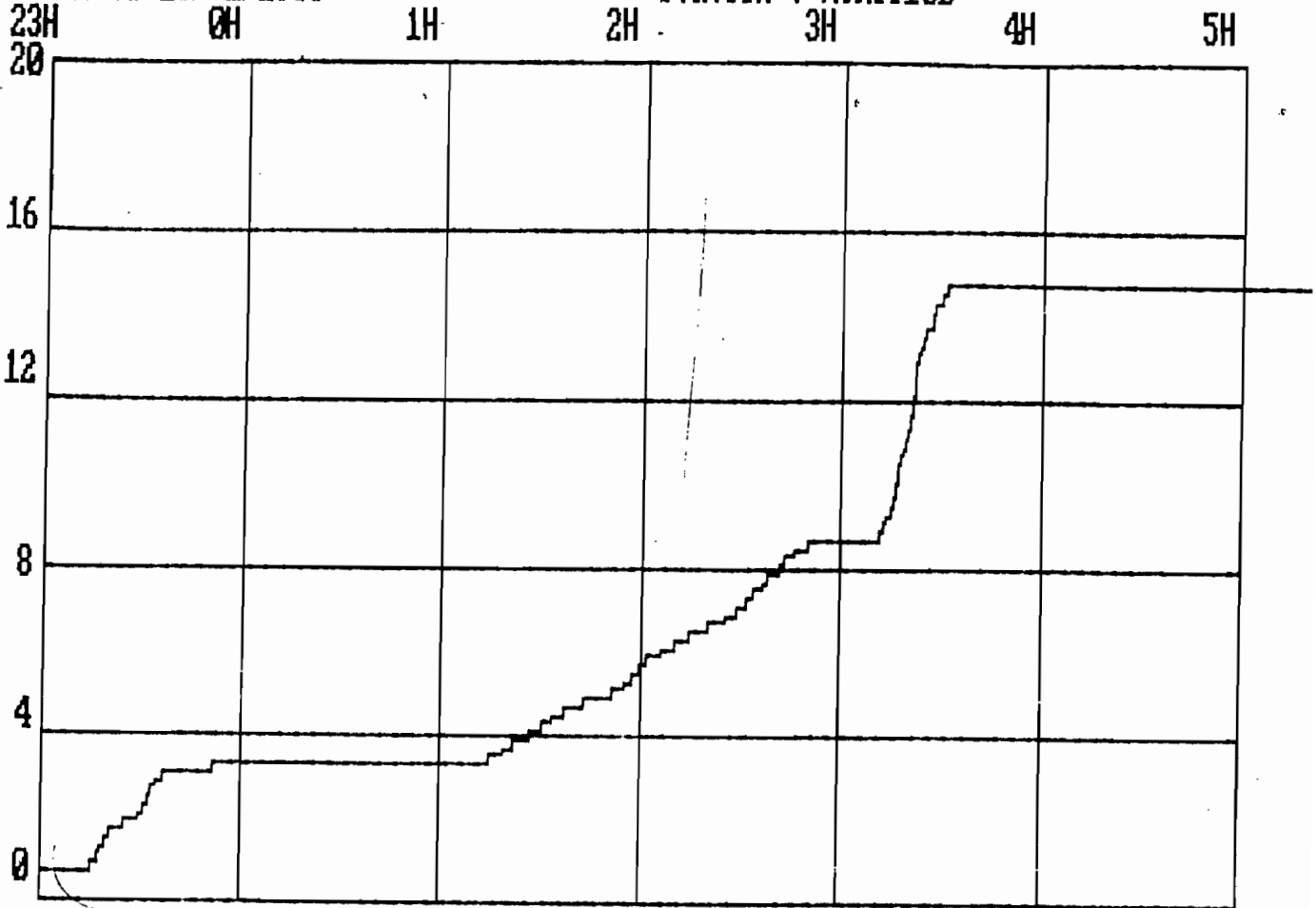


Figure 3c : Pluviogramme de l'averse du 16/2/86

16/ 2/1986	23h12'53	140.8	23h15' 3	141.0	23h17'13	141.2	23h18' 8	141.4	23h19'14	141.6	23h20'56	141.8
	23h24'54	142.0	23h29' 5	142.2	23h30'25	142.4	23h31'43	142.6	23h33' 3	142.8	23h34'27	143.0
	23h36'20	143.2	23h51'32	143.4								
17/ 2/1986	1h10'47	143.4	1h15' 7	143.6	1h19'27	143.8	1h21'57	144.0	1h26'54	144.2	1h30'43	144.4
	1h33'39	144.6	1h37'35	144.8	1h43' 9	145.0	1h51'24	145.2	1h55' 0	145.4	1h57'20	145.6
	1h59' 5	145.8	2h 1'16	146.0	2h 5'35	146.2	2h 9'45	146.4	2h14'15	146.6	2h20' 1	146.8
	2h24'52	147.0	2h28'59	147.2	2h31' 5	147.4	2h34' 0	147.6	2h36'17	147.8	2h38'21	148.0
	2h40'57	148.2	2h43' 6	148.4	2h45'24	148.6	2h49'46	148.8	3h11' 3	149.0	3h13' 4	149.2
	3h13'57	149.4	3h14'51	149.6	3h15'20	149.8	3h15'59	150.0	3h16'26	150.2	3h16'52	150.4
	3h17'31	150.6	3h18'11	150.8	3h18'45	151.0	3h19'17	151.2	3h19'50	151.4	3h20'29	151.6
	3h20'50	151.8	3h21'10	152.0	3h21'27	152.2	3h21'46	152.4	3h21'59	152.6	3h22'24	152.8
	3h22'44	153.0	3h23' 6	153.2	3h23'37	153.4	3h24'17	153.6	3h25' 9	153.8	3h26'35	154.0
	3h27'12	154.2	3h28' 6	154.4	3h30' 2	154.6	3h31'32	154.8	4h37'37	154.8	4h37'37	154.8

Tableau 4 : listing de dépouillement des averses des 15 et 16/4/86

Debut le 15/ 4/1986

Station : MORTI10C

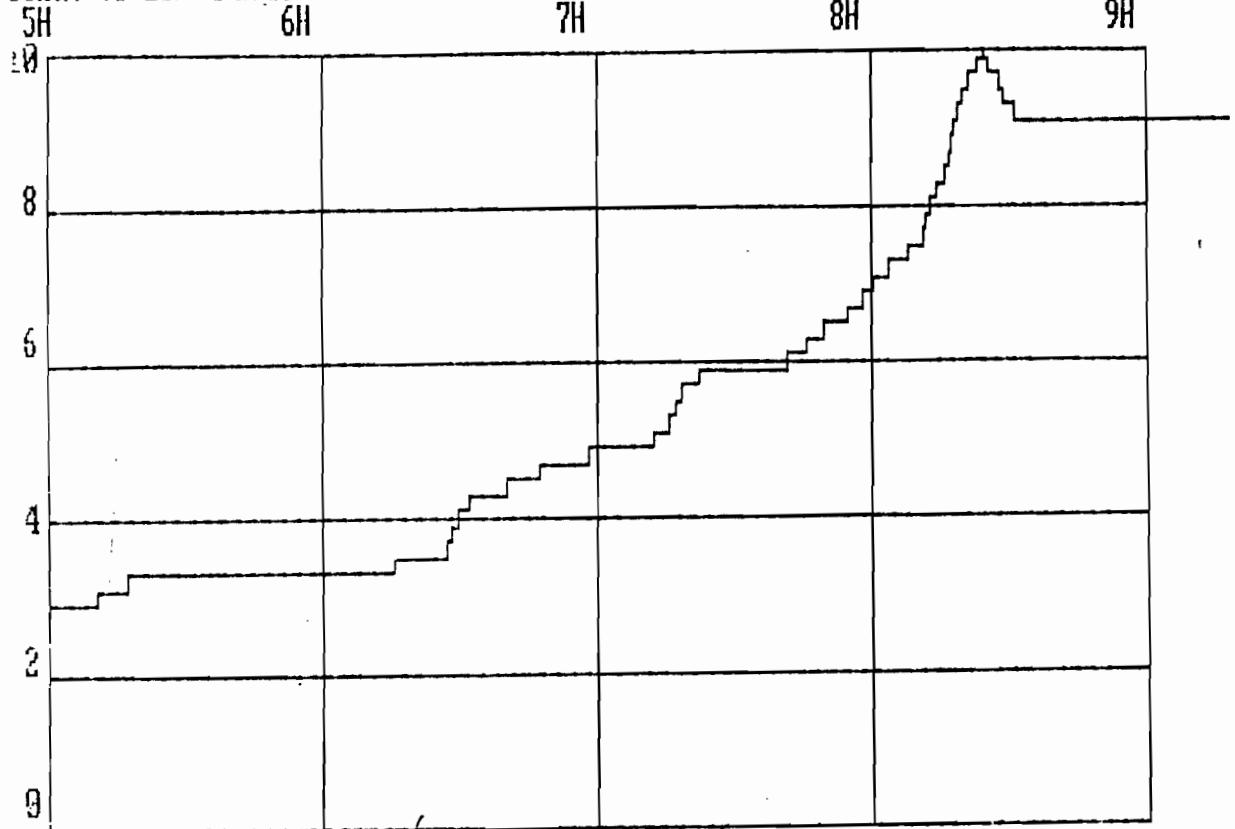


Figure 3 d : Fluviogramme (Averse du 15/4/86)

15/ 4/1986	5h 3' 41	0.2	5h10' 18	0.4	5h16' 55	0.6	6h15' 58	0.8	6h27' 8	1.0	6h28' 21	1
	6h29' 41	1.4	6h31' 54	1.6	6h40' 9	1.8	6h47' 17	2.0	6h58' 23	2.2	7h12' 38	2
	7h15' 43	2.6	7h17' 17	2.8	7h18' 57	3.0	7h22' 28	3.2	7h41' 44	3.4	7h45' 57	3
	7h49' 40	3.8	7h54' 59	4.0	7h58' 30	4.2	8h 0' 36	4.4	8h 3' 44	4.6	8h 8' 26	4
	8h11' 12	5.0	8h12' 7	5.2	8h12' 58	5.4	8h14' 2	5.6	8h16' 14	5.8	8h17' 5	6
	8h17' 35	6.2	8h17' 58	6.4	8h19' 7	6.6	8h19' 58	6.8	8h21' 52	7.0	8h23' 13	7
	8h24' 30	7.4	8h25' 38	7.6	8h27' 58	7.8	8h29' 12	8.0	8h31' 42	8.2	12h 7' 40	8
	12h10' 2	8.4	12h12' 24	8.6	12h13' 38	8.8	12h15' 20	9.0	12h18' 4	9.2	12h21' 17	9
	12h23' 51	9.6	12h25' 49	9.8	13h12' 50	10.0	14h37' 25	10.0	14h42' 15	10.2	14h47' 5	10
	14h49' 42	10.6	15h 5' 22	10.8	15h 6' 5	11.0	15h 8' 6	11.2	15h40' 16	11.4	16h23' 16	11
	17h23' 16	11.6	19h36' 16	11.6	19h52' 18	11.8	20h 8' 20	12.0	20h46' 57	12.2	20h48' 13	12
	20h49' 5	12.6	20h49' 54	12.8	20h50' 57	13.0	20h52' 2	13.2	20h53' 12	13.4	20h53' 45	13
	20h54' 30	13.8	20h55' 6	14.0	20h55' 41	14.2	20h56' 14	14.4	20h56' 40	14.6	20h56' 51	14
	20h57' 1	15.0	20h57' 14	15.2	20h57' 26	15.4	20h57' 41	15.6	20h57' 56	15.8	20h58' 13	16
	20h58' 29	16.2	20h58' 39	16.4	20h58' 49	16.6	20h59' 2	16.8	20h59' 20	17.0	20h59' 33	17
	20h59' 49	17.4	21h 0' 5	17.6	21h 0' 19	17.8	21h 0' 29	18.0	21h 0' 38	18.2	21h 0' 51	18
	21h 1' 14	18.6	21h 1' 32	18.8	21h 1' 46	19.0	21h 1' 56	19.2	21h 2' 9	19.4	21h 2' 22	19
	21h 2' 31	19.8	21h 2' 40	20.0	21h 2' 52	20.2	21h 3' 3	20.4	21h 3' 23	20.6	21h 3' 42	20
	21h 4' 7	21.0	21h 4' 34	21.2	21h 5' 15	21.4	21h 5' 58	21.6	21h 6' 53	21.8	21h 7' 53	22
	21h 9' 3	22.2	21h10' 27	22.4	21h11' 50	22.6	21h13' 18	22.8	21h14' 11	23.0	21h14' 45	23
	21h15' 40	23.4	21h16' 48	23.6	21h19' 55	23.8	21h22' 9	24.0	21h23' 20	24.2	21h24' 43	24
	21h26' 40	24.6	21h28' 1	24.8	21h30' 27	25.0	21h31' 57	25.2	21h33' 42	25.4	21h36' 19	25
	21h39' 29	25.8	21h42' 27	26.0	21h46' 53	26.2						
16 / 1986	14h54' 4	26.2	14h55' 29	26.4	14h56' 54	26.6	14h58' 16	26.8	15h 1' 11	27.0	15h 3' 10	27
	15h 6' 17	27.4	15h13' 31	27.6	15h15' 24	27.8	15h16' 23	28.0	15h18' 6	28.2	15h20' 24	28
	18h45' 32	28.4	18h47' 21	28.6	18h49' 10	28.8						

Tableau 5 : listing de dépouillement (averses des 15 et 16 /4/86)

Il se dégage de façon générale de ces pluviogrammes deux caractéristiques principales:

a) Les pluies d'hiver s'étendent sur plusieurs heures et ont dans l'ensemble de faibles intensités

b) Les pluies de printemps, d'été et même de l'automne sont souvent violentes, tombant sous forme d'orage de courte durée (de l'ordre de l'heure et parfois moins).

On peut d'ores et déjà dire que les formes des hydrogrammes des crues risquent de beaucoup varier.

Estimation des pluies journalières

Pour combler les lacunes d'observations des pluies de la Combe de Mortiés, nous avons déterminé, par la méthode des moindres carrés, des droites de régression entre les hauteurs pluviométriques journalières de Mortiés et celle des postes les plus proches, à savoir le bassin versant de la Jasse (ORSTOM), le poste de St Jean de Cuculles de Mr Calmet et le poste de St Mathieu de Trévières (Météorologie) pour les périodes où les observations sont fiables. Il s'agit, pour situer le lecteur sur les différents tableaux, des périodes allant du 11 au 31 janvier 1986, puis du 11 avril au 15 mai de la même année pour ce qui est de la Jasse, et du 1er juillet 1985 au 31 janvier 1986, puis du 11 avril 1986 au 30 juin de la même année pour ce qui est de St Jean de Cuculles et de St Mathieu de Trévières.

Les hauteurs de pluie journalières (annexe, tab. 1) ont été déterminées à partir des listings de dépouillement des cartouches OEDIPE de la Jasse et de Mortiés. L'ajustement globalement acceptable pour les hauteurs journalières supérieures à 1 mm montre tout de même un grand écart entre la droite d'ajustement pour la pluie du 6/5/86, de hauteur 36,4 mm pour la Jasse alors qu'elle n'est que de 5,8 mm pour Mortiés (annexe I). Cet-

te grande différence serait due soit à l'influence du Pic St Loup (l'hétérogénéité reste très visible même si elle est moins marquée pour les autres jours), ou alors vérifierait tout simplement une des caractéristiques des pluies ci-dessus mentionnées, en l'occurrence celle des pluies orageuses, ponctuelles et localisées.

En annexe I, les tableaux 2 et 3 contiennent les pluies journalières de St Mathieu de Trévières de 1985 à 1986 et les tableaux 4 et 5, celles de St Jean de Cuculles pour les mêmes années.

Les droites de régression ajustées à l'aide de la méthode des moindres carrés entre les pluies de Mortiès et celles de St Mathieu de Trévières d'une part, les pluies de Mortiès et St Jean de Cuculles d'autre part sont assez significatives (figure 4a et 4b). Seulement, compte tenu de l'éloignement du poste pluviométrique de St Mathieu de Trévières et sa situation plutôt sur le flanc sud-est du Pic, nous avons retenu la corrélation établie entre les pluies journalières de Mortiès et celles de St Jean de Cuculles, poste plus proche et situé sur le même flanc du Pic que la combe de Mortiès. Le coefficient de corrélation est de 0,829 ; il y aurait une très bonne corrélation si la hauteur de pluie journalière était déterminée à la même heure aux deux postes, ce qui a été rarement le cas. Aussi, on a constaté beaucoup d'arrondis et l'absence de pluie de hauteur inférieure à 2 mm.

Notons que les pluies journalières de la Combe de Mortiès estimées ne concernent cependant que 5 pluies de hauteur supérieure à 1 mm (mars et avril) sur la période considérée. Le tableau 6 regroupe les hauteurs de pluie journalières de juillet 1985 à juin 1986.

Il est tombé 218,2 mm de pluie durant les 6 derniers mois de l'année 1985 et 319 mm durant les 6 premiers mois de l'année 1986, soit un total de 537,2 mm pour les 12 mois. Le maximum journalier est de 37,4 mm le 4/10/85.

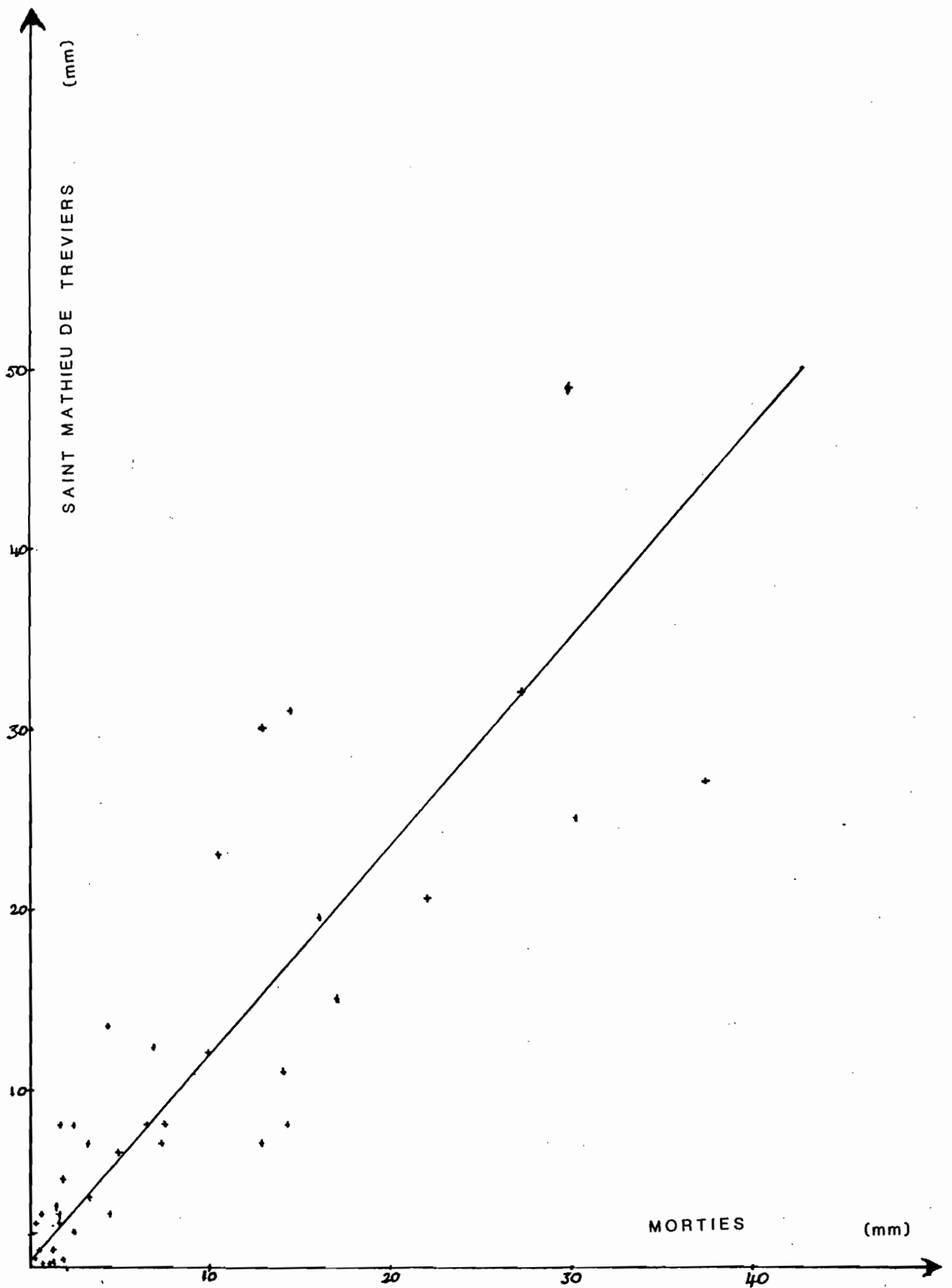


Fig-4a

CORRELATION ENTRE PLUIES JOURNALIERES
DE SAINT MATHIEU DE TREVIERs ET DE MORTIES

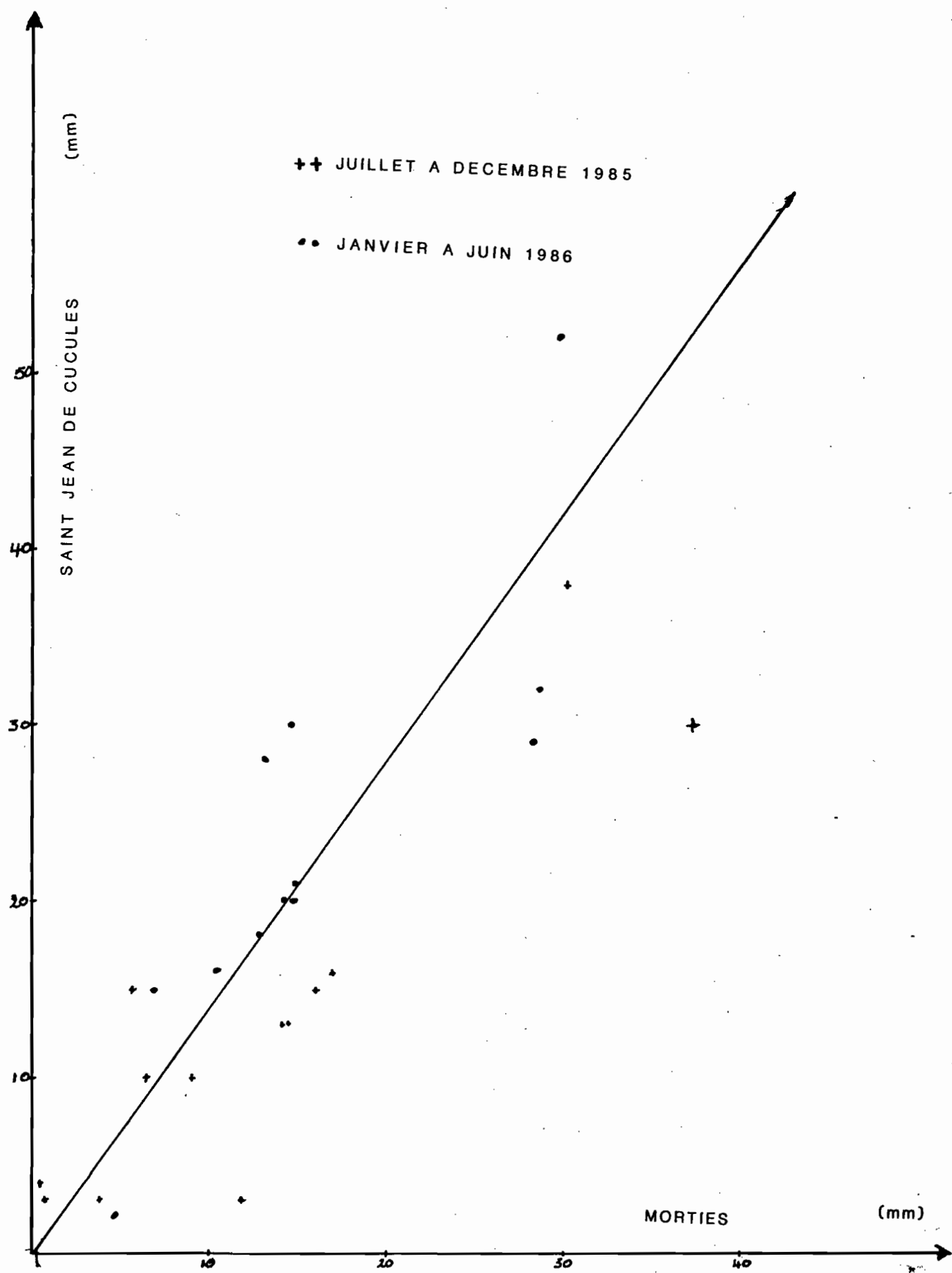


Fig-4b CORRELATION ENTRE PLUIES JOURNALIERES DE SAINT JEAN DE CUCULES ET DE MORTIES

II-2 L'HYDROMETRIE DE LA COMBE NEGRE

Les enregistrements limnigraphes couvrent la période allant du 25 octobre 1985 au 17 avril 1986, avec des lacunes en décembre et en janvier.

La formule d'étalonnage du déversoir retenue est celle de Gourley et Grimp (A. Lencastre 1966, P.162 et 374) :

$$Q = 1.32 \operatorname{tg} \alpha h^{e-47}$$

avec :

Q = débit en m^3/s

h = charge sur le sommet en m

α = angle au sommet du déversoir

or,

$$\alpha = 90^\circ$$

$$\text{Donc } Q = 1.32 h^{e-47}$$

Deux jaugeages ont été effectués par capacité :

Le 7/4/86 $H = 302 \text{ cm}$ $Q = 0,122 \text{ l/s}$

Le 15/4/86 $H = 304,4 \text{ cm}$ $Q = 0,769 \text{ l/s}$

Le débit calculé pour chacune de ces côtes est

$H = 0,020 \text{ m}$ $Q = 0,084 \text{ l/s}$

$H = 0,043 \text{ m}$ $Q = 0,556 \text{ l/s}$

Bien que l'erreur entre ces débits mesurés et les débits théoriques soit de l'ordre de 30 %, nous avons pensé que deux jaugeages étaient suffisants pour modifier la courbe de tarage du déversoir.

Cette courbe de tarage, tracée à partir du logiciel Hydrom est représentée dans les figures 5a et 5b. Le barème d'étalonnage des tableaux 7a et 7b a également été établi à partir du logiciel Hydrom.

Fig:5a4352595002-1 YORGUES AMONT a DEVERSOIR PETIT BASSIN

Valide du 10/10/1985 a 12H00 au 31/12/1986 a 24H00

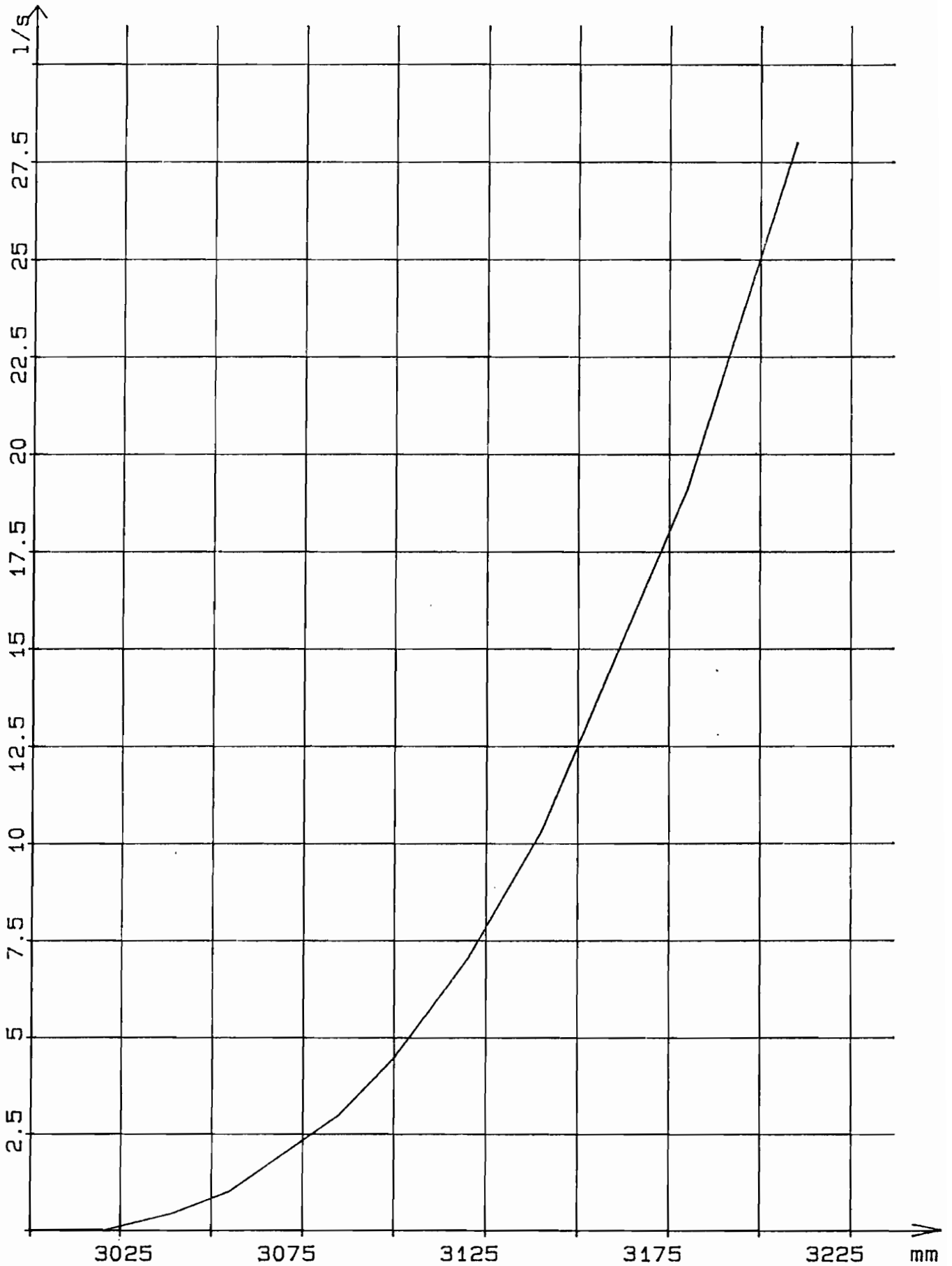
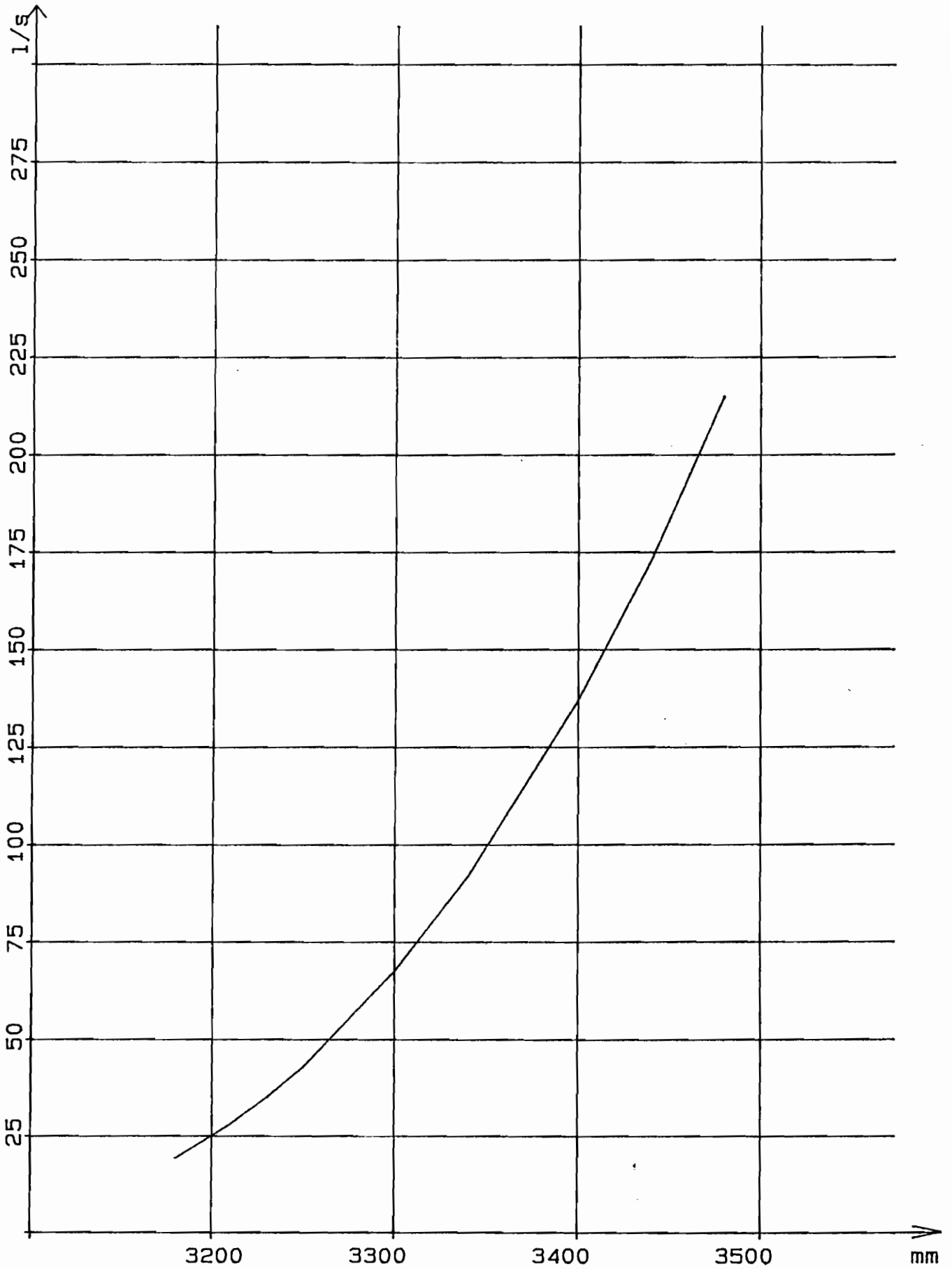


Fig:5b 4352595002-1 YORGUES AMONT a DEVERSOIR PETIT BASSIN
Valide du 10/10/1985 a 12H00 au 31/12/1986 a 24H00



Capteur : 4352595002-1
Station : DEVERSOIR PETIT BASSIN
Riviere : YORGUES AMONT
Tarage valide du 10/10/1985 à 12H00 au 31/12/1986 à 24H00
de +3000 MM a +3500 MM

Debits en l

MM I	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9 I
0I	.000	.004	.008	.012	.016	.020	.024	.028	.032	.036I
10I	.040	.044	.048	.052	.056	.060	.064	.068	.072	.076I
20I	.080	.099	.119	.138	.158	.177	.197	.216	.236	.255I
30I	.275	.294	.314	.333	.353	.372	.392	.411	.431	.450I
40I	.470	.506	.543	.580	.616	.653	.690	.726	.763	.800I
50I	.836	.873	.910	.946	.983	1.02	1.09	1.15	1.22	1.28I
60I	1.35	1.42	1.48	1.55	1.61	1.68	1.75	1.81	1.88	1.94I
70I	2.01	2.08	2.14	2.21	2.27	2.34	2.41	2.47	2.54	2.60I
80I	2.67	2.74	2.80	2.87	2.93	3.00	3.10	3.20	3.30	3.39I
90I	3.49	3.59	3.69	3.79	3.89	3.99	4.09	4.18	4.28	4.38I
100I	4.48	4.61	4.73	4.86	4.99	5.12	5.24	5.37	5.50	5.62I
110I	5.75	5.88	6.00	6.13	6.26	6.39	6.51	6.64	6.77	6.89I
120I	7.02	7.18	7.35	7.51	7.68	7.84	8.00	8.17	8.33	8.50I
130I	8.66	8.82	8.99	9.15	9.32	9.48	9.64	9.81	9.97	10.1I
140I	10.3	10.5	10.7	11.0	11.2	11.4	11.6	11.8	12.1	12.3I
150I	12.5	12.7	12.9	13.2	13.4	13.6	13.8	14.0	14.3	14.5I
160I	14.7	14.9	15.1	15.4	15.6	15.8	16.0	16.2	16.5	16.7I
170I	16.9	17.1	17.3	17.6	17.8	18.0	18.2	18.4	18.7	18.9I
180I	19.1	19.4	19.7	20.0	20.3	20.6	20.9	21.2	21.5	21.8I
190I	22.1	22.4	22.7	23.0	23.3	23.6	23.9	24.1	24.4	24.7I
200I	25.0	25.3	25.6	25.9	26.2	26.5	26.8	27.1	27.4	27.7I
210I	28.0	28.4	28.7	29.1	29.4	29.8	30.1	30.5	30.8	31.2I
220I	31.5	31.9	32.2	32.6	32.9	33.3	33.6	34.0	34.3	34.7I
230I	35.0	35.4	35.8	36.2	36.6	37.0	37.4	37.8	38.2	38.6I
240I	39.0	39.4	39.8	40.2	40.6	41.0	41.4	41.8	42.2	42.6I
250I	43.0	43.5	44.0	44.5	45.0	45.5	45.9	46.4	46.9	47.4I
260I	47.9	48.4	48.9	49.4	49.9	50.4	50.8	51.3	51.8	52.3I
270I	52.8	53.3	53.8	54.3	54.8	55.3	55.7	56.2	56.7	57.2I
280I	57.7	58.2	58.7	59.2	59.7	60.2	60.6	61.1	61.6	62.1I
290I	62.6	63.1	63.6	64.1	64.6	65.1	65.5	66.0	66.5	67.0I

Tableau 7a

Capteur : 4352595002-1

Station : DEVERSOIR PETIT BASSIN

Rivière : YORGUES AMONT

Tarage valide du 10/10/1985 à 12H00 au 31/12/1986 à 24H00
de +3000 MM a +3500 MM

Debits en l

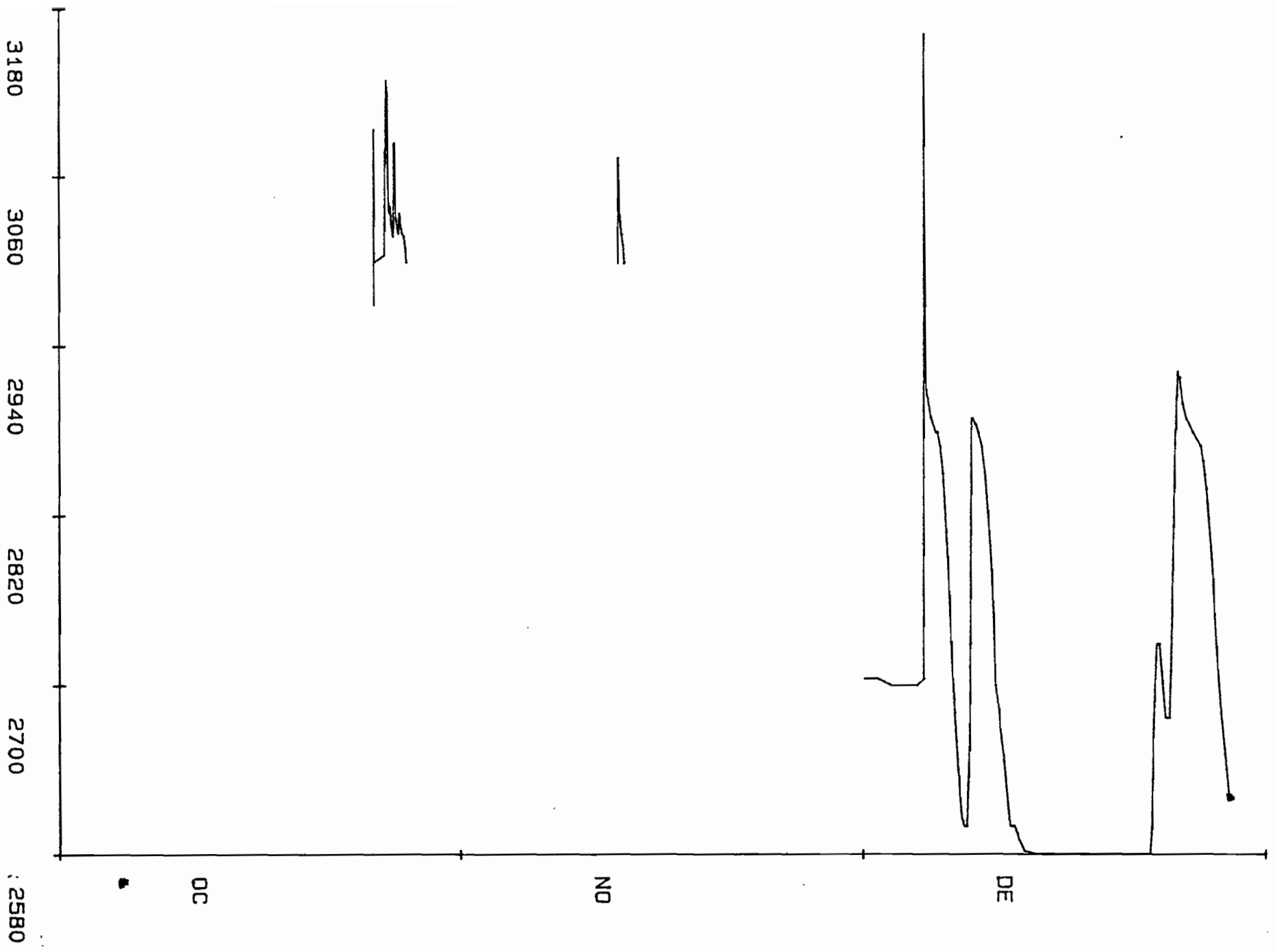
MM I	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	I
300I	67.5	68.1	68.7	69.3	69.9	70.6	71.2	71.8	72.4	73.0	73.0I
310I	73.6	74.2	74.8	75.4	76.0	76.7	77.3	77.9	78.5	79.1	79.1I
320I	79.7	80.3	80.9	81.5	82.1	82.8	83.4	84.0	84.6	85.2	85.2I
330I	85.8	86.4	87.0	87.6	88.2	88.9	89.5	90.1	90.7	91.3	91.3I
340I	91.9	92.7	93.4	94.2	94.9	95.7	96.4	97.2	97.9	98.7	98.7I
350I	99.4	100.	101.	102.	102.	103.	104.	105.	105.	106.	106.I
360I	107.	108.	108.	109.	110.	111.	111.	112.	113.	114.	114.I
370I	115.	115.	116.	117.	118.	118.	119.	120.	121.	121.	121.I
380I	122.	123.	124.	124.	125.	126.	127.	127.	128.	129.	129.I
390I	130.	130.	131.	132.	133.	133.	134.	135.	136.	136.	136.I
400I	137.	138.	139.	140.	141.	142.	142.	143.	144.	145.	145.I
410I	146.	147.	148.	149.	150.	151.	151.	152.	153.	154.	154.I
420I	155.	156.	157.	158.	159.	160.	160.	161.	162.	163.	163.I
430I	164.	165.	166.	167.	168.	169.	169.	170.	171.	172.	172.I
440I	173.	174.	175.	176.	177.	178.	179.	180.	181.	183.	183.I
450I	184.	185.	186.	187.	188.	189.	190.	191.	192.	193.	193.I
460I	194.	195.	196.	197.	198.	199.	200.	201.	202.	204.	204.I
470I	205.	206.	207.	208.	209.	210.	211.	212.	213.	214.	214.I
480I	215.	216.	217.	219.	220.	221.	222.	223.	224.	225.	225.I
490I	227.	228.	229.	230.	231.	232.	233.	235.	236.	237.	237.I
500I	238.	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****I

Tableau 7b

Les courbes de variation des cotes instantanées des tableaux 8a, 8b et 8c (annexe II), tracées à l'aide du logiciel Hydrom sont représentées sur les figures 6a et 6b. Les débits correspondants sont donnés dans les tableaux 9a, 9b et 9c (annexe II).

Notons que les cotes inférieures à 300 cm décrivent les variations de niveau d'eau dans le canal (remplissage lors d'une crue et baisse de niveau par les fuites, l'infiltration et l'évaporation).

Pour ce qui est des débits instantanés, nous en parlerons dans le sous-chapitre traitant de l'analyse des crues.



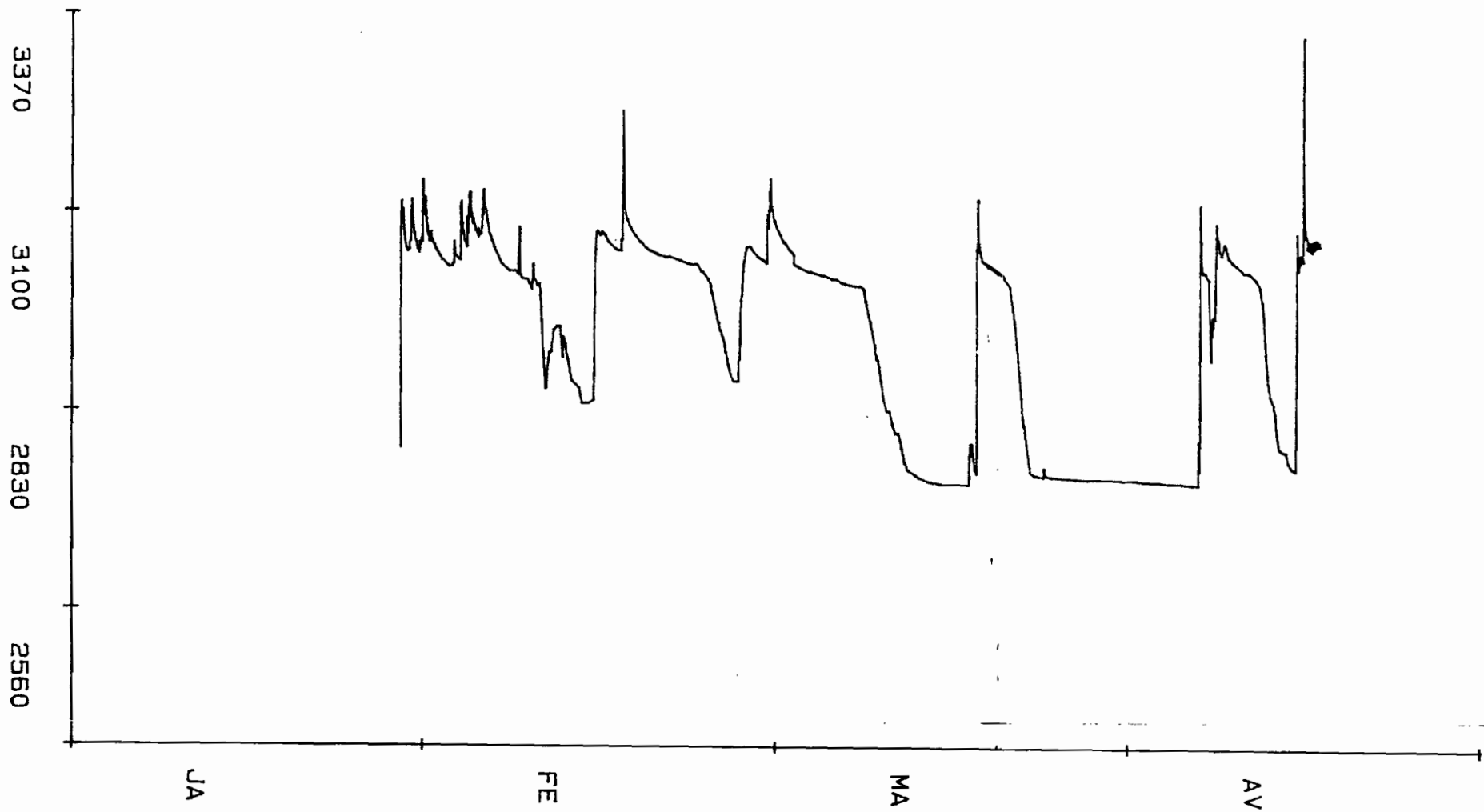


Fig: 6b COURBE DE VARIATION DES COTES INSTANTANÉES

**III - ANALYSE DES
DONNEES HYDROPLUVIOMETRIQUES**

III - ANALYSE DES DONNEES HYDROPLUVIOMETRIQUES

L'analyse des observations hydropluviométriques d'un bassin versant peut se faire de façon globale ou de façon fine suivant l'étude envisagée et les types d'appareils de collecte des informations.

Nous avons publié en Annexe I les pluies cumulées pour chacun des postes pluviométriques et dans le chapitre précédent nous avons donné les pluies journalières calculées à partir des enregistrements du pluviographe, les côtes et les débits instantanés du bassin versant de la Combe des Mortiers.

Comme pour cette première campagne le bilan d'érosion est limité au sous bassin de la Combe Nègre, la suite de la présente note portera essentiellement sur ce petit bassin.

Nous avons vu dans le rapport bibliographique que l'arrachement des particules était dû à l'énergie cinétique des gouttes, qui est fonction de l'intensité de la pluie. Par ailleurs, le calcul du poids de MES nécessite une bonne connaissance des débits qui les véhiculent.

De tout ce qui précède, nous avons jugé nécessaire d'étudier les principaux événements "Averse - Crue" qui ont pu être observés au cours de cette campagne. Il convient cependant de signaler à l'avance, au regard de la courte série d'observations et des difficultés qui ont perturbé la collecte des informations fiables et continues, que cette étude n'est qu'une ébauche de l'hydrologie analytique de la relation pluie-débit à partir de laquelle certaines données seront estimées. Par conséquent la qualité des hypothèses et des résultats obtenus ne permettra l'approche d'un bilan plus précis qu'après une longue série d'observations.

Avant d'aborder la relation qui lie l'averse à la crue, nous rappelons les définitions de certains termes régulièrement employés dans cette relation.

III-1 RAPPELS DE QUELQUES DEFINITIONS

1°) L'AVERSE

Une averse peut être définie comme un épisode pluvieux continu. De cette définition, il ressort que les critères d'individualisation des averses sont fixés en fonction de l'objectif de l'étude.

- Intensité des averses

Pour un pas de temps t , l'intensité I est définie comme le rapport de la hauteur de la pluie observée Δh au temps Δt

$$I = \frac{\Delta h}{\Delta t} \quad \text{en mm/mn ou mm/h}$$

Les intensités sont calculées à partir des pluviogrammes ou d'enregistrements automatiques des précipitations.

- Le hyétogramme

Avec les intensités d'une averse, on trace son hyétogramme en les portant en fonction du temps.

- Pluie brute ou pluie effective

c'est la pluie qui arrive au sol, c'est-à-dire la pluie totale diminuée de l'interception.

- Pluie totale

C'est la pluie globale, c'est-à-dire la quantité totale de la pluie tombée mesurée à l'air libre.

- Pluie efficace ou pluie utile

C'est la partie de l'averse dont les intensités sont suffisamment fortes pour avoir pu donner lieu à du ruissellement. On la définit également comme la quantité d'eau de pluie reçue par le bassin pendant la durée de la pluie nette.

- Pluie nette

Elle correspond à la partie de l'averse qui a effectivement ruisselé, c'est-à-dire la quantité d'eau restante, déduction faite de la perte par interception, du stockage dans les dépressions, de l'infiltration, et de l'évaporation

- Capacité d'absorption (cam)

Elle représente les pertes par infiltration, interception, rétention et évaporation au cours d'une averse. Sa valeur moyenne se calcule par :

$$Cam = (Pe - Pn) / te$$

avec :

Ca = capacité moyenne d'absorption en mm/h

Pe = pluie efficace (mm)

pn = pluie nette (mm)

te = temps efficace (heure)

2°) LA CRUE

Une averse définie dans le temps et dans l'espace, tombant sur un bassin versant, provoque à son exutoire une crue dont on peut dessiner l'hydrogramme, en reportant sur papier

millimétré les débits instantanés en fonction du temps. Sans entrer dans les détails, nous en définissons quelques caractéristiques.

- Ecoulement de surface ou écoulement direct

C'est l'écoulement constitué de l'eau de la pluie ; il comprend le ruissellement sur le sol et l'écoulement dans le réseau hydrographique.

- Ecoulement retardé (ou hypodermique)

cette eau s'écoule des zones temporaires de saturation (couches supérieures du sol), de la rugosité du sol et de la base de la végétation.

- Ecoulement souterrain

C'est de l'eau provenant de la nappe et pouvant alimenter l'écoulement retardé et l'écoulement de base.

- Ecoulement de base

C'est l'écoulement en provenance d'une nappe phréatique.

- Volume ruisselé (Vr)

D'une façon générale, on l'obtient en planimétrant la courbe de l'hydrogramme de la crue.

- Lamé ruisselée (Lr)

C'est le rapport du volume ruisselé à la superficie du bassin versant :

$$Lr(mm) = \frac{Vr(m^3)}{S(km^2)}$$

- Débit de pointe (Qp) ou débit maximal (Qmax)

C'est la valeur maximale du débit de la crue diminuée de la partie correspondant à l'écoulement de base.

- Débit spécifique

C'est le débit par unité de surface du bassin et par unité de temps. On l'exprime en l/s.Km² ou l/s.ha ou encore en m³/s.Km².

- Temps de base (T_B)

Il s'agit de la durée du ruissellement direct, c'est-à-dire l'intervalle de temps séparant le début de la crue de la fin du ruissellement retardé.

- Temps de montée (T_M)

C'est l'intervalle de temps séparant le début de la crue du maximum de l'hydrogramme de ruissellement.

- Temps de réponse (T_R)

C'est l'intervalle de temps séparant le centre de gravité de la pluie nette de la pointe de l'hydrogramme de ruissellement.

- Temps de concentration (T_C)

Il est défini comme le temps que met une goutte d'eau provenant de la partie la plus éloignée de l'exutoire pour parvenir à celui-ci. Il est estimé à partir de la chronique des événements averse-crue et des caractéristiques du bassin. On

peut cependant l'estimer sur l'hydrogramme en mesurant la durée comprise entre la fin de la pluie efficace et la fin du ruissellement direct

- Coefficient de ruissellement

C'est le rapport de la lame ruissellée (lr) à la hauteur d'eau précipitée. Il est fonction de la nature du bassin et surtout de l'état de saturation du sol.

III-2 RELATIONS PLUIE - DEBIT

III-2-1 L'ECHANTILLON DISPONIBLE

Au niveau des averses, nous avons considéré deux averses comme distinctes si la hauteur de pluie P tombant durant l'intervalle de temps $t > 20$ minutes qui les sépare est inférieure à 0,2 mm.

Parmi ces averses, nous avons sélectionné celles dont la durée est inférieure ou égale à 500 minutes et la hauteur supérieure à 2,5 mm.

Les caractéristiques des averses retenues sont données dans le tableaux 9. Les intensités maximales sont calculées pour un pas de temps de 5 minutes.

Au niveau des crues, les enregistrements permettent de déterminer les caractéristiques de treize événements dont cinq sont notables. Ces caractéristiques sont données dans le tableau 10.

Suite à la complexité des hydrogrammes (crues à plusieurs pointes et souvent très étalées), nous n'en avons sélectionné que deux (ceux des crues du 17/2/86 et du 15/4/86) qui ont une forme régulière (fig.7 et 8). Les hyétogrammes des averses qui les ont provoquées sont tracés pour des intensités en 10 minutes centrées autour des intensités maximales en 5

tableau 9 :

CARACTERISTIQUES DES AVERSES SELECTIONNEES

N°	DATE	DEBUT heure	DUREE mn	HAUTEUR mm	I _{max} mm/h	I _{moyenn} mm/
1	9/7/85	15h 37'	37	14,2	56,4	23,0
2	5/8/85	20h 04'	200	11,4	13,2	3,4
3	6/8/85	0h 01'	53	4,8	9,6	5,4
4	5/10/85	4h 09'	69	37,2	98,4	32,4
5	25/10/85	0h 48'	88	13,6	19,2	9,3
6	25/10/85	21h 40'	500	28,4	9,6	2,9
7	26/10/85	15h 25'	155	5,2	4,8	2,0
8	12/11/85	17h 10'	110	4,9	4,8	1,6
9	5/12/85	18h 44'	66	3,8	6,6	3,5
10	5/12/85	22h 40'	172	22,8	54,0	7,2
11	28/01/86	20h 10'	130	3,4	2,4	1,6
12	28/01/86	20h 10'	50	2,5	3,0	3,0
13	29/01/86	1h 00'	310	17,1	8,4	3,3
14	29/01/86	5h 50'	90	4,8	5,4	3,2
13	30/01/86	0h 50'	140	6,0	4,2	2,6
14	31/01/86	0h 34'	120	8,2	8,4	4,1
15	3/2/86	6h 51'	110	8,4	10,8	4,6
16	3/2/86	21h 30'	320	11,5	4,8	2,2
17	5/2/86	3h 34'	120	6,0	5,4	3,0
18	17/2/86	1h 15'	136	11,4	27,6	5,0
19	1/3/86	12h 00'	120	6,4	5,4	3,2
20	1/3/86	15h 10'	40	2,5	2,5	3,8
21	15/4/86	6h 16'	135	7,6	13,2	3,4
22	15/4/86	20h 37'	70	14,2	44,4	12,2
23	25/4/86	1h 22'	68	5,6	27,6	4,9
24	6/5/86	23h 03'	90	4,0	3,0	2,7
25	27/5/86	18h 10'	60	48,0	24,0	12,0
26	17/6/86	13h 24'	38	13,8	45,6	21,8
27	18/6/86	16h 47'	8	4,6	28,8	34,5

tableau 10 :

CARACTERISTIQUES DES CRUES OBSERVEES

N°	date	débit pointe l/s	débit spé- fique max l/s.ha	heure	Vr m ³	Lr mm	I max mm/h	F mm	C %
1	125/10/85	3.99	1.33	2h15	9.2	0.31	19.2	13.6	2.4
2	126/10/85	8.66	2.89	4h45	135	4.5	9.6	30.2	15
3	112/11/85	2.34	0.78	19h00	13.2	0.39	4.8	17.4	2.5
4	5/12/85	(15.8)	(5.27)	2h20	(22.6)	(0.75)	19.2	230	(3.3)
5	29/1/86	6.39	2.13	5h45	145	4.8	8.4	25.4	18.9
6	30/1/86	4.65	1.55	3h30	43.2	1.44	4.8	6	24
7	31/1/86	8.95	2.98	1h30	61.6	2.03	8.4	8.2	25
8	5/2/86	6.7	2.23	6h00	41.6	1.39	6.0	6	23
9	17/2/86	32.6	10.9	4h00	91.9	3.07	27.6	11.6	26.5
10	1/3/86	7.6	2.53	16h00	60.9	2.03			
11	19/3/86	6.14	2.05	7h00	27.6	0.92			
12	7/4/86	6.13	2.04	4h15	25.3	0.8			
13	15/4/86	93.8	31.3	21h55	142	4.72	44.4	14.2	33

minutes. Les caractéristiques de ces deux événements sont données dans les tableaux 11 et 12. Les autres graphiques hyéto-gramme / hydrogramme sont en annexe II.

Le temps de base (T_B) est presque le même (90 et 80 mn) pour les deux crues ; le temps de montée serait de 15 à 20 minutes et le temps de réponse de 40 à 50 minutes. Le temps de concentration (T_C) serait de l'ordre de 60 à 80 minutes.

Ces valeurs de temps de réponse et temps de concentration paraissent très douteuses (décalage dans le temps entre pluviographe et limnigraphe).

Les valeurs de T_C sont en effet très supérieures à celles qui ont été calculées avec les formules de Ventura et de Passini pour une pente moyenne du bassin de 20% :

Formule de Ventura :

$$T_C = 76,3 \frac{\sqrt{S}}{\sqrt{I}} = 30 \text{ mm}$$

avec :

T_C = temps de concentration en minutes

S = superficie du bassin

I = pente moyenne du bassin en %

= dénivelé/longueur du cours d'eau principal

Formule de Passini

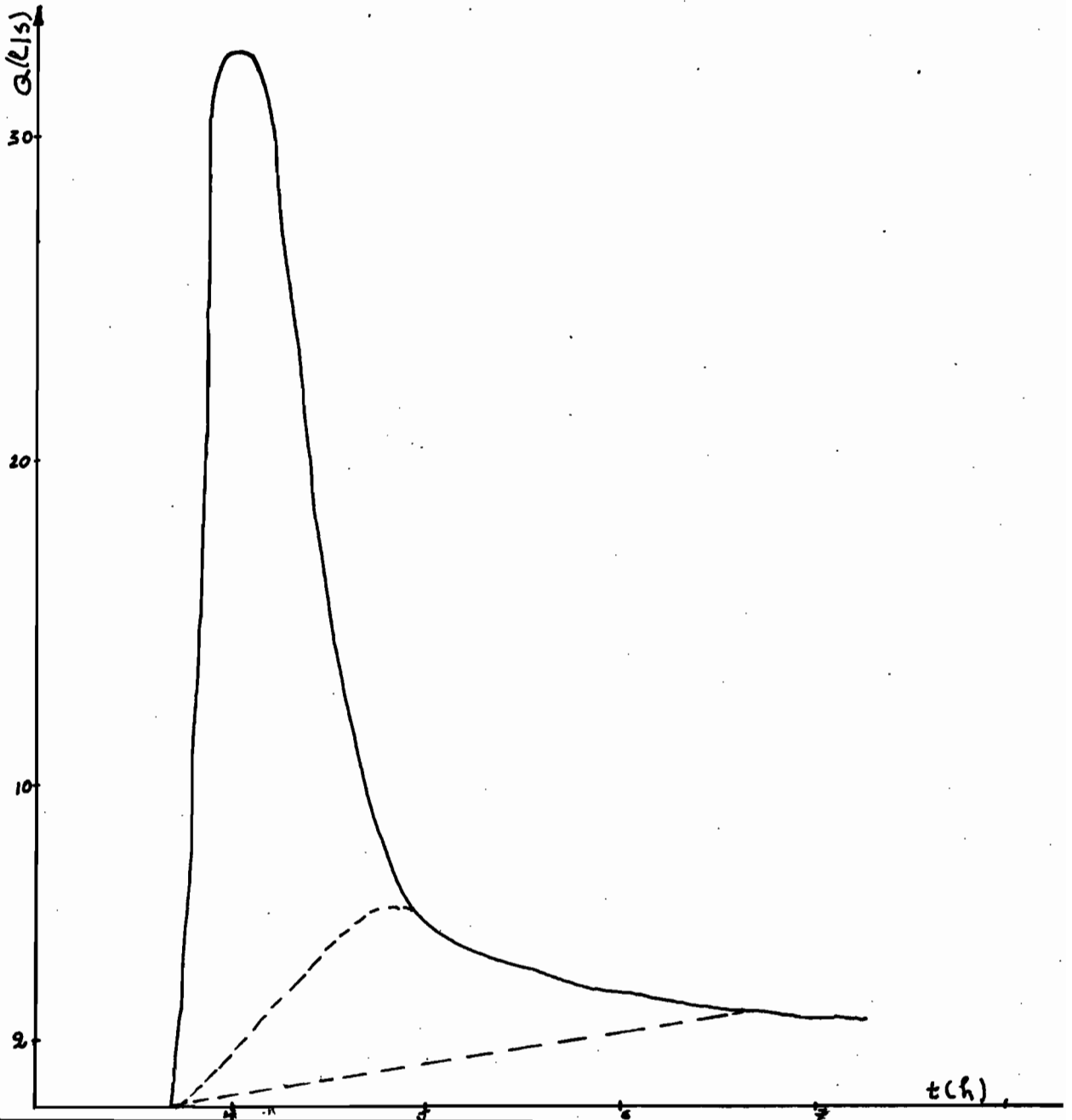
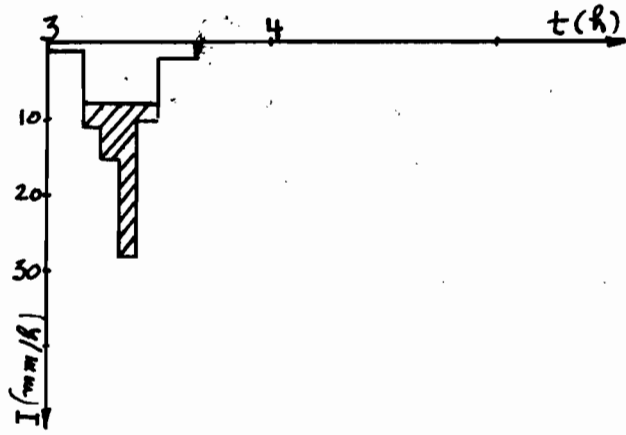
$$T_C = 64,8 \frac{\sqrt[3]{LS}}{\sqrt{I}} = 23 \text{ mm}$$

avec :

L = longueur du cours d'eau principal.

Les résultats obtenus avec les autres formules (Giandotti, Kispich...) ne sont pas intéressants.

Fig-7 CRUE DU 17-02-1986



O.R.S.T.O.M. Service Hydrologique

date

des.

--	--	--

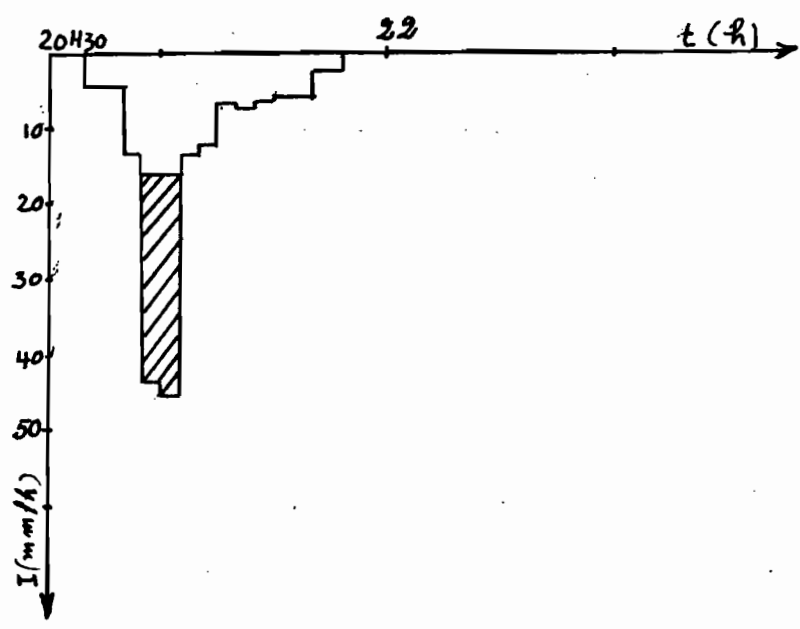


Fig-8. CRUE DU 15-04-1986

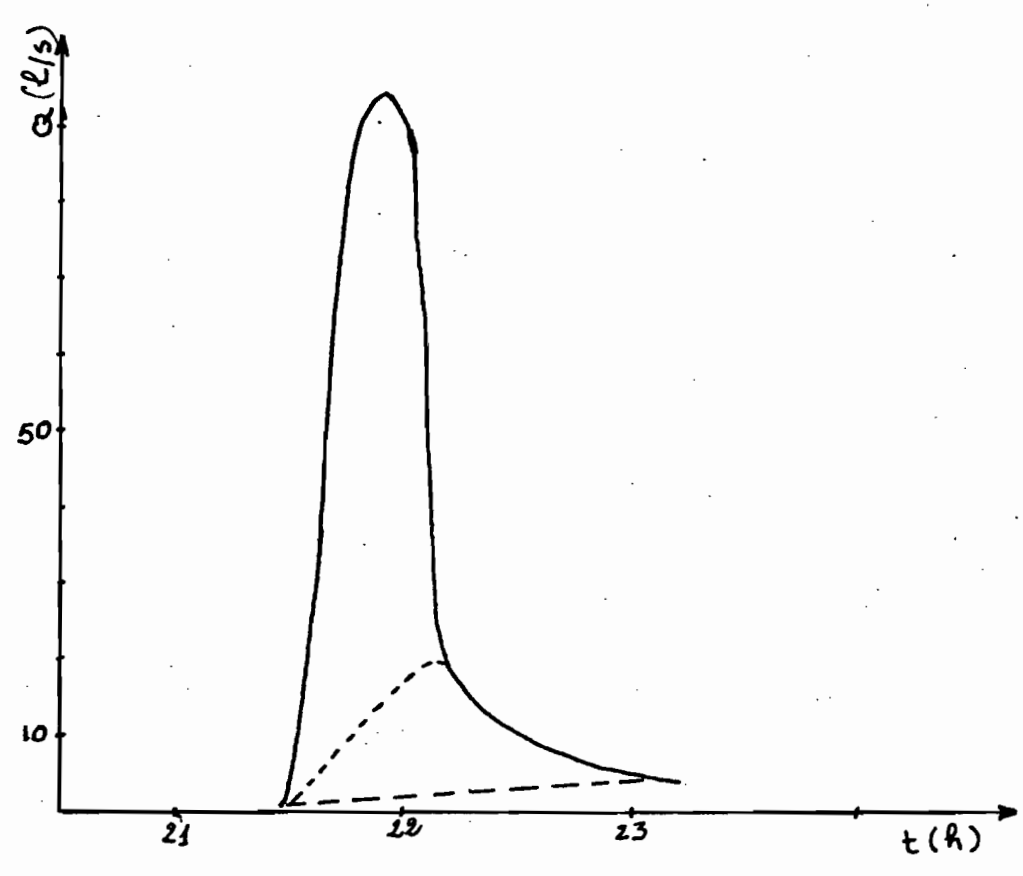


tableau 11 :

AVERSE - CRUE DU 17/2/86

AVERSE

Heure début : 3 h 30 Heure fin : 3 h 50
Durée : 50 mn Hauteur pluie : 6 mm
I moyenne : 7,2 mm/h I max : 27,6 mm/h

I t(mn)	I 10	I 5	I 5	I 5	I 5	I 10	I
I	I	I	I	I	I	I	I
I Heure	I 3h10	I 3h15	I 3h20	I 3h25	I 3h30	I 3h40	I
I	I	I	I	I	I	I	I
I P(mm)	I 0.1	I 0.9	I 1.6	I 2.3	I 0.8	I 0.8	I
I	I	I	I	I	I	I	I
I I(mm/h)	I 0.6	I 10.8	I 19.2	I 27.6	I 9.6	I 1.8	I

CRUE

Heure début : 3 h 46 Heure fin : 5 h 12
Durée : 172 mn .

I tp	I tm	I tn	I tc	I Q _M	I q _M	I Vr	I Lv	I P	I C	I
I mn	I mn	I mn	I mn	I l/s	I l/s.ha	I m ³	I mm	I mm	I %	I
I 40	I 18	I 174	I 80	I 32.6	I 10.9	I 91.9	I 3.07	I 6	I 51	I

tableau 12 :

AVERSE - CRUE DU 15/4/86

AVERSE

Heure début : 20 h 37 Heure fin : 21 h 47
Durée : 70 mn Hauteur pluie : 14,2 mm
I moyenne : 44,4 mm/h I max : 12,2 mm/h

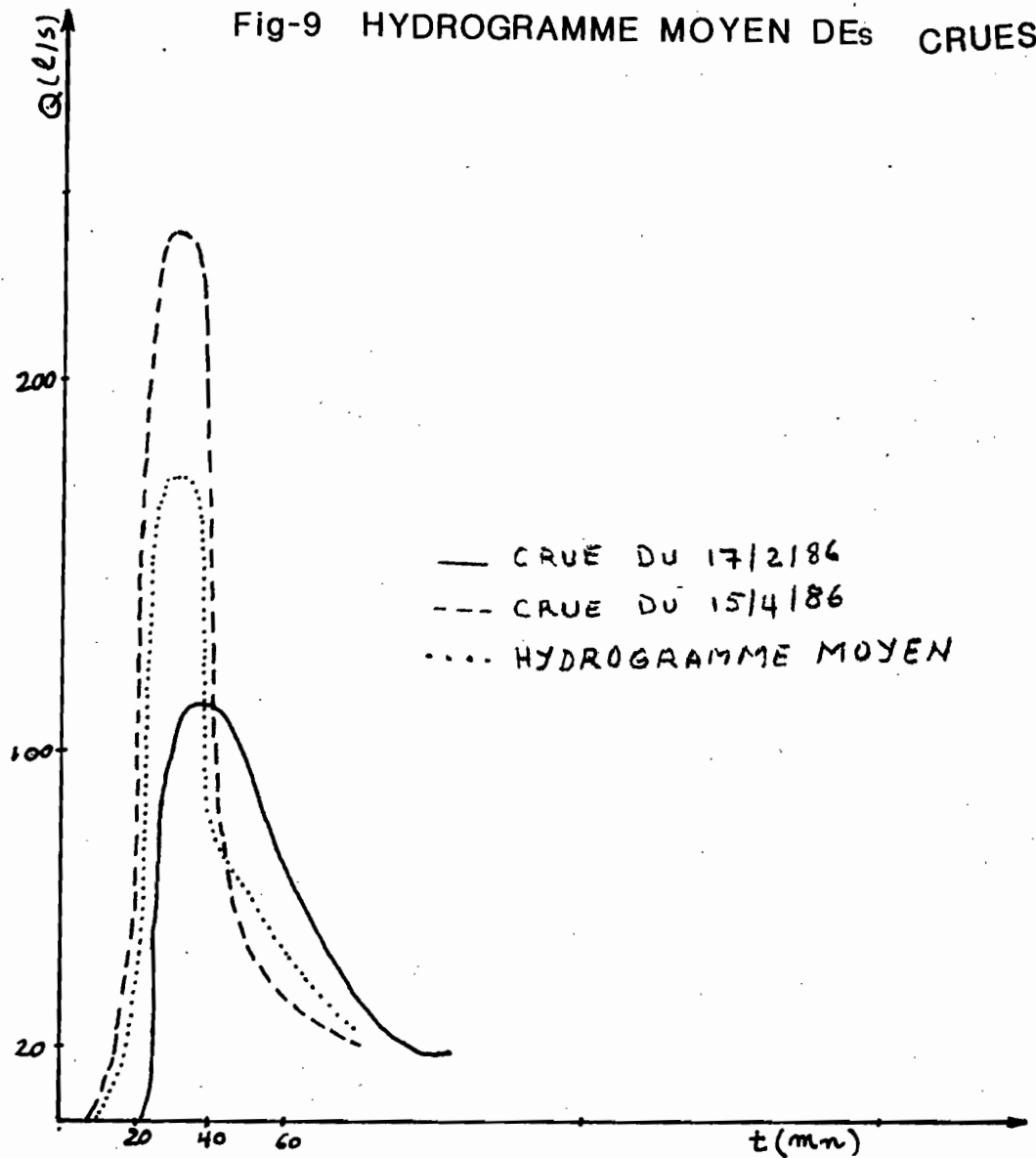
I t(mn)	I 10	I 10	I 5	I 5	I 5	I 5	I 5	I 5	I 5	I 5	I 5	I 10	I 10	I
I	-----I													
I Heure	I 20h40	I 20h50	I 20h55	I 21h00	I 21h05	I 21h10	I 21h15	I 21h20	I 21h25	I 21h30	I 21h40	I 21h50	I	I
I	-----I													
I P(mm)	I 0.1	I 0.7	I 1.1	I 3.6	I 3.7	I 1.1	I 12.0	I 6	I 7.2	I 6	I 5.4	I 2.4	I	I
I	-----I													
I I(mm/h)	I 0.6	I 4.2	I 13.2	I 43.2	I 44.4	I 13.2	I 0.6	I 4.2	I 13.2	I 43.2	I 44.4	I 13.2	I	I

CRUE

Heure début : 21 h 30 Heure fin : 23h 12
Durée : 90 mn

I tp	I tm	I tn	I tc	I Q _M	I q _M	I Vr	I Lv	I P	I C	I
I mn	I mn	I mn	I mn	I l/s	I l/s.ha	I m ³	I mm	I mm	I %	I
I	-----I									

Fig-9 HYDROGRAMME MOYEN DES CRUES



Cette relation est reproduite dans la figure 10

La lame ruisselée moyenne serait de :

2,3 mm	pour	P = 10 mm
4,7 mm	pour	P = 20 mm
7,1 mm	pour	P = 30 mm
9,5 mm	pour	P = 40 mm

Dans cette gamme de précipitations, le coefficient de ruissellement serait donc de l'ordre de 25 %

III-2-3 APPLICATION A LA RECONSTITUTION DE LA CRUE DU 5/10/85

La relation $(L_r - P)$ permet d'estimer la lame ruisselée de la crue du 5 octobre 85 à 8,8 mm, l'averse ayant totalisé 37,2 mm.

L'hydrogramme reconstitué à partir du modèle proposé précédemment aboutit à un débit maximum de 152 l/s.

Il est reproduit, avec le hyétogramme observé, dans la figure 11.

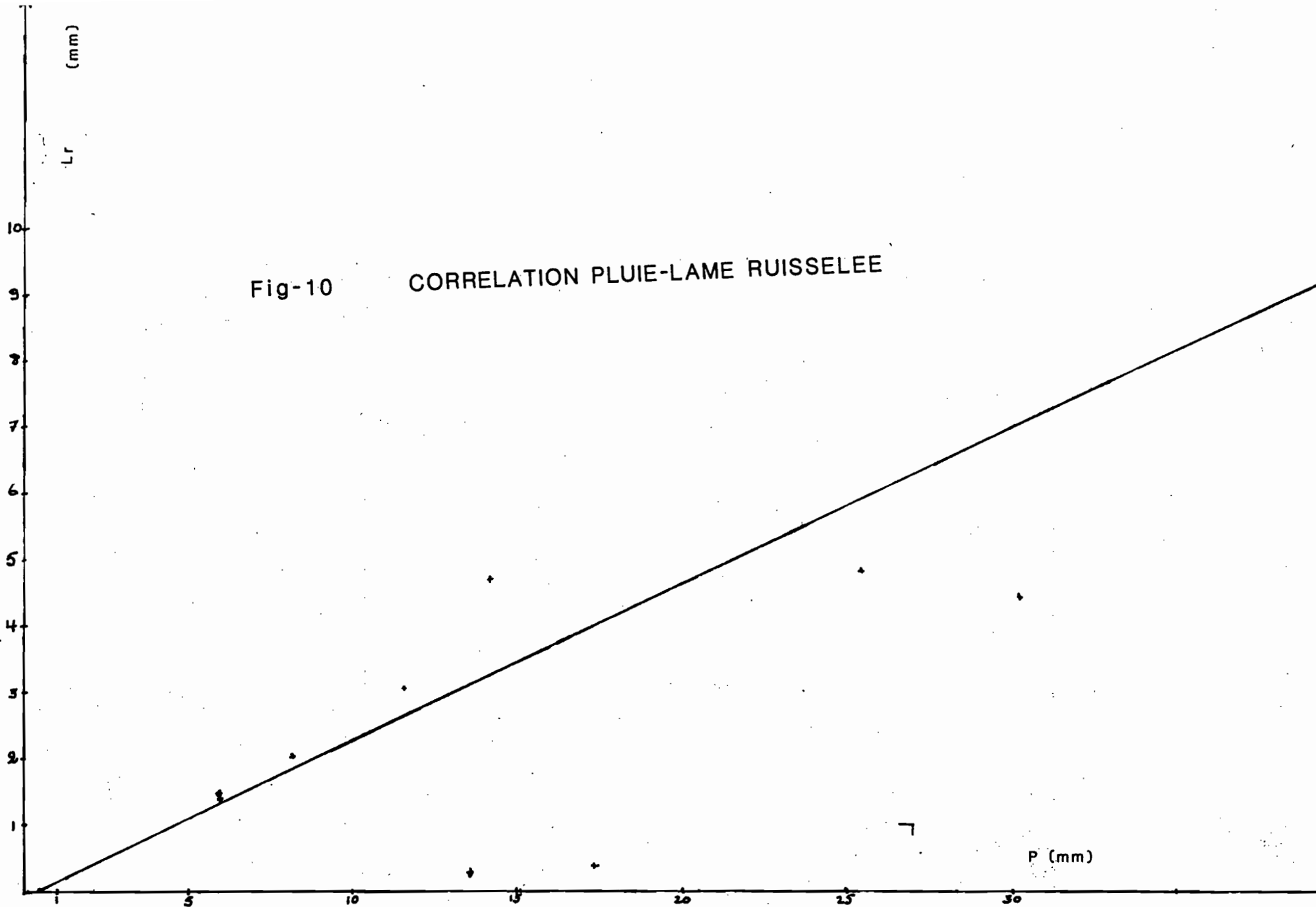


Fig-10 CORRELATION PLUIE-LAME RUISSELEE

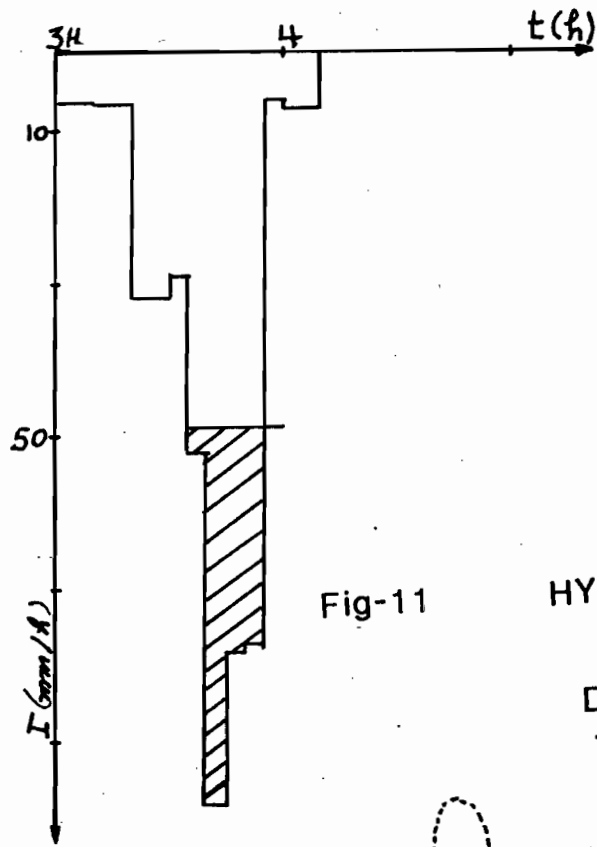
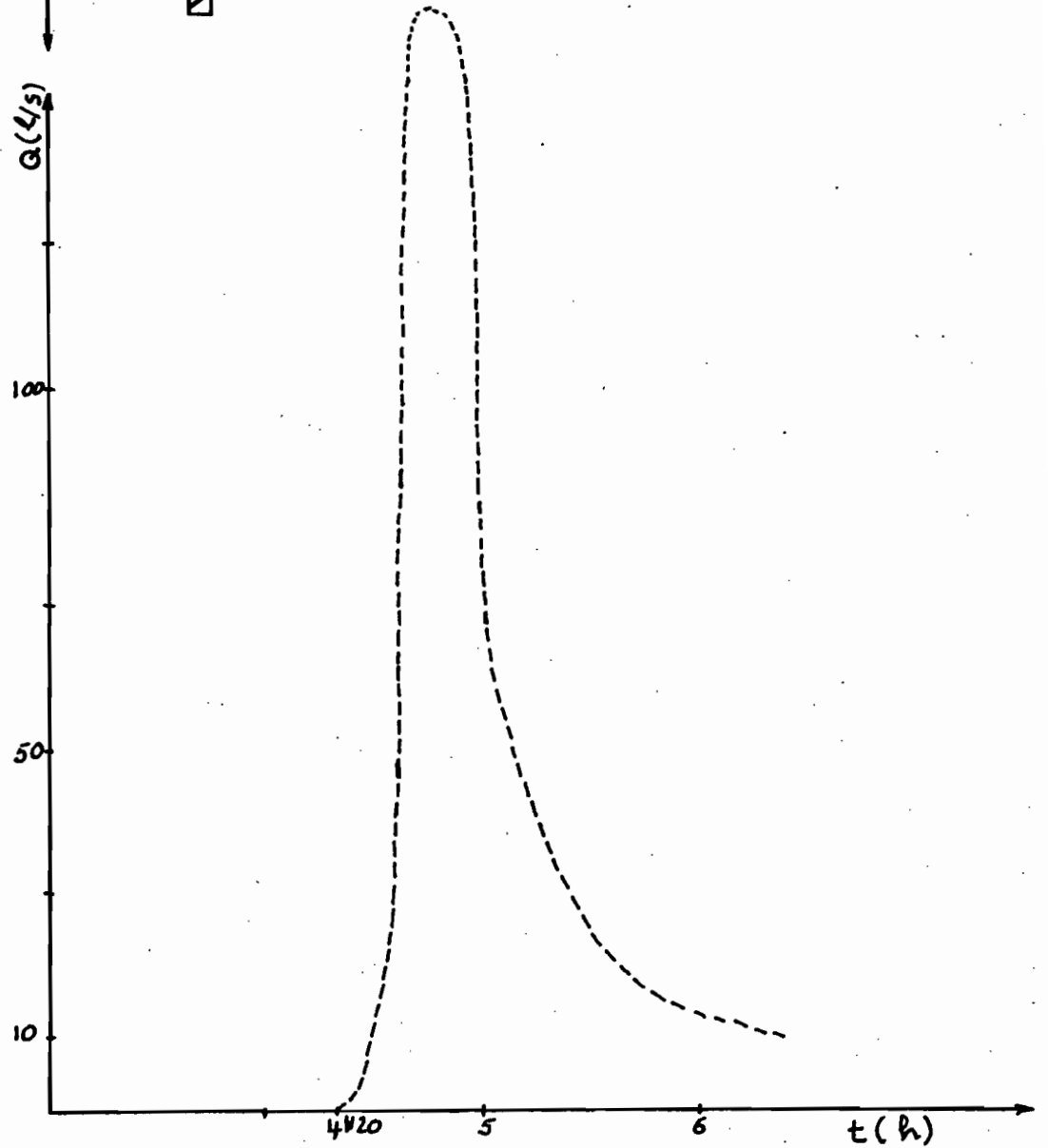


Fig-11

HYDROGRAMME RECONSTITUE
DE LA CRUE DU 05-10-1986



**IV - MESURE DES TRANSPORTS
SOLIDES**

IV - MESURES DES TRANSPORTS SOLIDES

IV - 1 QUELQUES RAPPELS

Avant d'aborder le problème mesure et de calcul de bilans d'érosion, il convient de rappeler que celle-ci est la somme des pertes minérales en solution (érosion chimique) et par transport solide (érosion mécanique) subies par le bassin versant étudié.

Nous n'étudierons pas les matières en solution dont l'exportation est d'ailleurs très faible compte tenu des écoulements brefs observés sur ce type de petit bassin.

L'évaluation du bilan d'érosion sera donc limitée transports solides, ou apports solides suivant la terminologie habituellement employée.

On distingue deux types de transports solides liés à la granulométrie :

- Le transport solide en suspension
(éléments fins)
- Le transport solide de fond ou par charriage
(éléments grossiers)

Le principe et la méthodologie de mesure ont été résumés d'une façon générale dans le rapport bibliographique (voir annexe). Nous n'y reviendrons dans le présent travail que pour des détails pratiques de l'exécution de mesures sur le terrain.

IV - 2 MESURE DE TRANSPORT SOLIDE EN SUSPENSION

Les prélèvements d'échantillons pour la quantification des MES n'ont pas connu un grand succès pour cette première

des MES n'ont pas connu un grand succès pour cette première campagne (voir nos remarques en I-2-3)

En effet, ils nécessitaient, en plus d'échantillonneur automatique, la présence d'un personnel pour des prélèvements manuels régulièrement répartis pendant les crues, afin de pallier aux inconvénients du prélèvement automatique.

Malheureusement, les crues se sont souvent produites la nuit ; elles sont de durée très courte et le temps de montée est inférieur à l'heure ; or les plus fortes concentrations des MES sont sans doute observées pendant la montée de la crue.

IV-2-1 DEBITS SOLIDES EN SUSPENSION

Les prélèvements utilisables concernent seulement deux crues. Celle de 5/10/85 a été reconstituée sur le plan de l'hydrogramme pour être exploitée ici avec la crue du 15/4/86.

IV-2-1-1 Teneurs en MES des échantillons

Le tableau ci-dessous contient les concentrations des MES des échantillons d'eau prélevés automatiquement les 5/10/85 et 15/4/86 et les débits liquides moyens de prélèvements correspondants (les cotes ont été données en I-2-3)

		CONCENTRATION		DEBIT LIQUIDE	
		(g/l)		DE MOYEN	
N° de la BOUTEILLE				Q1(1/s)	
		05/10/85		15/04/86	
1		29,3		1,42	6
2		44,7		53,9	15,3
3	pas de prélèvement		IC non significative pour 90ml d'échantil.		46,2
4		10,5			108

Le traitement des échantillons dont le principe est celui décrit dans le Rapport Bibliographique (décantation et syphonage - filtration - séchage à l'étuve, puis pesée) a été fait au Centre de Coopération International en Recherche Agronomique pour le Développement (CIRAD).

On peut déjà indiquer que ces concentrations ne paraissent pas exceptionnellement fortes pour des terrains aussi sensibles que sont les marnes noires (J.C. Olivry a mesuré des concentrations de près de 200 g/l sur les bassins de la région PACA).

IV-2-1-2 Débits solides (Qs)

Lorsqu'on fait plusieurs prélèvements au cours d'une crue, on constate que la teneur en MES varie avec le temps et qu'à chaque concentration C correspond une valeur de débit liquide instantané. On peut donc calculer le débit solide instantané correspondant Qs exprimé en g/s qui est le produit de la concentration c (g/l) et du débit liquide Ql (l/s).

Le tableau ci-dessous contient les débits solides ainsi calculés.

I	I DEBIT SOLIDE (g/s)		I
I N° DE	I-----I		I
I L'ECHANTILLON	I 5/10/85	I 15/4/86	I
I-----I			
I 1	I 176	I 8,51	I
I-----I			
I 2	I 684	I 825	I
I-----I			
I 3	I -	I -	I
I-----I			
I 4	I 1134	I -	I

IV-2-2 ESTIMATION DU POIDS DES MES

Le calcul du poids total des MES entraînées par une crue semble se limiter, à première vue, au produit de la moyenne des concentrations par le volume de la crue.

Ceci est vrai lorsque le plan d'eau varie peu et surtout pour les grands cours d'eau où un seul prélèvement peut

être assez représentatif (voir rapport bibliographique). Mais ce procédé paraît peu précis pour cette étude, d'autant plus que les crues sont brutales et que la teneur en MES varie beaucoup en fonction du temps au cours d'une crue.

On pourrait donc, à l'image du limnigramme ou de l'hydrogramme, tracer une courbe des concentrations en sédiments ou des débits solides instantanés en les positionnant suivant le même pas de temps que celui du limnigramme ou de l'hydrogramme de la crue intéressée.

La courbe de variation des concentrations des MES appelée TURBIDIGRAMME, n'a pas été représentative à cause du nombre très petit d'échantillons au cours d'une crue.

De même en ce qui concerne la courbe de variation des débits solides instantanés. Sa fiabilité et sa précision dépendent du nombre de prélèvements et de leur échelonnement dans le temps, car l'interpolation entre deux points de mesure et l'extrapolation des valeurs extrêmes n'obéissent à aucune loi générale, du fait que la turbidité est liée à de nombreux facteurs.

Cependant, malgré le nombre réduit des prélèvements, nous allons tout de même essayer d'interpoler et d'extrapoler afin de donner un ordre de grandeur du poids des MES évacués par les crues du 5/10/85 et du 15/4/86.

Pour ce faire, en nous inspirant des hydrogrammes, nous avons affecté aux échantillons n° 3 de chacune des crues les mêmes concentrations que celles des échantillons n° 2 en supposant qu'elles n'ont pas beaucoup varié pour un temps de montée aussi faible entre les débits de prélèvement.

En opérant ainsi par approches successives, nous avons essayé de reconstituer les courbes de variation des débits solides instantanés.

volume liquide écoulé, celle de la courbe des débits solides instantanés (solidogramme) donne le poids de sédiments évacués en suspension.

Le calcul de ces intégrales n'est pas fait par voie mathématiques, mais par simple planimétrage des courbes tracées.

Le tableau ci-dessous regroupe les différents résultats

I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
I date	I	I en	I en	I pluie	I pluie	I en5mn	I moyenne	I	I
I	I	I m ³	I tonne	I (mm)	I (mn)	I mm/h	I (mm/h)	I	I
I	I Apports	I 264	I	I 37.2	I 69	I 198.4	I 32.4	I	I
I	I liquides	I	I	I	I	I	I	I	I
I 5/10/85	I	I	I	I	I	I	I	I	I
I	I Apports	I	I 1.80	I	I	I	I	I	I
I	I solides	I	I	I	I	I	I	I	I
I	I Apports	I 142	I	I 14.2	I 70	I 144.4	I 12.2	I	I
I	I liquides	I	I	I	I	I	I	I	I
I 15/4/86	I	I	I	I	I	I	I	I	I
I	I Apports	I	I 1.10	I	I	I	I	I	I
I	I solides	I	I	I	I	I	I	I	I

La méthode d'intégration de la courbe des débits solides instantanés donne un poids de MES de 1,8 t pour la crue du 5/10/85, d'un volume de 264 m³ provoquée par une pluie de hauteur 37,2 mm et d'intensité moyenne de 32,4 mm/h ; Le poids de MES est de 1,10 t pour la crue du 15/4/86, de 142 m³ de volume provoquée par une pluie de 14,2 mm de hauteur et de 12,2 mm/h d'intensité moyenne.

IV-2-3 ESSAI D'INTERPRETATION DES RESULTATS

On constate de façon générale qu'à chacune des crues correspond une variation des débits solides, et qu'en période de basses eaux (quand celles-ci subsistent temporairement) et même qu'au cours des crues les concentrations des MES sont très faibles (exemple des concentrations des échantillons prélevés manuellement le 3/2/86 $C < 0,5g/l$ pour un débit de 2,67 l/s).

Quand s'amorce la crue, il y a accroissement de la charge des eaux en matières solides. Ces concentrations initiales fortes correspondent à l'entraînement des particules disponibles à la surface du sol.

Au maximum de la crue, les concentrations ont déjà diminué. Cependant l'importance du débit liquide fait qu'au maximum de la crue correspond le plus souvent le maximum de débit solide

A la décrue, le débit solide décroît vite, alors que le débit liquide se maintient plus longtemps à des valeurs élevées.

En résumé, la variation des concentrations des MES s'explique non seulement par la quantité des particules détachées qui diminue avec le temps, mais aussi par l'augmentation du volume d'eau susceptible de les véhiculer et de les diluer. Les concentrations diminuent avant que la pointe de crue ne soit atteinte.

Si on avait des échantillons de décrue, on y verrait encore plus clair et sans doute qu'on arriverait à une sorte de courbe d'hystérésis comme Hénin et Michon (1952).

En conclusion, on peut dire à partir de l'étude de

l'érosion sur ces deux crues que le poids des MES ne dépend pas tellement de l'abondance de la précipitation, mais beaucoup plus de l'intensité de l'averse.

Ceci illustre bien l'indépendance entre l'amplitude de la crue et celle du débit solide ; pour un même débit liquide, on peut mesurer à chaque crue des concentrations assez différentes.

Signalons pour terminer que certains chercheurs comme G. Bédicot (1966) ont constaté l'intervention de la pointe du débit solide indifféremment avant ou après celle de la crue. Ces résultats témoignent une fois de plus de la délicatesse de l'explication du phénomène et de la répartition désordonnée des concentrations, car il suffit d'une reprise de l'averse pour que les débits solides se mettent à nouveau à croître. (Observations faites avant la région PACA en août 1986).

Des mesures précises impliquent donc que des prélèvements soient faits pendant toute la crue.

IV-3 MESURE DES TRANSPORTS SOLIDES PAR CHARRIAGE

Le transport solide par charriage affecte les matériaux grossiers (et même les matériaux fins) et se fait au voisinage du fond ou sur le lit même.

La méthode d'évaluation des matériaux de fond utilisée dans la combe Nègre est une combinaison des pièges à sédiments et des levés topographiques.

IV-3-1 ESTIMATION DES APPORTS ACCUMULES

IV-3-1-1 principe de la méthode

La méthode d'évaluation est basée sur le contrôle de l'engravement du lit du cours d'eau suite à l'installation des pièges qui barrent la voie aux particules de diamètre supérieur ou égal à celui des mailles du grillage, mais aussi aux éléments plus fins par dépôt des débris végétaux sur les grilles.

Connaissant la topographie détaillée du lit avant l'installation des pièges, (profil en long et profils en travers), on peut chiffrer le volume des matières apportées par une crue en faisant un autre levé topographique, cette fois sur les sédiments accumulés

La répétition des mesures après chaque crue conduit à une connaissance de la quantité de matières qu'elle a véhiculées, et le cumul sur une période donnée donne le bilan du remplissage depuis la date de l'implantation des pièges.

IV-3-1-2 Cubage des matériaux piégés

V-3-1-2-1 Levés topographiques

Dans le cadre de leurs travaux pratiques, les étudiants de DU avaient établi le profil en long du ruisseau de la Combe Nègre en février 1985, donc avant l'implantation des pièges. Seulement les points mesurés n'ont pas été matérialisés et les profils en travers initiaux n'ont pas été établis (ceci aurait limité les estimations).

1°) A partir de la borne n° 30 dont l'altitude fictive est 58,348 m, nous avons levé, le 11/3/86, le profil en long du lit et des sédiments accumulés en amont des pièges entre juin 1985 et le 11 mars 1986.

En plus de ce profil en long, nous avons levé 9 profils en travers sur les sédiments du Piège Amont (P1) et 4 sur ceux du Piège Aval (P2) .

Ces profils bien matérialisés devraient conduire à une évaluation un peu plus précise des matériaux apportés par une ou plusieurs crues plus tard, par des mesures réalisées aux mêmes emplacements.

2°) L'observation ci-dessus nous a conduits à effectuer, un mois plus tard (le 11/4/86) des profils en travers aux mêmes emplacements que ceux du 1° afin de quantifier les matières déposées entre le 11 mars et le 11 avril 1986. Il s'agit essentiellement des matières apportées par les crues des 19 mars et 7 avril 1986.

3°) Il en est de même des mesures du 17/4/86, au lendemain de la crue du 15/4/86 qui sont une bonne illustration d'un calcul des apports solides de fond (le volume de matériau correspond à une et une seule crue provoquée par une averse également connue).

Après avoir déterminé les altitudes des points du lit avant et après dépôt des sédiments, nous avons tracé les deux profils en long en reportant les distances en abscisses et les altitudes en ordonnées sur papier millimétré (figure 12).

IV-3-1-2-2 Méthodes de détermination du volume des matériaux piégés

Deux méthodes de travail ont été utilisées pour la détermination du volume des matériaux déposés en amont des pièges.

La première consiste à confronter le profil en long des matériaux piégés à celui du lit initial.

La seconde passe par l'estimation des profils en travers initiaux, confrontés aux profils en travers levés sur le dépôt.

Comme nous le verrons dans certaines étapes de calcul, chacune des méthodes fait appel aux données de l'autre.

IV-3-1-2-2-1 Première méthode : méthode basée sur la superposition des profils en long

Du tracé des profils en long du lit du ruisseau avant et après dépôts des sédiments (en amont des pièges et à la même échelle des distances et des altitudes), il apparaît un remblaiement pour les 3 courbes, avec de faibles creusements pour les deuxième et troisième du piège amont (fig.13a et 13b).

La forme des différents profils montre que la profondeur des sédiments diminue du piège vers l'amont pour s'annuler avec la fin du dépôt des matériaux.

Le calcul du volume des sédiments est obtenu par planimétrie de la surface comprise entre deux profils et par multiplication du résultat par la largeur moyenne du dépôt.

Fig-13a COURBE DE VOLUME DES SEDIMENTS

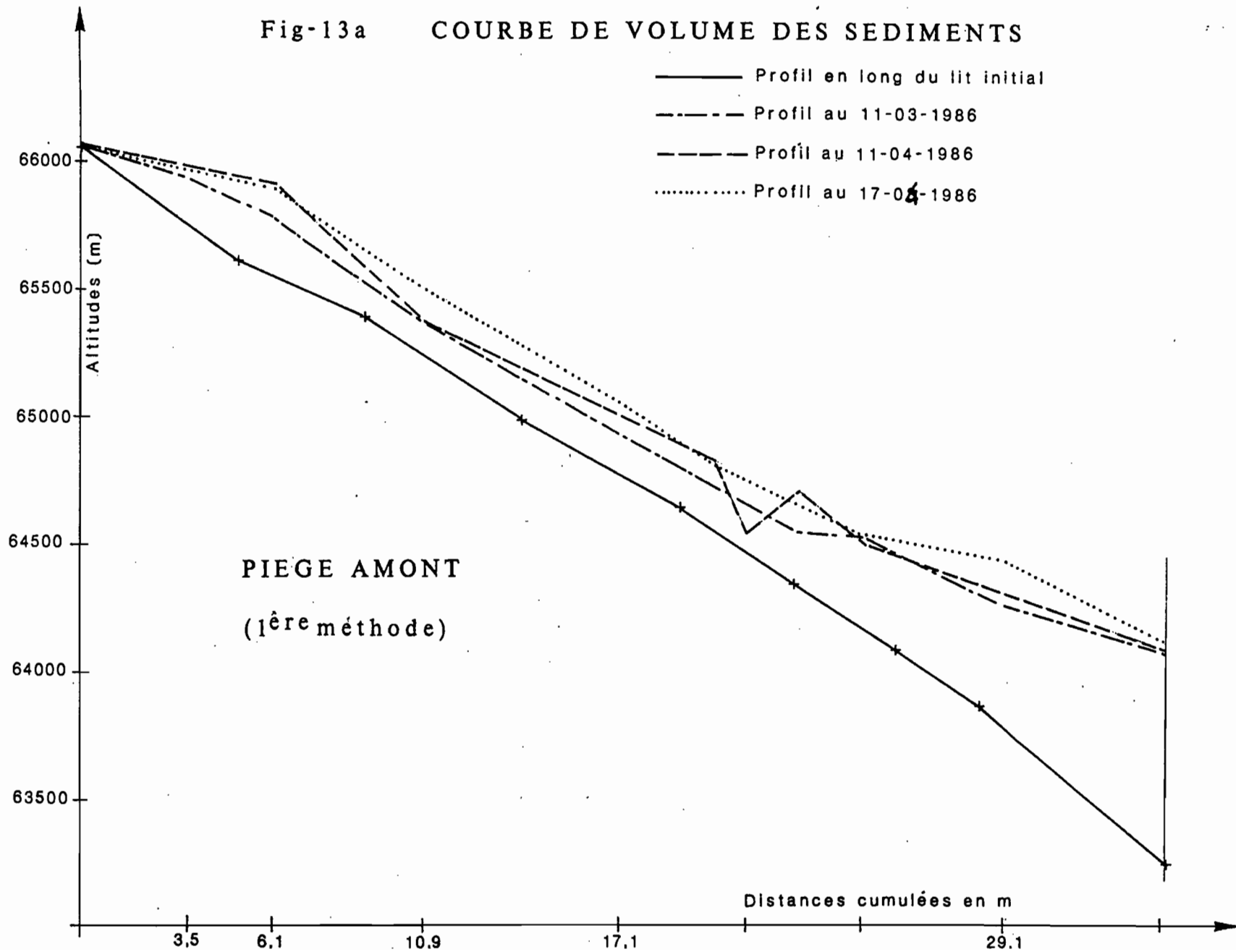
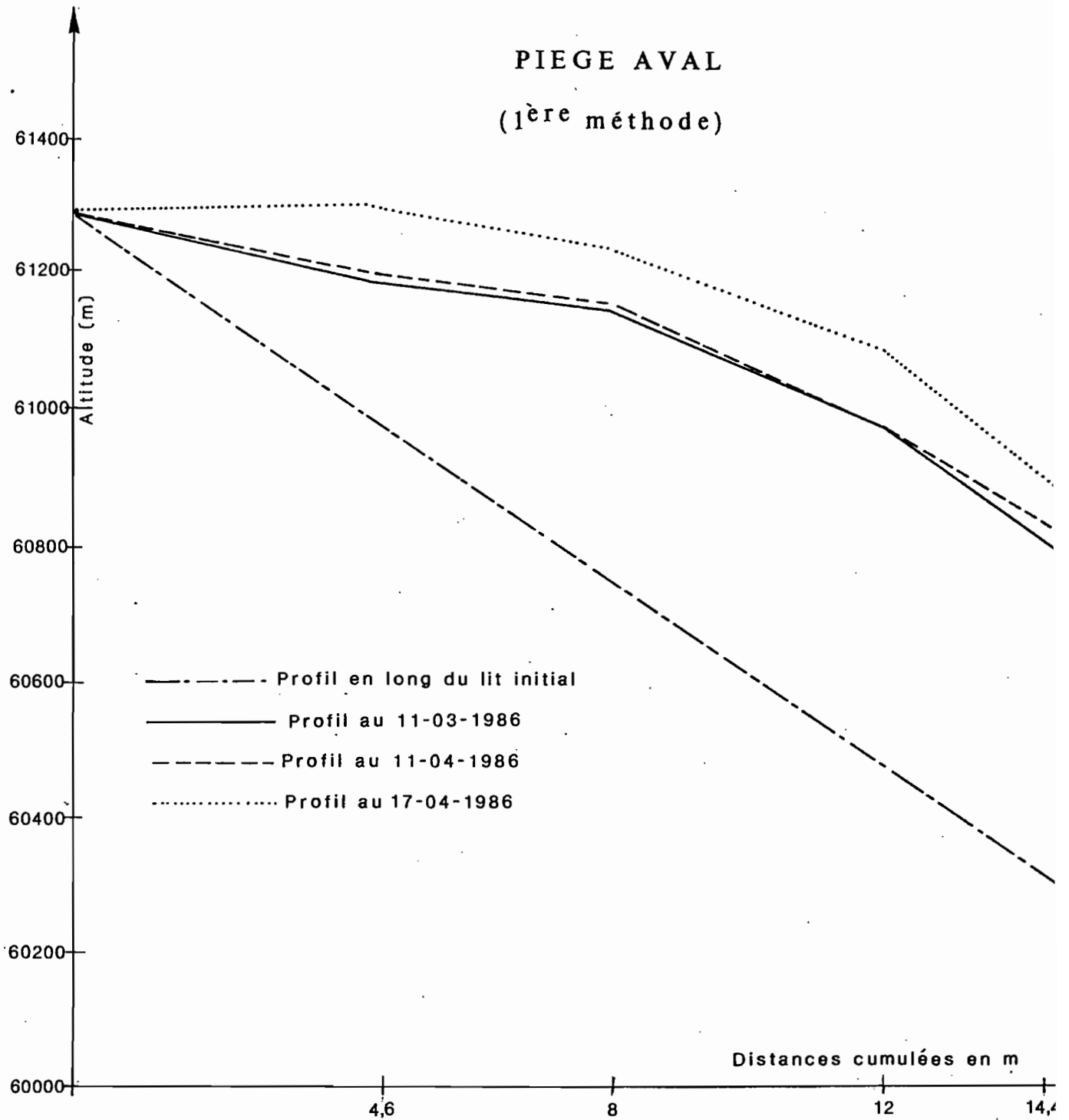


Fig-13b

COURBES DE VOLUME DES SEDIMENTS

PIEGE AVAL
(1^{ère} méthode)



. Calcul de la largeur moyenne

Pour déterminer la largeur moyenne, nous avons utilisé les données des profils en travers.

Considérons un profil en travers d'ordre i (PTi)

A partir de la superposition des deux profils en long, on a déterminé la profondeur P_i qui permet l'estimation de P_{Ti} initial : En comparant la courbe enveloppe du sédiment de P_{Ti} à un rectangle qui aurait la même surface et dont l'un des côtés serait P_i , la largeur moyenne \overline{L}_i est égale au quotient de la Surface S_i par P_i .

$$\overline{L}_i = \frac{S_i}{P_i} \quad \text{en m}$$

Soit L_i la largeur mesurée de ce profil.

On peut calculer le coefficient de correction K_i

$$K_i = \frac{\overline{L}_i}{L_i}$$

Ce coefficient facilite le calcul de la largeur moyenne \overline{L}_i à chaque levé topographique, et par le fait même celui de la largeur moyenne du dépôt.

La largeur moyenne du dépôt (\overline{L}) en amont de chaque piège est obtenue soit en multipliant le K moyen (\overline{K}) par la moyenne des largeurs mesurées, soit en faisant la moyenne des \overline{L}_i (l'erreur qu'on commet en utilisant l'une ou l'autre méthode est de l'ordre de 2%)

Nous ne donnons dans le tableau ci-dessous que les résultats des largeurs moyennes de dépôt en amont de chaque piège pour les 3 périodes.

I	I Largeur moyenne du dépôt en m					I
I Période	I-----I					I
I	I Piège Amont P1		I Piège Aval P2		I	
I-----I						
I 1	I	2.10	I	1.42	I	
I-----I						
I 2	I	2.39	I	1.46	I	
I-----I						
I 3	I	2.53	I	1.50	I	

. Calcul du volume des matériaux accumulés

Le calcul du volume de dépôt expliqué ci-dessus s'est appliqué pour les volumes cumulés (V_c) c'est-à-dire qu'on a quantifié pour chaque levé la matière déposée de juin à la date du levé, la différence des volumes cumulés des deux levés successifs donnant le volume partiel (V_p) (volume correspondant au matériau apporté dans l'intervalle de temps séparant les deux levés).

Le tableau ci-dessous regroupe les résultats des différentes opérations effectuées.

N° du levé	Surface planimétrée (m ²)	Largeur moyenne (m)	Volume cumulé (m ³)	Volume partiel (m ³)
1	8.62	2.10	18.0	18.0
Piège				
2	10.2	2.39	24.3	6.25
Aval				
3	11.1	2.53	28.1	3.80

1	4.7	1.42	6.69	6.69
Piège				
2	4.85	1.46	7.11	0.145
Aval				
3	6.01	1.50	9.04	1.93

On peut alors calculer le volume total des matières apportées au cours de chaque période ; les résultats pour les deux pièges sont donnés dans le tableau ci-dessous :

N° période	total des volumes cumulés (m ³)	total des volumes partiels (m ³)
1	24,7	24,7
2	31,4	6,67
3	37,1	5,73

Par cette méthode, on évalue à 37,1 m³ le volume de matériau déplacé par charriage du 1er juin 1985 au 17 avril 1986.

IV-3-1-2-2-2 Deuxième méthode : méthode basée sur la confrontation des profils en travers

Reprenons le profil en travers PTi considéré ci-dessus. Connaissant les altitudes des points de fin de dépôt à chacune des rives et l'altitude d'un point du lit du cours d'eau à partir du profil en long initial, nous avons estimé la courbe représentative de PTi initial.

Une fois cette opération réalisée pour les PTi, la suite du dépouillement est semblable à celui d'un jaugeage au moulinet.

En effet, le planimétrage de la courbe enveloppe des PTi donne des volumes par unité de longueur.

Ensuite on reporte les résultats en fonction de la distance en partant du piège vers l'amont. La courbe ainsi obtenue est celle du volume des matériaux piégés (figures 14a et 14b).

Le creusement du dépôt signalé précédemment est beaucoup plus marqué avec cette méthode.

Les résultats obtenus sont présentés comme les précédents dans le tableau ci-dessous.

Fig-14a COURBES DE VOLUME DE SEDIMENTS DEPO
PIEGE AMONT
(2^e méthode)

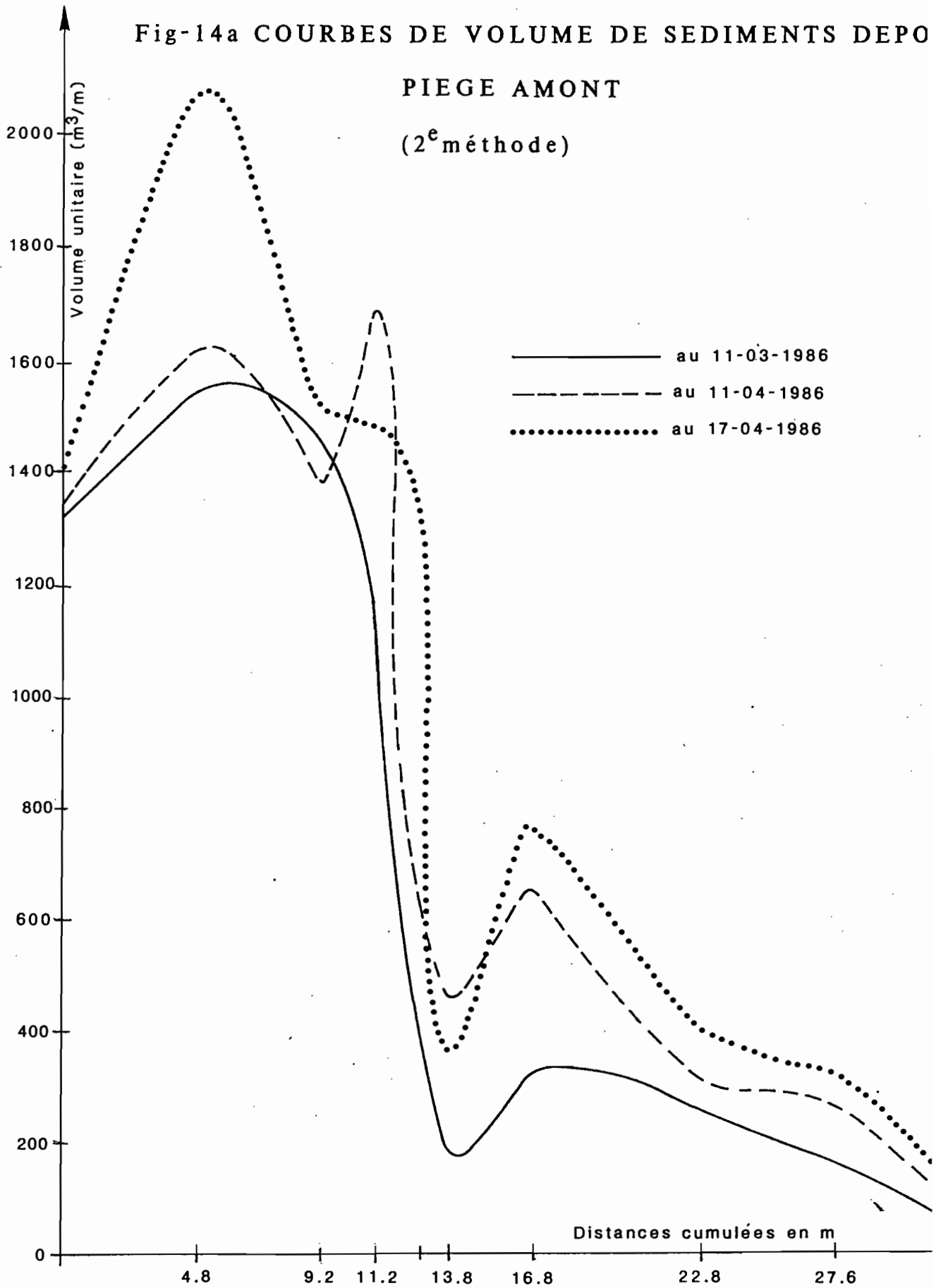
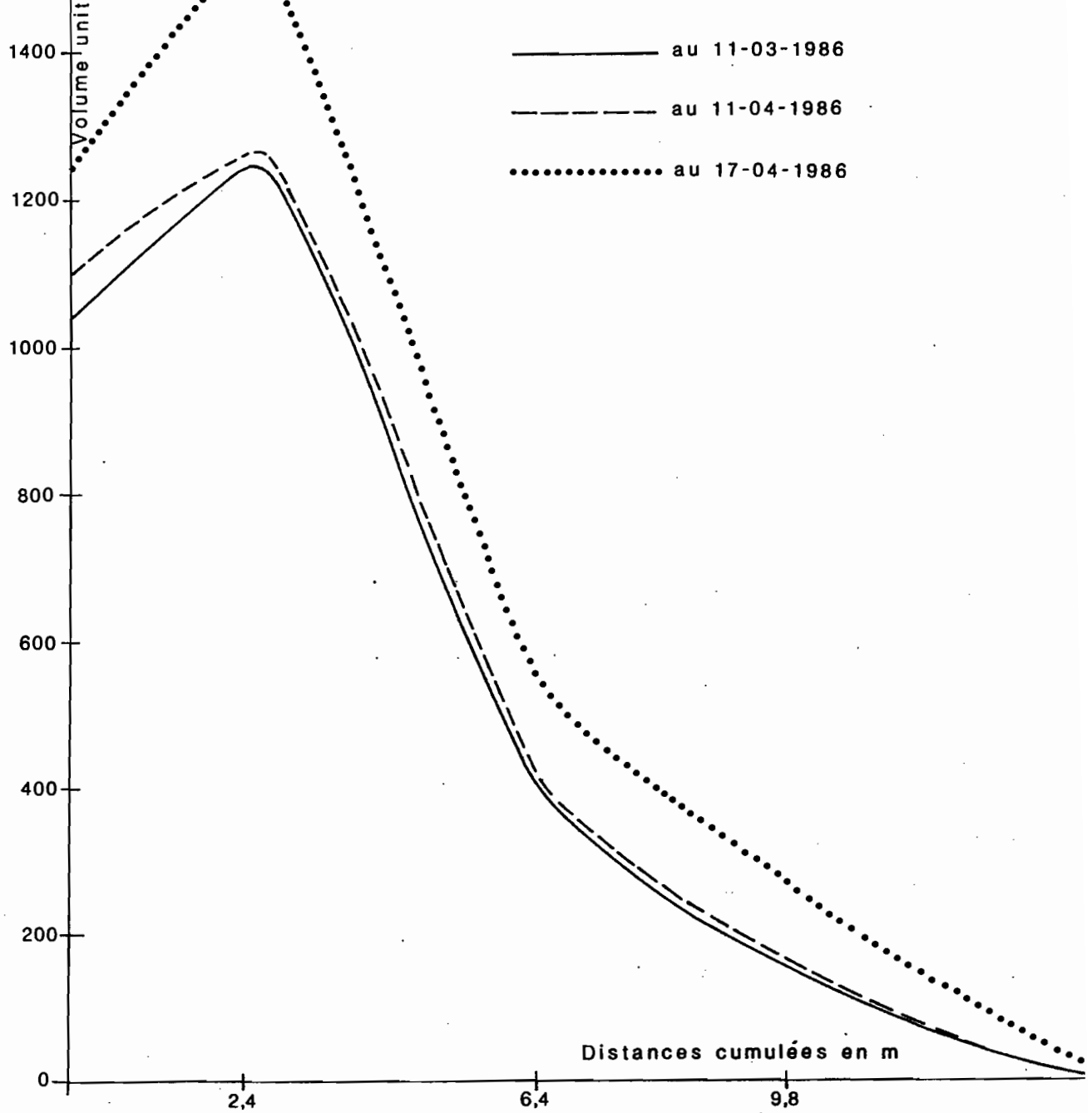


Fig 14b COURBES DE VOLUME DE SEDIMENTS DEPOS

PIEGE AVAL

(2^e méthode)



I	I	I	I	I	I	I
I	I	I	I	I	I	I
I	I	I	I	I	I	I
I	I 1	I	I 21.8	I	I 21.8	I
I	I PiègeI	I	I	I	I	I
I	I 2	I	I 26.1	I	I 4.27	I
I	I AmontI	I	I	I	I	I
I	I 3	I	I 30.7	I	I 4.56	I
I	I 1	I	I 7.27	I	I 7.27	I
I	I PiègeI	I	I	I	I	I
I	I 2	I	I 7.53	I	I 0.266	I
I	I Aval I	I	I	I	I	I
I	I 3	I	I 9.53	I	I 2.00	I

La quantité totale de matériau retenue par les deux pièges est répartie de la même manière dans le tableau ci - dessous.

I	I	I	I	I
I	I	I	I	I
I	I	I	I	I
I	I 1	I	I 29,1	I 29,1
I	I 2	I	I 33,6	I 4,53
I	I 3	I	I 40,2	I 6,56

Le volume total des matières charriées calculé par la seconde méthode est de 40,2 m³, soit 3,1 m³ de plus que celui évalué par la superposition des profils en long.

IV-3-1-2-3 Fiabilité des méthodes de cubage

La fiabilité des méthodes de mesure de volume de sédiments piégés que nous avons employée dépend de la manière dont les travaux préliminaires ont été exécutés et de la stabilité du lit.

C'est ainsi que l'estimation des profils initiaux que nous avons faite présente des incertitudes qui introduisent des erreurs sur les résultats.

Récapitulons dans le tableau ci-dessous les résultats pour les deux méthodes et les deux pièges :

IN° du Ilevé I	VOLUME CUMULE (m ³)		VOLUME PARTIEL (m ³)	
	I 1ère méthode	I 2ème méthode	I 1ère méthode	I 2ème méthode
I 1 I	I 24,7	I 29,1	I 24,7	I 29,1
I 2 I	I 31,4	I 33,6	I 6,67	I 4,53
I 3 I	I 37,1	I 40,2	I 5,73	I 6,56

Ce tableau comparatif des résultats montre une différence assez forte (47%) pour le volume de matériau déposé entre le 11 mars et le 11 avril 1986. Cette différence est due à une

extrapolation erronée des altitudes de points sur les berges par la première méthode de quantification surtout au niveau du piège aval.

En effet l'expérience a montré lors des mesures sur le terrain que les sédiments étaient beaucoup plus entassés au milieu que sur les berges, d'où la diminution des altitudes du milieu vers les rives, suite à une accumulation plus grande des matières au milieu.

Cet abandon de matériau au milieu serait dû à la faiblesse du courant des crues du 19 mars et du 7 avril 1986 qui n'ont pu les étaler comme celle du 15/4/86.

En effet, on a observé un dépôt presque horizontal pour cette dernière crue, et la différence entre les résultats obtenus par les deux méthodes de travail n'est que de 16 % pour le piège amont, 3,4 % pour le piège aval et 12 % pour le total.

La comparaison des deux volumes cumulés minimise les erreurs (15 % pour le premier levé, 6,7 % pour le second et 7,7 % pour le troisième).

En fin de compte, l'ordre de grandeur de l'erreur qu'on commettrait en utilisant plutôt une méthode qu'une autre est inférieur à celui qu'on commet en effectuant généralement les mesures de transport de fond (40 à 50 %).

A partir des observations et de l'expérience faites lors des levés sur le terrain, nous pouvons dire que la méthode basée sur la confrontation d'une série de profils en travers (deuxième méthode) intègre le mieux la non uniformité (due à leur inégale répartition) des sédiments piégés, alors qu'avec la première méthode, on travaille comme si tous les points de dépôt le long d'un profil en travers étaient à la même altitude.

Ainsi donc, nous considérerons pour la suite du travail (calcul du poids du matériau et du bilan d'érosion) les résultats obtenus à l'aide de la deuxième méthode.

Citons pour terminer la méthode de mesure utilisée par Duc Patrick (1984) au Mont Lozère.

Les mesures sont effectuées à l'aide d'une tige métallique graduée en cm. On l'enfonce dans les sédiments jusqu'à atteindre la dalle de béton sous-jacente. On relève alors les profondeurs le long des profils en travers espacés par la même distance. Cette méthode est surtout intéressante pour un lit rocheux (roche dure) ou bétonné.

IV-3-2 POIDS DES MATERIAUX

Le volume des matières retenues par les pièges étant connu, la détermination du poids correspondant nécessite une bonne connaissance de la densité du matériau.

IV-3-2-1 Problème de la densité du matériau

Pour établir la relation entre les mesures volumétriques et les valeurs pondérales, il convient de préciser les différentes définitions de la densité avant d'adopter celle qui cadre au mieux avec la nature des sédiments étudiés.

- Sur les versants, le matériau en place se compose d'un mélange de trois phases solide-eau-air.

- Sous l'eau, les sédiments déposés sont sous forme de boue plus ou moins consolidée.

Hors de l'eau, ces sédiments sont assimilés à un sol (solide-eau-air).

Collet distingue 3 densités différentes :

a) densité réelle de l'alluvion desséchée (d)

C'est le rapport de la matière sèche au volume de l'eau déplacée.

$$d = \frac{P_s}{V_s}$$

b) densité réelle de l'alluvion déposée dans l'eau (d')

C'est le rapport de la somme des poids de la matière solide et de l'eau d'imprégnation au volume total de dépôt

$$d' = \frac{P'}{V'}$$

c) densité fictive (D)

C'est le rapport du poids de la matière sèche au volume total du dépôt.

$$D = \frac{P_s}{V'}$$

Pour mieux définir les liens entre les différentes densités, on peut considérer les variables suivantes :

V_t : volume du dépôt

P_t : poids du sol sec contenu dans le mélange

P_e : poids de l'eau contenue dans le mélange

V_s : volume du sol sec dans le mélange

V_e : volume d'eau

ρ : densité de l'eau = 1

On définit la densité apparente D_a du mélange par le rapport :

$$D_a = \frac{P_t}{V_t} = \frac{P_s + P_e}{V_t} = \frac{P_s}{V_t} \left(1 + \frac{P_e}{P_s} \right)$$

Le rapport $\frac{P_s}{V_t}$ noté D_s correspond à la densité du mélange et le rapport $\frac{P_e}{P_s}$ noté T_e correspond à la teneur en eau du mélange.

D_a s'exprime en fonction de D_s par la relation :

$$D_a = D_s (1+T_e)$$

Si on pose $V_t = 1$, on obtient

$$T_e = \frac{P_e}{P_s} = \frac{V_e}{D_r V_s} = \frac{1-V_s}{D_r V_s}$$

Or,

$$V_s = \frac{D_a - 1}{D_r - 1} \text{ avec } [V_s = \frac{D_a - V_e}{D_r}, V_e = 1 - V_s]$$

$$T_e = \frac{1 - \frac{D_a - 1}{D_r - 1}}{\frac{D_a - 1}{D_r - 1}} = \frac{D_r - D_a}{D_r(D_a - 1)}$$

On peut ainsi exprimer D_s en fonction de D_a et de D_r

$$D_s = \frac{D_a}{1 + \frac{D_r - D_a}{D_r(D_a - 1)}}$$

$$D_s = \frac{D_r (D_a - 1)}{D_r - 1}$$

La densité réelle D_r varie avec la granulométrie alors que la densité sèche D_s varie d'un point à l'autre dans la zone de dépôt et varie aussi avec la profondeur, compte tenu de la consolidation liée au tassement du matériau, phénomène complexe et mal connu.

La complexité du phénomène émane aussi de la difficulté de réaliser des mesures correctes et représentatives sur le terrain.

La mesure de la densité est aussi difficile à réaliser.

Tout ce qui précède a conduit les Ingénieurs Projec-
teurs à admettre qu'une tonne de matières solides transitant à
l'exutoire occupera un mètre cube (1 m^3) de capacité de la re-
tenue du barrage en se basant sur les hypothèses suivantes :

$$D_s = 1,6$$

$$D_r = 2,5$$

Evidemment, ces hypothèses sont approximatives et in-
exactes.

Mais comme l'expérience a montré que la densité sèche
pouvait prendre des valeurs de 0,8 à 1,6 t/m^3 en fonction es-
sentiellement de la teneur en eau du mélange, nous admettrons
la valeur 1,6 t/m^3 pour la densité sèche D_s des sédiments et la
valeur 2,5 t/m^3 pour la densité de la roche en place.

IV-3-2-2. Poids des sédiments piégés

$$\text{Soit } D_s = 1,6 \text{ t/m}^3$$

on a vu que

$$D_s = \frac{D_s}{V_t}$$

$$\text{donc } P_s = D_s V_t = 1,6 \text{ t/m}^3 \cdot V_t$$

avec :

P_s : poids de sédiment sec contenu dans le mélange
terre - eau en tonnes

V_t : volume total du dépôt (mélange terre - eau)

Les résultats des applications numériques pour le total
des volumes cumulés et volumes partiels de chaque période sont

donnés dans le tableau ci-dessous :

I Période	I Poids cumulés	I Poids partiels	I

I 1	I 46,6	I 46,6	I

I 2	I 53,8	I 7,25	I

I 3	I 64,3	I 10,5	I

IV-3-3 COMMENTAIRE DES RESULTATS

Les périodes auxquelles nous faisons référence ci-dessus n'ont aucune signification hydrologique. Elles correspondent tout simplement à l'intervalle de temps séparant la date d'installation des pièges du levé N° 1 ou à celui compris entre deux levées (N° 2 et 3).

Cette précision permet de constater que la quantité de terre érodée est due à quelques événements pluvieux qu'on aurait pu inventorier si les interventions se situaient à la fin de chaque averse importante.

C'est ainsi que le poids de terre $P_2 = 7,25$ t) calculé pour la deuxième période a été apporté par les crues du 19 mars et des 8 et 9 avril 1986. Les averses qui les ont provoquées n'ont pas été enregistrées pour les raisons déjà évoquées.

Par contre, nous avons de bonnes informations en ce qui concerne la quantité de matériau apportée par la crue du 15/4/86. On peut affirmer que ce matériau a été arraché par l'averse du 15/4/86 à 20h 40mn, de 70 minutes de durée, d'une hauteur de 14,2 mm, d'une intensité moyenne de 12,2 mm/h et

d'une intensité maximale en 5 mn de 44,4 mm/h. Cette averse est survenue à la suite d'une pluie de faible intensité qui aurait saturé le sol ; cette pluie est tombée 14 heures plus tôt (donc sol ressuyé). Ainsi s'explique l'importance du matériau évacué par charriage et en suspension au cours de cette crue.

La connaissance des apports de fond de cette crue, ajoutée au poids des MES calculé plus haut, fait de cet événement un exemple type des informations complètes que nous aurions souhaité avoir au cours de cette campagne, afin d'essayer d'établir des corrélations "averse / crue / Transport solide" de la Combe Nègre.

Qu'à cela ne tienne, nous utiliserons les résultats de cet événement pour estimer les apports de fond véhiculés par la crue du 5/10/85 et les transports en suspension des périodes où les MES n'ont pas été prélevées. Toutes ces informations sont indispensables pour l'évaluation du bilan d'érosion de cette première campagne de mesure.

IV-3-4 GRANULOMETRIE DES SEDIMENTS PIEGES

IV-3-4-1 Quelques rappels sur les dimensions des éléments transportés :

On définit la dimension d'une particule par son diamètre apparent mesuré au tamis pour $d \geq 0,1$ mm ou mesuré au microscope jusqu'à 4μ . La répartition des matériaux solides transportés en suspension et par charriage reste alors très délicate, les spécialistes n'étant pas toujours d'accord sur les dimensions maximale et minimale des éléments à considérer dans chacun des types de transport. Néanmoins, on sait d'une façon générale que le diamètre des éléments transportés en suspension est plus petit que celui des matériaux déplacés par charriage, leur délimitation exacte reste liée au degré de tur-

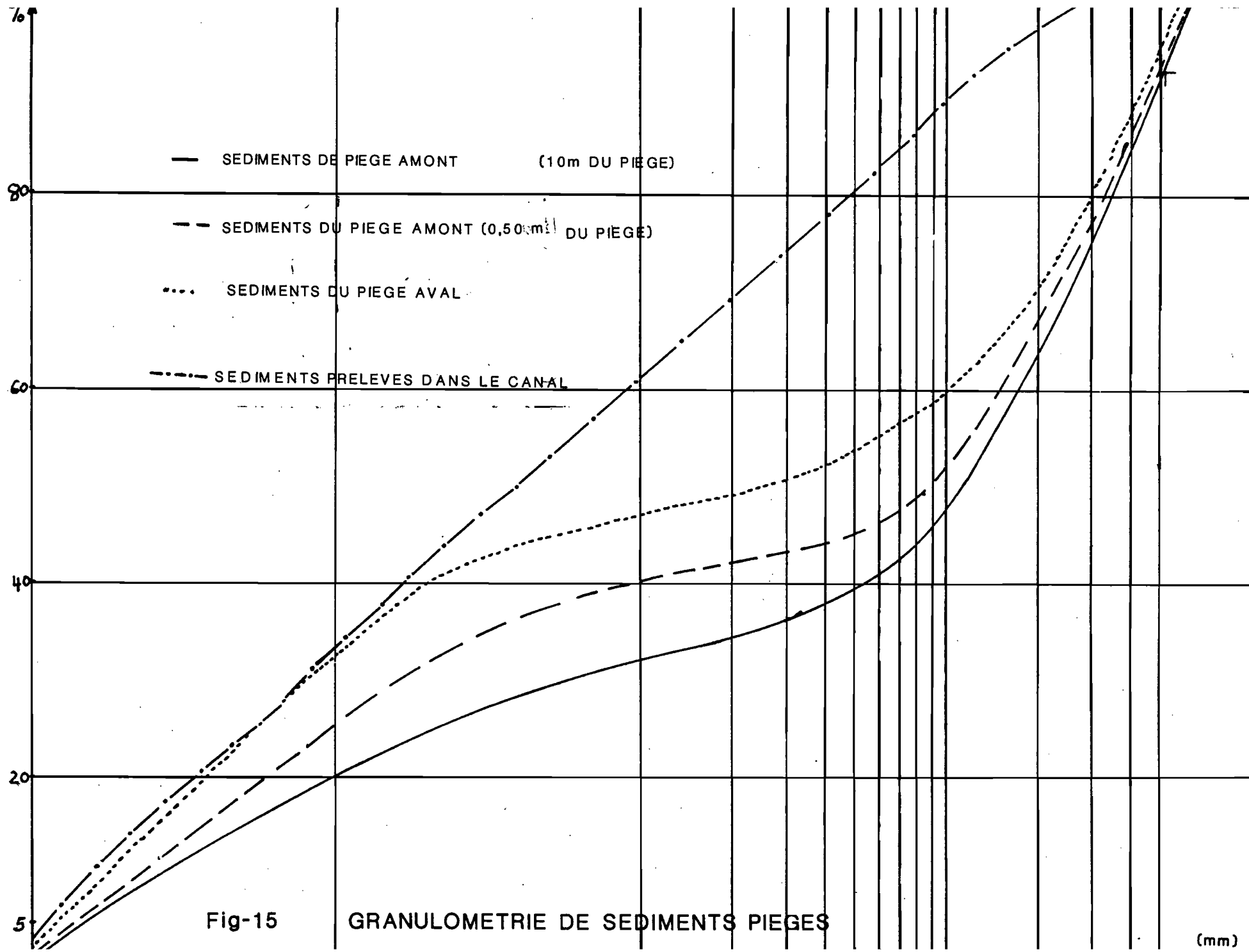
bulence du cours d'eau qui les transporte. On peut tout de même signaler, pour se faire un ordre de grandeur, que certains auteurs pensent qu'au dessous de 0,06 mm et pour une densité de 2,65, les particules sont véhiculées en suspension et que pour des tailles plus grandes leur déplacement peut se faire par l'un et/ou l'autre mode de transport.

IV-3-4-2 Granulométrie des sédiments piégés dans la Combe Nègre

Sur la figure 15 sont tracées en coordonnées semi-logarithmiques, les courbes granulométriques des particules prélevées sur les sédiments accumulés en amont des pièges et provenant des marnes noires qui affleurent dans le bassin de la Combe Nègre. Les résultats d'analyse des échantillons, faite à deux reprises, sont donnés dans le tableau ci-dessous.

Granulométrie des sédiments marneux sous l'eau (Résultats en %) échantillons prélevés le 12/3/86

Ech	> 2 mm	1 à 2 mm	0,5 à 1mm	20 μ à 0,5mm	2 à 20 μ	10 à 2 μ
I 1	36,3	15,8	8,7	14,2	17,1	7,9
I 2	32,7	15,3	7,1	12,9	23,1	9,0
I 3	29,8	10,9	5,6	13,8	26,3	13,5
I 4	3,4	6,8	9,5	38,5	30,5	11,4



Pour toutes ces courbes, l'ordonnée d'un point représente le pourcentage du poids total de l'échantillon dont le diamètre est inférieur à celui porté en abscisse.

Les courbes N° 1 et 2 sont celles des échantillons prélevés respectivement à une dizaine de mètres et à 50 centimètres du piège amont. Grosso-modo, plus de 55 % des matériaux des deux échantillons ont un diamètre supérieur à 0,5 mm. Cette dimension sera considérée dans ce travail comme diamètre caractéristique délimitant les matières en suspension piégées (MESp), pouvant être transportées par saltation tantôt sur le fond, tantôt en suspension des matériaux charriés par roulement ou par glissement sur le fond du lit du cours d'eau.

On constate pour être plus précis que le pourcentage des sédiments de diamètre supérieur à 0,5 mm de la courbe n° 1 (61 %) est supérieur à celui de la courbe n° 2 (55 %).

Cette répartition illustre bien le schéma suivant lequel les matériaux grossiers se déposent les premiers, avec la diminution de la vitesse du courant d'eau qui les transporte et que les fins sont souvent entraînés plus loin.

L'échantillon de la courbe n° 3 a été prélevé sur les sédiments du piège aval. Il donne un pourcentage moins élevé des matériaux grossiers (46,3 %) que ceux des échantillons 1 et 2 ; cette différence montre que ces sédiments sont constitués en grande partie des particules qui ont traversé les mailles des grillages du piège amont, avec un apport d'éléments grossiers du versant compris entre les deux pièges.

Le pourcentage des éléments fins de l'échantillon n° 4 prélevé dans le canal d'amenée est très grand (80 %), ce qui indique que les matières exportées à l'exutoire du bassin sont essentiellement des MES (et qu'il y a décantation des MES du volume résiduel restant dans le canal).

Les matériaux grossiers qu'on y retrouve proviennent du

versant compris entre le canal et le piège aval.

Il convient de remarquer que le taux des éléments grossiers de diamètre supérieur à 2 mm est environ 2 fois plus petit que celui du premier rapport (75 à 80 %), J.C. Olivry, 1986.

Ceci s'explique par le fait que les échantillons qui ont donné ces résultats avaient été prélevés sur des sédiments piégés naturellement, aucun obstacle majeur ne pouvant retenir les fins, comme dans les cas des piégés.

IV-3-5.- LA CALCIMETRIE

Afin d'apprécier la plus ou moins grande résistance des roches de la Combe Nègre à l'érosion, on a procédé à l'analyse calcimétrique de quelques échantillons prélevés sur différents endroits du bassin.

Le tableau ci-dessous donne le pourcentage de CaCO₃ et les sites de prélèvement.

I N° Ech. I	I % CaCO ₃ I	I Site de prélèvement I
I 1 I	I 41,5 I	I versant rive droite I
I 2 I	I 36,2 I	I versant rive gauche I
I 3 I	I 34,5 I	I versant rive gauche I
I 4 I	I 51,8 I	I lit du ruisseau I

Les résultats des échantillons 2 et 3 prélevés à deux sites différents sur les versants de la rive gauche sont presque identiques (36,2 et 34,5 % de CaCO_3). Ils sont aussi très proches des 41,5 % de l'échantillon N° 1 (Rive droite).

On peut dire que les marnes noires du bassin contiennent la même quantité de CaCO_3 , dont le pourcentage se situerait autour de 40 %, ce qui explique une faible résistance à l'ablation.

Par contre, les 52 % en CaCO_3 de l'échantillon N° 4 font penser que le faciès du lit du ruisseau serait marno-calcaire (carixien) donc un peu plus résistant à l'érosion.

V - CALCUL DU BILAN

D'EROSION

V - CALCUL DU BILAN D'ÉROSION

Le bilan d'érosion se limitera ici à l'érosion mécanique, donc au bilan des transports de fond et des transports en suspension.

S'agissant précisément du transport en suspension, nous avons fait remarquer qu'il n'a été mesuré que pour deux événements (5/10/85 et 15/4/86) avec la mesure du matériau de fond uniquement pour le dernier événement.

Afin d'établir un bilan d'érosion un peu plus complet, nous essaierons d'estimer le poids des MES dont le prélèvement n'a pas été effectué à partir des résultats de transport solide mesuré le 15/4/86.

V - 1 ESTIMATION DU POIDS DES MES

Considérons les variables suivantes :

- P_{TMT} : Poids total de matières transportées
- P_{TMES} : Poids total des MES
- P_{TMF} : Poids total des matières de fond
- P_{TCH} : Poids total des matières charriées ($d \geq 0,5$ mm)
- P_{TMESP} : Poids total de MES piégées ($d < 0,5$ mm)
- P_i () : Poids de matières correspondant à la période i

Les différents poids sont exprimés en tonnes (t)

Le bilan d'érosion s'établit ainsi :

$$P_{TMT} = P_{TMES} + P_{TMF}$$

Or, P_{TME} correspond à trois séries de mesure.

Il peut alors s'écrire :

$$P_{TME} = P_{1\ ME} + P_{2\ ME} + P_{3\ ME}$$

$P_{3\ ME}$ correspond à la crue du 15/4/86 dont on connaît le poids de MES ($P_{3\ MES}$).

Par ailleurs, on sait par l'analyse granulométrique que les sédiments piégés se composent de matériaux grossiers ($d \geq 0,5$ mm) et de matériaux fins ($d < 0,5$ mm) ou matières en suspensions piégées (MESp). On connaît également le pourcentage en poids de chacun des groupes et pour chacun des pièges.

Soit $P_{3\ TMT}$ le poids total des apports solides du 15/4/86.

On peut écrire :

$$P_{3\ TMT} = P_{3\ MT} + P_{3\ MES}$$

Or,

$$P_{3\ MT} = P_{3\ CH} + P_{3\ MESp}$$

Si on affecte les lettres A au pourcentage de MESp du piège amont et B à celui de MESp du piège aval, on peut tirer les P_{MESp} dans chacun des cas à partir des P_{TMT} .

D'après l'analyse granulométrique, $A \approx 42$ % et $B \approx 54$ %. Le tableau du poids (en tonnes) suivant la granulométrie est ainsi constitué :

I Période I	I PIEGE AMONT			I PIEGE AVAL			I TOTAL	
	I P _{MF}	I P _{MESp}	I P _{CH}	I P _{MF}	I P _{MESp}	I P _{CH}	I P _{MESp}	I P _{CH}
I 1	I 34,9	I 14,7	I 20,2	I 11,6	I 6,26	I 5,34	I 21,0	I 25,5
I 2	I 6,83	I 2,87	I 3,96	I 10,42	I 0,23	I 10,19	I 3,1	I 4,15
I 3	I 7,30	I 3,07	I 4,23	I 3,20	I 1,73	I 1,47	I 4,8	I 5,7
I TOTAL	I 49,1	I 20,6	I 28,4	I 15,3	I 8,22	I 7,01	I 28,9	I 35,4

Ce tableau montre qu'environ 45 % de matériaux accumulés ont un diamètre inférieur à 0,5 mm.

Sur les 10,5 t de matériaux déplacés par charriage par la crue du 15/4/86, le poids de MESp est de 4,73 t. On peut établir un rapport r entre les MES et les MESp.

$$r = \frac{P_{MES}}{P_{MESp}} = \frac{1,110}{4,73} \approx 0,23$$

Estimation à partir de r, du poids des MESp transportées par la crue du 5/10/86.

$$P_{MESp} = \frac{P_{MES}}{r} = \frac{1,8 \text{ t}}{0,23} = 7,83 \text{ t}$$

Calcul du poids des MES pour la première période, hormis l'évènement du 5/10/85.

$$P_{MES} = r (P_{MESp} - 7,83)$$

$$P_{MES} = 0,23 (21 - 7,83) = 3,03 \text{ t}$$

Le poids total des apports en suspension de la première période (avec la crue du 5/10, soit 1,8 t + 3,03 t) est évalué à 4,83 t.

En procédant de la même façon que ci-dessus, on estime P_{MES} à 0,717 t.

Ainsi donc, le poids total des MES exportés à l'exutoire de la Combe Nègre pourrait être estimé à

$$P_{TMES} = 6,65 \text{ t}$$

V-2 EVALUATION DU BILAN D'ÉROSION

A défaut des mesures sur les versants, nous nous contenterons d'évaluer le bilan d'érosion de cette campagne à partir des résultats de mesure des apports solides.

Le tableau ci-dessous contient les poids (tonnes) suivant la granulométrie et pour chaque période.

I Période I	I P_{CH} I	I P_{MESp} I	I P_{MES} I	I TOTAL I
I 1 I	I 25,5 I	I 21,0 I	I 4,83 I	I 51,3 I
I 2 I	I 4,15 I	I 3,10 I	I 0,717 I	I 7,97 I
I 3 I	I 5,7 I	I 4,8 I	I 1,1 I	I 11,6 I
I TOTAL I	I 35,4 I	I 28,9 I	I 6,65 I	I 70,9 I

La charge fine atteint donc un total de 35,6 tonnes (28,9 + 6,6) soit un peu plus de 50 % de la charge totale, les éléments plus grossiers totalisant 35,4 tonnes.

On constate que sur les 70,9 tonnes de matériaux arrachés des versants de la Combe Nègre entre juin 85 et avril 86, environ les 9/10ème sont retenus par les pièges ; 10 % seulement transitent en suspension à l'exutoire. Dans l'ensemble, en prenant le diamètre limite de 0,5 mm, la Combe Nègre véhicule autant de matériaux grossiers que de matériaux fins (résultat semblable à celui de Pardé pour les torrents alpins).

V - 3 COMPARAISON DES RESULTATS

Il paraît important de comparer les résultats de bilan d'érosion de la Combe Nègre à ceux d'autres bassins déjà étudiés.

Pour ce faire, on pourrait déterminer des paramètres de comparaison.

V-3-1 RAPPEL DE QUELQUES DEFINITIONS

La turbidité spécifique (Ts)

Pardé (1953) la définit comme le poids moyen annuel des troubles par mètre cube. Elle s'exprime en kg/ m³ ou en g/l.

La dégradation Spécifique (Ds)

C'est le rapport du poids total de sédiments transportés à l'unité de surface et par an. Elle s'exprime en kg/ha an ou en t/km² an.

On peut aussi calculer ces deux paramètres pour chaque crue, pour chaque mois ou pour chaque année.

La notion de turbidité ne doit pas être confondue à la concentration, qui est une donnée mesurée ; ce qui signifie que, pour une même crue, la concentration moyenne (moyenne de toutes les valeurs de concentrations sur le nombre d'échantillons prélevés) est différente de la turbidité spécifique, qui elle, intègre les débits liquides et solides ; elle correspond à la concentration moyenne.

La turbidité spécifique se relie à la dégradation spécifique par la valeur de la lame écoulée de la période ou de l'évènement considéré.

Soit L_r la lame écoulée en mm :

$$T_s = \frac{D_s}{L_r}$$

avec :

D_s : dégradation spécifique en t/km^2

T_s : Turbidité spécifique en kg/m^3

V-3-2 CALCUL DES TURBIDITES ET DES DEGRADATIONS SPECIFIQUES

Nous avons considéré pour les calculs de ces paramètres la superficie qu'occupent les affleurements marneux du bassin de la Combe Nègre, c'est-à dire environ 2 ha.

La turbidité spécifique pour la crue du 5/10/85 est de $6,82 kg/m^3$ pour un débit moyen spécifique de $1,23 m^3/s.km^2$.

Elle est de 6,88 kg/m³ pour un débit moyen spécifique de 0,370 m³/s.km².

La valeur élevée de Ts pour un débit moyen spécifique faible peut surprendre ; elle pourrait s'expliquer par une dégradation des sols plus active pendant les gels de l'hiver.

Toujours pour ces deux crues, la dégradation est de 90 t/km² pour la première crue et de 55 t/km² pour la seconde.

Les valeurs des dégradations pour le charriage, les matières en suspension piégées et les matières en suspension calculées pour chacune des périodes sont données dans le tableau ci-dessous :

I Période I	1	I 2	I 3	I TOTAL I
I Ds I	2565	I 399	I 580	I 3545 I
I en t/km ² I		I	I	I

Cette approche chiffrée de la Turbidité spécifique de la dégradation spécifique des marnes de la Combe Nègre est assez dérisoire à l'échelle des crues et des périodes considérées pour tenter une comparaison avec les autres bad-lands.

En effet, les valeurs de Ts et de Ds sont plus intéressantes quand on a une longue série de données pour les calculer à l'échelle annuelle. De plus, ne connaissant pas la périodicité de retour des averses et des crues qui ont apporté ces matériaux, force est de reconnaître que nous ne pouvons les situer par rapport aux événements exceptionnels. Afin de faire

tout de même les comparaisons, nous allons essayer d'estimer la dégradation spécifique sur les douze mois d'observations.

V-3-3 ESTIMATION DE LA DEGRADATION SPECIFIQUE ANNUELLE

Le bilan d'érosion pour la campagne d'étude a été évalué à 70,9 t, ce qui correspond à une dégradation spécifique de 3545 t/km² sur les 2 hectares actifs du petit bassin.

Cette valeur couvre la période allant du 1/6/85 au 17/4/86, date à laquelle le déversoir et les pièges ont été démontés (pour nettoyage par de prochains orages).

On va essayer, faute de données suffisantes pour les statistiques (corrélation), d'estimer l'ordre de grandeur de la dégradation spécifique annuelle (01/06/85 - 31/05/86), non représentative d'une année hydrologique, en se référant aux averse enregistrées après le 17/4/86 et aux chiffres des apports solides de la crue du 15/4/86.

Pour ce faire, nous nous limiterons aux averse de hauteur $P \geq 5$ mm, d'intensité moyenne $I_{moy} \geq 5$ mm/h et d'intensité maximale en 5 mn $I_{max} \geq 12$ mm/h.

Les caractéristiques des averses ainsi sélectionnées de même que celles du 15/4/86 sont données dans le tableau ci-dessous.

I	I	I	I	I	I	I
I date	I P(mm)	I (mn)	I moyenne	I maximale en	I	I
I	I	I	I (mm/h)	I 5 mn (mm/h)	I	I
I15/4/86I	I 14,2 I	I 70 I	I 12,2 I	I 44,4 I	I	I
I25/4/86I	I 5,6 I	I 68 I	I 4,94 I	I 27,6 I	I	I
I27/5/86I	I 12 I	I 60 I	I 12,0 I	I 48,0 I	I	I

Il ressort de ce tableau que l'averse du 27/5/86 est semblable à celle du 15/4/86 tant sur la hauteur de la pluie tombée et sa durée que sur les intensités moyennes et maximales en 5 mn.

Si on ne considère donc que cette averse du 27/5/86, sachant que l'averse du 15/4/86 a produit 11,6 tonnes de matériaux, soit une dégradation de 580 t/km², on pourrait s'attendre à un chiffre voisin pour l'averse du 27/5/86.

Cette approche nous amène à estimer à environ 4000 t/km² la dégradation spécifique annuelle (juin 85 à mai 86) sur le bassin versant de la Combe Nègre.

V-3-4 CALCUL DE LA TRANCHE DE MARNES DECAPEES

L'estimation de la hauteur de la roche érodée nous ramène à nouveau au problème de la densité. Nous avons vu dans ce chapitre qu'on adoptait assez souvent pour la roche en place, une densité réelle $D_r = 2,5$.

Le volume de la roche (V_r) arrachée sur les versants de la Combe Nègre par km^2 est égal au rapport de la dégradation spécifique sur la densité de la roche en place.

$$V_r = 1600 \text{ m}^3/\text{km}^2 \cdot \text{an}$$

soit une tranche décapée annuelle de 1,6 mm.

Cette lame érodée, à priori, paraît très petite. Mais s'il part en moyenne chaque année cette hauteur de marnes, elle correspond à 16 cm en 100 ans et à 1,6 m en 1000 ans

V -3-5 COMPARAISON DES RESULTATS

Pour se faire une idée du processus d'érosion dans le bassin de la Combe Nègre, nous donnons ci-dessous les valeurs de dégradation spécifique annuelle mesurées sur d'autres bassins, mais de très grande taille (il est à noter que les comparaisons n'auraient de signification que sur des bassins de même nature et de même taille).

En Chine, le Whei-Ho, affluent du Houang-Ho, de superficie égale à 145 000 km², on atteint une D.S. de 3 369 t/km² . an. En 1935 la D.S. du Huang Ho dépasse 2000 t/km² . an.

Le Lo-Ho, autre affluent du Huang-Ho a connu, toujours en 1935, une D.S. de 6 068 t/km² . an pour un B.V. de 10 600 km².

En Italie, l'Enza dont le B.V. a une superficie de 670 km² a atteint une D.S. de 2500 t/km² . an.

En Algérie, L'Oued Isser a une D.S. moyenne de 1966 t/km² . an pour un B.V. de 2570 km².

On a mesuré des D.S. de 5 000 t/km² en Illinois (U.S.A.).

Au Cameroun, les travaux de J.C. Olivry (1974) donnent des D.S. de 210 t/km² . an pour la Tsanaga (1 535 km²), 85 t/km² . an pour le Mbam (42 300 km²), affluent de la Sanaga et 28 t/km² . an pour la Sanaga. L'auteur note également que l'essentiel du transport solide du Mbam est fourni par les zones cultivées du pays Bamiléké qui ne représentent que les 10 % de la superficie totale des B.V. du Mbam. En effet, dans ces zones, des valeurs de plus de 2 000 t/km² . an ont été estimées sur la Mifi-Sud à Bamougoum ; de même, des mesures sur petites parcelles sur les terres noires de Baleng ont donné 12 000 t en

trois mois de saison des pluies, l'ablation pouvant atteindre 10 à 15 mm de lame érodée par an .

En France des valeurs encore plus fortes que celles de Baleng (15 à 20 000 t/km² . an) sont localement observées sur de petits bassins sur terres noires dans les Alpes du Sud (Etudes du groupe BRGM-ORSTOM dans la région PACA) ; dans les Baronnies orientales Luc Descroix (1985) a mesuré du 18 avril 1983 au 20 novembre 1984 sur un bad-land d'une centaine de m², "un poids de matériaux secs de 1 285 kg , ce qui correspond à une tranche découpée de 1,3cm pour une densité de 1". La D.S. annuelle calculée est de 8 000 t/km² . an.

Sur le bassin versant des Cloutasses (81 ha), au Mont Lozère, Duc Patrick (1984) a calculé, pour la période de juillet 1982 à juillet 1983, une dégradation de 10,3 t/km², et pour celle d'août 1983 à juillet 1984 une dégradation de 2,8 t/km² ; les mesures ont porté uniquement sur les matières de fond piégées dans une fosse à sédiments, provenant du granite porphyroïde, ce qui explique la faible quantité de matériau mobilisé.

M. Pardé indique des valeurs de dégradation spécifique supérieures à 500 t/km² . an dans les Grandes Alpes, dépassant même 1 000 t/km² . an dans certains secteurs.

A. Nizery et AL (1952) ont mesuré à la station du Sautet pendant la période du 1er mai au 31 décembre 1951 sur la Drac 650 000 t de MES soit une dégradation de 1 400 t/km² et sur la Sévérairaise 150 000 t, soit une dégradation d'environ 700 t/km².

A la sortie du bassin de la Combe de Mortiers (en aval de la station principale), Le Grand B. (1976) a mesuré le 16 décembre 1975 un débit solide de 4 335 g/s pour un débit de 540 l/s (cette station contrôle une superficie de 3,12 km²).

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE

La courte série d'observations à l'issue de laquelle ce modeste rapport a été rédigé montre que, de par sa situation dans le domaine brutal du climat méditerranéen, avec des crues survenant après de longues sécheresses ou parfois après des alternances de gel et dégel préparant le terrain à une forte mobilisation des agrégats, de par son relief (pentes relativement fortes) et sa nature lithologique (marnes noires du toarcien facilement altérables) et aussi en raison de la faible densité de la végétation qui la clairsème, le BRE de la Combe Nègre appartient au domaine des bad-lands (paysages où sévit surtout l'érosion par ravinement).

La comparaison de la valeur du transport solide spécifique chiffré sur ce bassin à environ 4 000 t/km² pour la période de juillet 1985 à juin 1986 avec celles d'autres bassins mais de grande taille, (cités comme champions en matière d'érosion mécanique dans le monde) laisse penser que ce résultat, malgré sa situation dans la gamme des chiffres probables, est tout de même dérisoire pour ce bassin de faible superficie. Mais si des débits solides en suspension comme ceux du 5/10/85 (1 134g/s) subsistaient pendant une heure, on aurait un départ de 4,1 tonnes de matériau, soit une lame de 0,08 mm ; fort heureusement, ils ne durent que pour très peu de temps.

Toutefois au niveau de la France, sans qu'on soit sûr d'avoir enregistré parmi ce faible nombre de mesures un seul événement exceptionnel, la dégradation de 4 000 t/km² bien que très inférieure à celle mesurée localement dans les Alpes du sud, rend compte du caractère particulièrement sensible à l'érosion des marnes. Celles-ci fournissent l'essentiel des matériaux exportés lorsqu'elles s'inscrivent dans un paysage géologique donné.

La dégradation plus forte observée sur les bassins FACA tient probablement pour beaucoup à des teneurs en CaCO₃ nettement plus faibles qu'au Pic St Loup. (J. C. Olivry).

On a constaté à plusieurs niveaux de ce travail que l'érosion est un phénomène discontinu, dépendant aussi bien des facteurs naturels qu'humains.

L'extrapolation des résultats d'un bad-land à un autre s'avère très délicate.

En l'occurrence, la multiplication des mesures sur le terrain, sur une longue période semble être le meilleur moyen pour parvenir à l'élaboration d'un modèle "Bilan érosif" permettant une évaluation plus correcte de la rentabilité des ouvrages projetés (comblement des retenues).

Il convient ici de formuler quelques suggestions pour les prochaines campagnes de mesure sur le "BRE du Pic St Loup" :

*** Pluviométrie**

- Ajouter à l'Oedipe un tambour pour l'enregistrement sur papier des pluviogrammes

- Essayer au mieux de mesurer les pluies en hauteurs journalières.

*** Hydrométrie**

- Installer un élément d'échelle en dessous du zéro du déversoir (dans le canal d'amenée) à partir duquel on peut caler et contrôler les cotes des limnigrammes .

Faire des mesures de débit qui permettent la correction

de la courbe théorique de la station S2

*** Transports solides**

+ en suspension :

- Installer les échantillonneurs automatiques pour les prélèvements pendant la décrue.

- Multiplier les prélèvements manuels pendant les crues.

+ par charriage

- Vider les pièges à sédiments et faire des profils en long et en travers bien matérialisés avant le démarrage d'une nouvelle campagne.

- Faire le cubage des sédiments piégés après chaque événement important.

On pourrait aussi envisager la présence sur place, à certaines périodes, d'une brigade de mesure pour contourner les difficultés dues à l'éloignement et à la courte durée des crues qui ne surviennent généralement que la nuit.

De ces suggestions et bien d'autres encore dépendent l'établissement de relations entre l'érosion et les facteurs hydroclimatiques et géomorphologiques, et l'élaboration de modèles de flux régionaux.

Nous ne saurons terminer ce mémoire sans attirer l'attention du lecteur sur le fait que la plupart de nos résultats sont obtenus par approximation après émission de certaines hypothèses et correction de données peu fiables ou estimation de

données manquantes, suite à la maigre série des observations et aux lacunes enregistrées.

Il convient d'ajouter que le projet était encore dans sa phase de mise au point et de rodage et que de nombreuses difficultés matérielles ont été rencontrées par les responsables.

Cependant, le fait capital et incontestable reste que l'évaluation du bilan d'érosion est jusqu'alors très imprécise.

On avance pour les erreurs admises les chiffres de 10 % pour le transport dissous, de 15 à 20 % pour le transport solide en suspension et de 40 à 50 % pour le transport de fond.

Ceci explique sans doute les nombreux projets en cours en France et en Italie dans ce domaine.

Aussi, osons-nous espérer que ce travail, donnera une évaluation grossière des résultats escomptés, permettra la rectification des imperfections de cette première campagne de mesure et sera utile pour la mise au point des prochains travaux afin que la précision des résultats soit améliorée de même que les connaissances approfondies sur les mécanismes d'érosion.

ANNEXES

ANNEXE 1

PLUVIOMETRIE

Tableau 1 : Pluies journalières de la Jasse et de la combe de Mortières pour les périodes où les pluviographes sur les deux bassins ont bien marché

MOIS	JANVIER 86		AVRIL 86		MAI 86	
DATE	JASSE	MORTIES	JASSE	MORTIES	JASSE	MORTIES
1	-	1.4		-		
2	-	1.6		-	0.1	
3	-		0.4	-	2.1	
4	-		2.4	-		
5	-	0.2	0.1	-		0.6
6	-		0.4	-	36.4	5.8
7	-		0,3	-	4,3	1,2
8	-		45,6	-		
9	-			-		
10	Pa			-		
11				-	0.2	
12						
13						
14			4,8	4,2	4,0	1,6
15			39,2	22,0	0,1	
16			7,3	2,6	-	
17			0,7		-	
18					-	
19	0,2				-	
20			0,3		-	
21			2,6		-	
22			0,2	0,4	-	
23	0,2				-	
24	1,0	0,8	13,1	7,2	-	
25			11,8	7,0	-	
26				0,4	-	
27					-	12
28	45,4	29,8	0,1		-	
29	20	10,4			-	
30	25,4	12,8			-	
31	7	1,8				
TOTAL	(99,2)	58,8	129,3	(43,6)	(47,2)	22

Pa : pose appareil
- : lacunes ou données douteuses

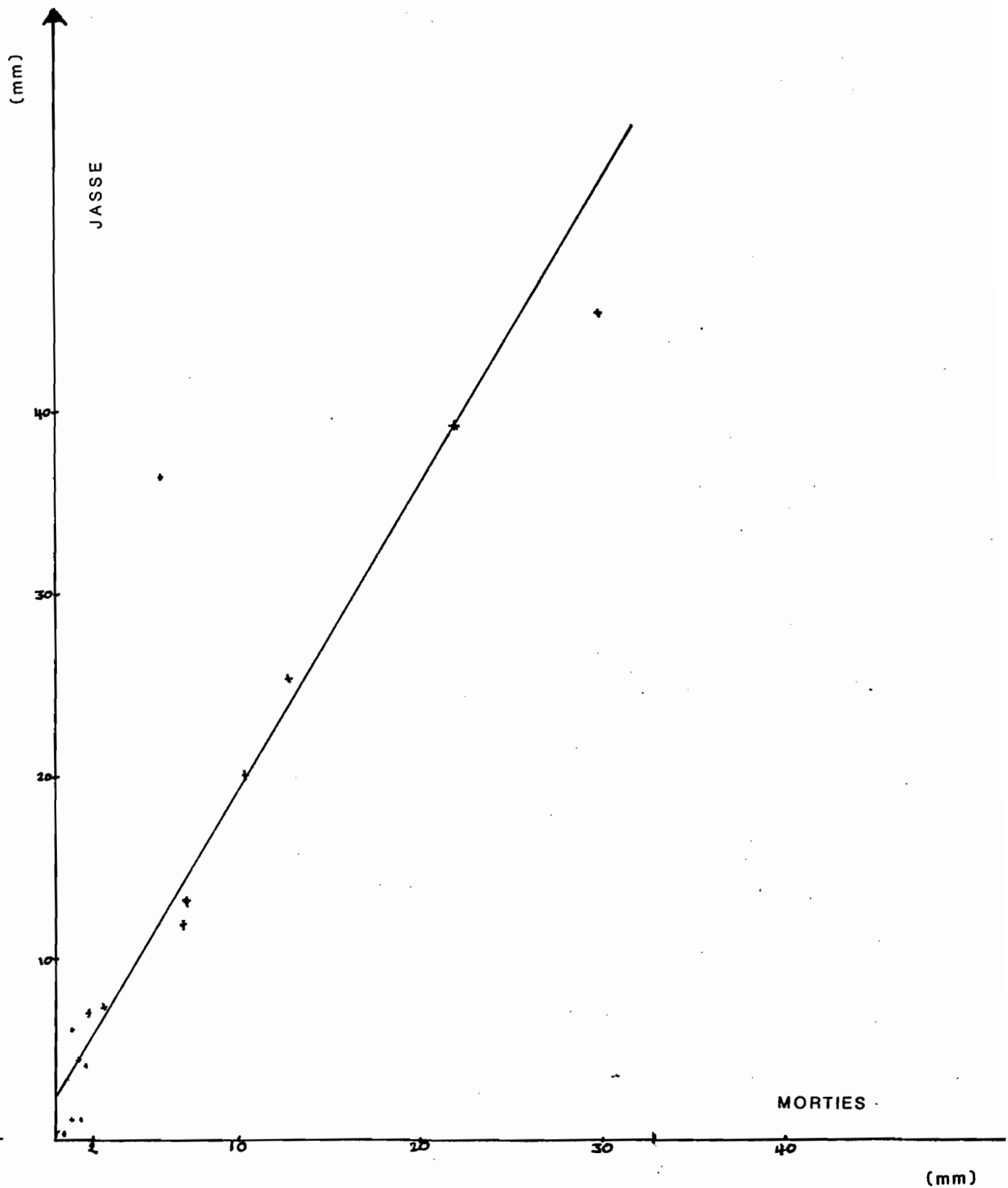


Fig-5 CORRELATION ENTRE PLUIES JOURNALIERES DE LA JASSE ET DE MORTIES.

Tableau # **FICHE PLUVIOMETRIQUE ANNUELLE** pour fichier en l'état

ETAT : FRANCE STATION : St JEAN DECUCULLES

SOURCE DES RELEVES : NUMERO :

J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année 198	
												ICOMP	ICOM
												JIRD	IRD
												JLNO	LNO
												TOTALS	

PRECIPITATIONS JOURNALIERES

1			4									1											
2												2											
3												3											
4												4											
5			10				15		30		29	5											
6				42								6											
7												7											
8		4	5									8											
9				12		13						9											
10							3					10											
11				17								11											
12	Neige										16	12											
13				12								13											
14												14											
15												15											
16												16											
17				12								17											
18												18											
19						3						19											
20			3									20											
21	13											21											
22			3									22											
23	5										10	23											
24							10					24											
25									13		15	25											
26									38			26											
27									3			27											
28												28											
29												29											
30	X											30	9										
31	X		X		X		X		X		X	31	9										
18	4	35	10	45	3	13	20	0	84	16	54	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D

J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	JOURNALIERS	
												COMMENTAIRES P	
												BANDES	
												MENSUELS	
												SOURCE	
												TOTAL	
												FREQUENCE	
												QUALITE	

OBSERVATIONS pour fichier en l'état

FICHE PLUVIOMETRIQUE ANNUELLE pour fichier en l'état

ETAT :

STATION : Jean-de-Gueulles

SOURCE DES RELEVES : NUMERO :

J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année 19	
												ICOMP	ICOM
												JIRD	IRD
												JLNO	LNO
												TOTAUX	

PRECIPITATIONS JOURNALIERES

1			28											1																		
2	6													2																		
3	3	+		7										3																		
4		55												4																		
5	3	32												5																		
6				15										6																		
7			17											7																		
8			14											8																		
9			9											9																		
10														10																		
11														11																		
12														12																		
13														13																		
14		20												14																		
15			15											15																		
16			17											16																		
17		20			21									17																		
18					2	12								18																		
19			23											19																		
20														20																		
21														21																		
22			3											22																		
23														23																		
24														24																		
25			20											25																		
26		3												26																		
27		20		13										27																		
28														28																		
29	5													29																		
30	1	X		X		X		X		X				30																		
31	2	X		X		X		X		X				31																		
103	150	557	101	33	23	-						J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S

JOURNALIERS
COMMENTAIRES P
BANDES
SOURCE
TOTAL
FREQUENCE
QUALITE
} MENSUELS

OBSERVATIONS pour fichier en l'état

Tableau 6

METEOROLOGIE

PRECIPITATIONS MENSUELLES POUR L'ANNEE 1985

Indicatif INSEE :342741

ST MARTIN DE LONDRES

Altitude : 200

	JANV	FEVR	MARS	AVRIL	MAI	JUIN	JUIL	AOUT	SEPT	OCT	NOV	DI
1			16.0			Traces	Traces				0.1	5
2						1.0				Traces		7
3			1.5		5.6	1.1	2.9		0.4	Traces	0.8	6
4			1.0	4.7		1.8	Traces			85.1	0.5	7
5				31.2	45.0			17.2		3.4	3.6	56
6					7.9	49.1						
7		0.3	0.3	Traces	Traces							
8		1.6	0.2	3.1							0.4	7
9		0.6		0.4			9.5	1.0			0.2	3
10		0.2						0.3				
11		1.2	Traces		24.8			1.0			0.2	
12	6.8	11.6	5.0								13.7	
13					15.3	1.0						
14					1.5	3.5						
15			Traces				0.5		0.2			
16		Traces	0.4		8.0	2.6						
17	0.4	18.3			2.1					1.8		
18	1.1	2.1			3.7					0.8		
19			4.0			14.0					Traces	
20	0.5		Traces		1.0						Traces	
21	16.2		3.0	5.0		1.3				0.2		
22	0.9		5.8	5.6		0.3		0.5			Traces	7
23	2.4					1.8				0.1		Trac
24	0.1		0.4					8.0		15.0		12
25	10.2		Traces	3.4				4.6		50.1		7
26	0.6					1.0				16.0		
27					6.5					0.2		0
28		Traces					0.2					0
29							4.0					
30			Traces			0.1	10.0					
31										0.2		
total mensuel	39.2	35.9	37.6	53.4	121.4	78.6	27.1	32.6	0.6	172.9	19.5	103
maximum Maxi en 24h	16.2	18.3	16.0	31.2	45.0	49.1	10.0	17.2	0.4	85.1	13.7	56
nombre de jours avec :												
pluie	10	8	11	7	11	13	6	7	2	11	8	12
neige	1	0	3	0	0	0	0	0	0	0	3	0
orage	0	0	1	2	6	4	8	2	1	4	0	0
grele	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
brouillard	3	1	0	0	0	0	1	0	0	5	1	5

Tableau 7

METEOROLOGIE

PRECIPITATIONS MENSUELLES POUR L'ANNEE 1986

Indicatif INSEE :342741

ST MARTIN DE LONDRES

Altitude : 200

	JANV	FEVR	MARS	AVRIL	MAI	JUIN	JUIL	AOUT	SEPT	OCT	NOV
1	5.0	4.6	44.6								
2	2.8	28.0	3.2	1.9							
3	Traces	46.0		3.2	2.8						
4		33.5									
5	1.4			1.3		1.2					
6			1.0	28.7	22.5						
7	4.5			4.6	3.1						
8				15.0							
9											
10						Traces					
11	Traces		2.0		0.3						
12	Traces			Traces							
13		1.4									
14		27.8		7.0	5.5						
15				34.0		0.2					
16		18.6		3.5							
17			Traces	0.4		1.8					
18			29.0	Traces		10.0					
19				Traces							
20				0.2	0.3						
21		2.6		2.2	0.3						
22		0.8		0.4							
23		Traces		Traces		1.0					
24	1.6		1.5	3.5							
25				11.6							
26		4.5			0.2						
27	0.9	8.9			2.6						
28	46.0	27.0	Traces	Traces							
29	6.8		Traces								
30	33.9		Traces								
31	2.6										
Total mensuel	105.5	203.7	81.3	117.5	37.6	14.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Hauteur Maxi en 24h	46.0	46.0	44.6	34.0	22.5	10.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Nbre de jours avec :											
pluie	10	12	6	15	9	5	0	0	0	0	0
neige	7	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
orage	0	1	1	2	2	3	0	0	0	0	0
grele	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
brouillard	0	0	2	0	2	2	0	0	0	0	0

FICHES COMPARATIVES DES OBSERVATIONS PLUVIOMETRIQUES ET
PLUVIOGRAPHIQUES A LA DATE DE RELEVES

Observations aux pluviomètres (Pi), au pluviographe PG (dépouillement total partiel)

OCTOBRE 1985

JOUR	PLUVIOMETRES										PG	total partiel à la date d'observat.
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10		
1	P	P	-	P	P	P	P	-	-	-	0.4	+
2	+	+	-	+	+	+	+	-	-	-	0.2	+
3	+	+	-	+	+	+	+	-	-	-	.	+
4	38.2	39.4	-	37.7	38.1	37.6	37.5	P	-	-	37.4	38.0
5	+	+	-	+	+	+	+	+	-	-	.	+
6	+	+	-	+	+	+	+	+	-	-	.	+
7	+	+	-	+	+	+	+	+	-	-	.	+
8	+	+	-	+	+	+	+	+	-	-	.	+
9	+	+	-	+	+	+	+	+	-	-	.	+
10	+	+	-	+	+	+	+	+	-	-	.	+
11	+	+	-	+	+	+	+	+	-	-	.	+
12	+	+	-	+	+	+	+	+	-	-	.	+
13	+	+	-	+	+	+	+	+	-	-	.	+
14	+	+	-	+	+	+	+	+	-	-	.	+
15	+	+	-	+	+	+	+	+	-	-	.	+
16	+	+	-	+	+	+	+	+	-	-	.	+
17	+	+	-	+	+	+	+	+	-	-	0.6	+
18	1.4	0.8	-	1.3	1.1	1.0	0.9	1.0	-	-	0.6	1.2
19	+	+	-	+	+	+	+	+	-	-	.	+
20	+	+	-	+	+	+	+	+	-	-	.	+
21	+	+	-	+	+	+	+	+	-	-	0.2	+
22	+	+	-	+	+	+	+	+	-	-	.	+
23	+	+	-	+	+	+	+	+	-	-	0.2	+
24	+	+	-	+	+	+	+	+	-	-	14.2	+
25	+	+	-	+	+	+	+	+	-	-	30.2	+
26	+	+	-	+	+	+	+	+	-	-	11.8	+
27	+	+	-	+	+	+	+	+	-	-	.	+
28	62.7	71.3	P	64.2	60.0	54.5	55.0	59.3	-	P	.	56.6
29	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	0.2	+
30	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	.	+
31	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	0.8	+
TOTAL partiel												
aux Pi	102.3	111.5	+	103.2	99.2	93.1	93.4	60.3	-	+		95.8
TOTAL au PG											96.8	
P : date de mise en place du pluviomètre												
. : pas de pluie												
+ : cumul de pluie fait ultérieurement												
- : absence de relevé												
() : données douteuses												

Observations aux pluviomètres Pi, au pluviographe PG (dépouillement total partiel)

NOVEMBRE 1985

DATES	PLUVIOMETRES										PG	total partiel à la date des observat	
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10			
1	+	+	+	+	+	+	+	+	+		+	0.6	+
2	+	+	+	+	+	+	+	+	+		+	.	+
3	+	+	+	+	+	+	+	+	+		+	1.2	+
4	+	+	+	+	+	+	+	+	+		+	1.8	+
5	+	+	+	+	+	+	+	+	+		+	.	+
6	+	+	+	+	+	+	+	+	+		+	.	+
7	+	+	+	+	+	+	+	+	+		+	.	+
8	+	+	+	+	+	+	+	+	+		+	0.2	+
9	+	+	+	+	+	+	+	+	+		+	.	+
10	+	+	+	+	+	+	+	+	+		+	.	+
11	+	+	+	+	+	+	+	+	+		+	.	+
12	+	+	+	+	+	+	+	+	+		+	1.70	+
13	17.6	18.9	20.3	26.2	21.3	19.6	17.0	19.0		20.1	.	21.0	
14	+	+	+	+	+	+	+	+		+	.	.	+
15	+	+	+	+	+	+	+	+		+	.	.	+
16	+	+	+	+	+	+	+	+		+	.	.	+
17	+	+	+	+	+	+	+	+		+	.	.	+
18	+	+	+	+	+	+	+	+		+	.	.	+
19	+	+	+	+	+	+	+	+		+	.	.	+
20	+	+	+	+	+	+	+	+		+	0.2	.	+
21	+	+	+	+	+	+	+	+		+	.	.	+
22	+	+	+	+	+	+	+	+		+	.	.	+
23	+	+	+	+	+	+	+	+		+	.	.	+
24	+	+	+	+	+	+	+	+		+	.	.	+
25	+	+	+	+	+	+	+	+		+	.	.	+
26	+	+	+	+	+	+	+	+		+	.	.	+
27	+	+	+	+	+	+	+	+		+	.	.	+
28	+	+	+	+	+	+	+	+		+	.	.	+
29	+	+	+	+	+	+	+	+		+	.	.	+
30	+	+	+	+	+	+	+	+		+	.	.	+
CAL PARTIEL													
AUX Pi	17.6	18.9	20.3	26.2	21.3	19.6	17.0	19.0		20.1	.	21.0	
CAL AU PG											21.2		
P: date de mise en place du pluviomètre													
. : pas de pluie													
+ : cumul de pluie fait ultérieurement													
- : absence de relevé													
() : données douteuses													

BA SSIN REPRESENTATIF EXPERIMENTAL DE LA COMBE DE MORTIES
 HAUTEURS DES PLUIES JOURNALIERES à partir du PLUVIOGRAPH OEDIPE

MOIS	juin	juil let	août	sept									
DATE													
1	-	.	.	.									
2	-	.	.	.									
3	-	5.2	.	.									
4	-	.	.	.									
5	-	.	16.0	.									
6	-	.	.	.									
7	-	.	.	.									
8	-	.	.	.									
9	-	14.4	2.6	.									
10	-	.	1.2	.									
11	-	.	0.4	.									
12	-	.	.	.									
13	-	.	.	.									
14	-	0.2	0.2	.									
15	-	0.2	.	.									
16	-	.	.	.									
17	-	.	.	.									
18	-	.	.	.									
19	-	.	.	.									
20	-	.	.	.									
21	-	.	.	.									
22	-	.	1.0	1.2									
23	-	.	.	.									
24	-	.	4.8	0.2									
25	-	.	3.2	.									
26	P(0.8)	.	.	.									
27	.	.	.	.					
28	.	0.4	.	.									
29	.	.	.	.					
30	.	4.4	.	.									
31	.	.	.	.					
TOTAL	(0.8)	24.8	29.4	1.4									
p	: date de pose de la cartouche												
.	: pas de pluie												
-	: lacunes												
()	: données incomplètes en juin												

DECEMBRE 1985

total parti

date	PLUVIOMETRES										PG	total partiel à la date d'observati
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10		
1	2.9	3.1	-	2.7	2.3	2.2	2.4	2.3	2.5	3.0	2.4	2.6
2	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	0.4	+
3	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	.	+
4	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	1.0	+
5	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	27.2	+
6	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	.	+
7	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	.	+
8	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	1.6	+
9	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	.	+
10	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	.	+
11	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	.	+
12	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	.	+
13	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	.	+
14	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	.	+
15	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	.	+
16	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	.	+
17	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	.	+
18	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	.	+
19	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	.	+
20	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	.	+
21	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	.	+
22	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	6.4	+
23	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	.	+
24	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	2.4	+
25	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	.	+
26	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	.	+
27	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	.	+
28	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	.	+
29	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	.	+
30	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	.	+
31	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	.	+
total partiel												
aux Pi (2.9)(3.1) + (2.7)(2.3)(2.2)(2.4)(2.3)(2.5)(3.0) (2.6)												
total au PG											44.6	
P : date de mise en place du pluviomètre												
. : pas de pluie												
+ : cumul de pluie mesuré ultérieurement												
(): données douteuses												

Observation aux pluviomètres Pi ; au pluviographe PG(dépouillement et total partiel)

FEVRIER 1986

DATE	PLUVIOMETRES										PG	TOTAL partiel à la date d'observati	
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10			
1	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	.	+
2	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	(8.4)	+
3	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	(21.0)	+
4	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	(8.8)	+
5	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	.	+
6	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	.	+
7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	.	(93.8)pluie gelées
8	-	-	+	-	-	-	-	+	-	-	-	.	+
9	-	-	+	-	-	-	-	+	-	-	-	.	+
10	-	-	+	-	-	-	-	+	-	-	-	.	+
11	-	-	+	-	-	-	-	+	-	-	-	.	+
12	-	-	+	-	-	-	-	+	-	-	-	.	+
13	-	-	+	-	-	-	-	+	-	-	-	.	+
14	-	-	+	-	-	-	-	+	-	-	-	(2.0)	+
15	-	-	+	-	-	-	-	+	-	-	-	.	+
16	-	-	+	-	-	-	-	+	-	-	-	(14.0)	+
17	-	-	+	-	-	-	-	+	-	-	-	(0.2)	+
18	-	-	+	-	-	-	-	+	-	-	-	.	+
19	-	-	+	-	-	-	-	+	-	-	-	.	+
20	-	-	+	-	-	-	-	+	-	-	-	.	+
21	-	-	+	-	-	-	-	+	-	-	-	.	+
22	-	-	+	-	-	-	-	+	-	-	-	.	+
23	-	-	+	-	-	-	-	+	-	-	-	.	+
24	-	-	+	-	-	-	-	+	-	-	-	.	+
25	-	-	+	-	-	-	-	+	-	-	-	.	+
26	-	-	+	-	-	-	-	+	-	-	-	(0.6)	+
27	-	-	+	-	-	-	-	+	-	-	-	.	+
28	-	-	+	-	-	-	-	+	-	-	-	.	+
total partiel													
aux Pi													
											(110.6)		
total au PG											(55.0)		
P : date de mise en place du pluviomètre													
. : pas de pluie													
+ : cumul de pluie mesuré ultérieurement													
- : lacunes													
() : donnees douteuses													

observations aux pluviomètres Pi : au pluviographe PG (dépouillement et partiel)

MARS 1986

DATE	PLUVIOMETRES										PG	total partiel à la date d'observation								
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10										
1	-	-	+	-	-	-	-	+	-	-	13.0	+								
2	-	-	+	-	-	-	-	-	-	+	.	+								
3	-	P	(91.6 p	-	-	p	(175)	P	-	-	.	+	pluvio							
4	-	+	-	+	-	-	+	+	+	-	.	+	gelés							
5	-	+	-	+	-	-	+	+	+	-	.	+								
6	-	+	-	+	-	-	+	+	+	-	.	+								
7	-	+	-	+	-	-	+	+	+	-	.	+								
8	-	+	-	+	-	-	+	+	+	-	.	+								
9	-	+	-	+	-	-	+	+	+	-	.	+								
10	-	+	-	+	-	-	+	+	+	-	.	+								
11	-	+	-	+	-	-	+	+	+	-	.	+								
12	-	1.1	-	1.0	-	-	0.6	0.8	0.8	-	(.)	13.0								
13	-	+	-	+	-	-	+	+	+	-	.	+								
14	-	+	-	+	-	-	+	+	+	-	.	+								
15	-	+	-	+	-	-	+	+	+	-	.	+								
16	-	+	-	+	-	-	+	+	+	-	.	+								
17	-	+	-	+	-	-	+	+	+	-	.	+								
18	-	+	-	+	-	-	+	+	+	-	(0.2)	+								
19	-	28.3	-	27.2	-	-	25.5	26.2	25.3	-	.	0.2								
20	-	+	-	+	-	-	+	+	+	-	.	+								
21	-	+	-	+	-	-	+	+	+	-	.	+								
22	-	+	-	+	-	-	+	+	+	-	.	+								
23	-	+	-	+	-	-	+	+	+	-	.	+								
24	-	+	-	+	-	-	+	+	+	-	(1.0)	+								
25	-	1.0	-	0.8	-	-	0.5	1.0	0.6	-	.	1.0								
26	-	+	-	+	-	-	+	+	+	-	.	+								
27	-	+	-	+	-	-	+	+	+	-	.	+								
28	-	+	-	+	-	-	+	+	+	-	.	+								
29	-	+	-	+	-	-	+	+	+	-	.	+								
30	-	+	-	+	-	-	+	+	+	-	.	+								
31	-	+	-	+	-	-	+	+	+	-	.	+								
total partiel																				
aux Pi												-	(30.1)(91.6)29.0	-	-	(26.6)(203)(26.7)	-	14.2		
total au Pg																			14.2	
P / Date de mise en place du pluviomètre																				
. : pas de pluie																				
+ : cumul																				
- : lacunes																				
() : données douteuses																				

AVRIL 1986

DATE	PLUVIOMETRES										PG	total partiel à la date d'observation
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10		
1	-	+	+	+	+	-	+	+	+	-	.	+
2	-	+	+	+	+	-	+	+	+	-	0.2	+
3	-	+	+	+	+	-	+	+	+	-	0.8	+
4	-	+	+	+	+	-	+	+	+	-	.	+
5	-	+	+	+	+	-	+	+	+	-	.	+
6	-	+	+	+	+	-	+	+	+	-	11.8	+
7	-	+	+	+	24.0	-	21.0	23.4	+	-	(1.0)	(13.8)
8	-	+	+	+	+	-	+	+	+	-	(7.8)	
9	-	47.8	46.9	47.0	22.5	-	20.1	24.4	47.9	-	((.))	(7.8)
10	-	+	+	+	+	-	+	+	+	-	.	+
11	-	+	+	+	+	-	+	+	+	-	.	+
12	-	+	+	+	+	-	+	+	+	-	.	+
13	-	+	+	+	+	-	+	+	+	-	.	+
14	-	+	+	+	+	-	+	+	+	-	.	+
15	-	12.1	12.5	12.5	+	-	+	14.9	12.6	-	22.0	26.4
16	-	25.2	29.0	28.5	40.2	-	39.0	25.8	27.4	P	2.6	2.6
17	-	2.8	0.9	1.2	1.2	1.1	0.9	1.2	1.2	3.2	.	+
18	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	.	+
19	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	.	+
20	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	.	+
21	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	0.6	+
22	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	.	+
23	-	2.8	3.2	2.8	3.2	2.8	2.4	3.0	3.2	2.8	.	0.6
24	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	7.2	+
25	-	19.2	23.1	21.6	22.0	21.2	16.9	20.8	21.1	20.1	7.4	14.6
26	-	+	-	+	+	+	+	+	+	+	.	+
27	-	+	-	+	+	+	+	+	+	+	.	+
28	-	+	-	+	+	+	+	+	+	+	.	+
29	-	+	-	+	+	+	+	+	+	+	.	+
30	-	+	-	+	+	+	+	+	+	+	.	+
total partiel												
aux Pi		109.9	116.2	113.6	113.1	(25.1)	100.3	113.5	113.4	(26.1)		(65.8)
total au PG											(65.8)	
P : date de mise en place du pluviomètre												
. : pas de pluie												
+ : cumul de pluie mesuré ultérieurement												
- : lacunes												
() : données douteuses												

DATE	PLUVIOMETRES										PG	total partiel à date d'observati
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10		
1	-	+	-	+	+	+	+	+	+	+	.	+
2	-	+	-	+	+	+	+	+	+	+	.	+
3	-	+	-	+	+	+	+	+	+	+	0.6	+
4	-	+	-	+	+	+	+	+	+	+	.	+
5	-	+	-	+	+	+	+	+	+	+	.	+
6	-	+	-	+	+	+	+	+	+	+	6.8	+
7	-	+	-	+	+	+	+	+	+	+	0.2	+
8	-	+	-	+	+	+	+	+	+	+	.	+
9	-	+	-	+	+	+	+	+	+	+	.	+
10	-	+	-	+	+	+	+	+	+	+	.	+
11	-	+	-	+	+	+	+	+	+	+	.	+
12	-	+	-	+	+	+	+	+	+	+	.	+
13	-	+	-	+	+	+	+	+	+	+	.	+
14	-	+	-	+	+	+	+	+	+	+	1.6	+
15	-	+	-	+	+	+	+	+	+	+	.	+
16	-	+	-	+	+	+	+	+	+	+	.	+
17	-	+	-	+	+	+	+	+	+	+	.	+
18	-	+	-	+	+	+	+	+	+	+	.	+
19	-	+	-	+	+	+	+	+	+	+	.	+
20	-	+	-	+	+	+	+	+	+	+	.	+
21	-	+	-	+	+	+	+	+	+	+	.	+
22	-	+	-	+	+	+	+	+	+	+	.	+
23	-	+	-	+	+	+	+	+	+	+	.	+
24	-	+	-	+	+	+	+	+	+	+	.	+
25	-	+	-	+	+	+	+	+	+	+	.	+
26	-	+	-	+	+	+	+	+	+	+	.	+
27	-	+	-	+	+	+	+	+	+	+	.	+
28	-	17.4	-	13.6	13.7	13.9	13.7	13.2	24.7	13.0	.	22.2
29	-	+	-	+	+	+	+	+	+	+	.	+
30	-	+	-	+	+	+	+	+	+	+	.	+
31	-	+	-	+	+	+	+	+	+	+	.	+
total partiel												
aux Pi	-	17.4	-	(13.6)	(13.7)	(13.9)	(13.7)	(13.2)	24.7	(13.0)	.	22.2
total au PG											22.2	
P : date de mise en place du pluviomètre												
. : pas de pluie												
+ / CUMUL DE PLUIE MESURE ULTERIEUREMENT												
() : lacunes												

Observations aux pluviomètres Pi, au pluviographe PG (dépouillement et to partiel)

JUIN 1986

DATES	PLUVIOMETRES										PG	total partiel à date d'observa
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10		
1	-	-	+	+	+	+	+	+	+	-	.	+
2	-	-	+	+	+	+	+	+	+	-	.	+
3	-	-	+	+	+	+	+	+	+	-	.	+
4	-	-	+	+	+	+	+	+	+	-	.	+
5	-	-	+	+	+	+	+	+	+	-	.	+
6	-	-	1.1	1.3	1.8	1.1	0.8	1.6	1.0	-	-	+
7	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	.	+
8	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	.	+
9	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	.	+
10	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	.	+
11	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	.	+
12	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	.	+
13	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	.	+
14	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	.	+
15	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	0.6	+
16	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	0.2	+
17	1.8	0.1	0.6	0.3	1.0	0.7	0.2	1.1	0.3	0.2	14.0	0.8
18	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	4.6	+
19	19.5	18.5	19.0	20.1	(6.1)	17.9	16.4	18.5	12.7	(23.4)	..	18.6
20	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	.	+
21	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	.	+
22	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	.	+
23	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	.	+
24	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	.	+
25	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	.	+
26	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	.	+
27	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	.	+
28	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	.	+
29	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	.	+
30	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	.	+
total partiel												
aux Pi	(21.3)	(18.6)	20.7	21.7	(8.9)	19.7	17.4	21.2	14.0	(23.6)		19.4
total au PG											19.4	
P :	date de mise en place du pluviomètre											
.	pas de pluie											
+	lacunes											
() :	données douteuses											

ANNEXE 2

HYDROMETRIE

STATION : 4352595002-1 NON IDENTIFIEE
 RIVIERE :

PAYS :
 BASSIN :

MOIS	JOUR	HEURE	COTE	JOUR	HEURE	COTE	JOUR	HEURE	COTE	JOUR	HEURE	COTE	JOUR	HEURE	COTE
JANV	1	00H00	**LAC												
OCTO	COTES EN MM ;CODE ORIGINE MAXIMUM DANS LE MOIS: ;MINI: A SEC () LE 10 OCTO A 12H00;MAXI: 3130 MM() LE 26 OCTO A 02H30														
OCTO	10	11H59	**LAC	10	12H00	A SEC	24	12H00	A SEC	25	02H04	2970	25	02H05	3000
OCTO	25	02H30	3050	25	03H00	3025	25	04H00	3000	25	23H00	3005	25	24H00	3065
OCTO	26	01H00	3070	26	02H00	3090	26	02H30	3130	26	03H00	3125	26	03H15	3100
OCTO	26	04H00	3100	26	04H30	3115	26	04H45	3122	26	05H00	3100	26	06H00	3060
OCTO	26	08H00	3035	26	09H00	3040	26	10H00	3038	26	12H00	3028	26	15H00	3018
OCTO	26	17H00	3085	26	17H30	3065	26	18H00	3085	26	19H00	3050	26	21H00	3030
OCTO	27	01H00	3020	27	02H00	3025	27	03H00	3035	27	04H00	3030	27	08H00	3020
OCTO	27	14H00	3010	27	15H30	3000	27	15H31	**LAC				27	11H00	3018
NOVE	COTES EN MM ;CODE ORIGINE MAXIMUM DANS LE MOIS: ;MINI: 3000 MM() LE 12 NOVE A 18H20;MAXI: 3075 MM() LE 12 NOVE A 19H00														
NOVE	12	18H19	**LAC	12	18H20	3000	12	19H00	3075	12	20H00	3050	12	21H00	3040
NOVE	12	24H00	3025	13	01H00	3020	13	04H00	3012	13	06H00	3000	13	06H01	**LAC
DECE	COTES EN MM ;CODE ORIGINE MAXIMUM DANS LE MOIS: ;MINI: 2580 MM() LE 14 DECE A 12H00;MAXI: 3165 MM() LE 6 DECE A 02H20														
DECE	1	11H59	**LAC	1	12H00	2705	2	12H00	2705	3	12H00	2700	5	12H00	2700
DECE	6	02H20	3165	6	02H40	3010	6	02H55	3000	6	03H00	2995	6	04H00	2970
DECE	6	06H00	2910	6	14H00	2890	6	22H00	2880	7	02H00	2880	7	07H00	2870
DECE	7	18H00	2810	7	22H00	2780	8	01H00	2750	8	03H00	2730	8	04H00	2720
DECE	8	09H00	2680	8	12H00	2660	8	15H00	2640	8	17H00	2630	8	20H00	2610
DECE	9	01H00	2600	9	06H20	2600	9	09H00	2630	9	12H00	2660	9	14H00	2730
DECE	9	16H20	2890	9	18H00	2890	9	24H00	2885	10	04H00	2880	10	11H00	2870
DECE	10	23H00	2820	11	01H00	2810	11	04H00	2790	11	08H30	2750	11	12H00	2700
DECE	11	20H00	2670	12	02H00	2650	12	08H30	2620	12	11H00	2610	12	14H00	2600
DECE	13	02H00	2595	13	06H00	2590	13	12H00	2585	13	15H30	2582	14	12H00	2580
DECE	23	08H30	2598	23	12H00	2670	23	18H00	2730	23	23H00	2730	24	03H00	2710
DECE	24	09H40	2677	24	17H00	2677	24	20H00	2710	24	23H00	2770	25	04H00	2880
DECE	25	06H00	2892	25	06H30	2905	25	07H15	2907	25	08H00	2922	25	09H00	2924
DECE	25	12H00	2919	25	18H00	2900	25	24H00	2890	26	12H00	2880	27	03H00	2870
DECE	27	10H00	2850	27	12H30	2840	27	15H00	2830	27	17H00	2820	27	23H00	2790
DECE	28	07H00	2730	28	16H00	2680	28	23H00	2650	29	01H30	2640	29	06H00	2620
DECE	31	24H00	**LAC										29	06H01	**LAC

MOIS JOUR HEURE COTE JOUR HEURE COTE JOUR HEURE COTE JOUR HEURE COTE JOUR HEURE COTE JOUR HEURE COTE

CODE : A=RHE; B=COTE DE CONTROLE; C= RELEVÉ INDIRECT AVEC HEURE; D=RECONSTITUE; E=RELEVÉ INDIRECT SANS HEURE
 ANNEE INCOMPLETE
 MINIMUM INSTANTANE : A SEC () LE 10 OCTO A 12H00
 MAXIMUM INSTANTANE : 3165 MM() LE 6 DECE A 02H20

STATION : 4352595002-1 NON IDENTIFIEE
RIVIERE :

PAYS :
BASSIN :

MOIS	JOUR	HEURE	COTE	JOUR	HEURE	COTE	JOUR	HEURE	COTE	JOUR	HEURE	COTE	JOUR	HEURE	COTE
COTES EN MM ;CODE ORIGINE MAXIMUM DANS LE MOIS: ;MINI: A SEC () LE 23 JANV A 12H00;MAXI: 3144 MM() LE 31 JANV A 01H30															
JANV	1	00H00	**LAC	23	11H59	**LAC	23	12H00	A SEC	29	02H00	A SEC	29	02H30	2780
JANV	29	03H30	3083	29	04H00	3090	29	04H30	3100	29	05H00	3097	29	05H45	3115
JANV	29	06H45	3083	29	07H00	3100	29	07H30	3098	29	08H00	3104	29	08H30	3085
JANV	29	10H00	3090	29	11H00	3075	29	12H00	3070	29	13H00	3060	29	15H30	3050
JANV	29	22H15	3050	29	22H45	3060	29	24H00	3060	30	01H00	3066	30	01H30	3090
JANV	30	02H45	3110	30	03H00	3105	30	03H30	3118	30	04H00	3105	30	05H00	3090
JANV	30	08H30	3070	30	11H30	3060	30	15H00	3050	30	18H00	3045	30	19H00	3050
JANV	30	21H00	3055	30	23H00	3060	30	23H20	3065	31	00H30	3065	31	01H00	3100
JANV	31	02H00	3140	31	03H00	3120	31	04H00	3110	31	05H00	3100	31	06H00	3100
JANV	31	07H00	3120	31	08H00	3100	31	09H00	3090	31	10H00	3080	31	12H00	3070
JANV	31	16H00	3060	31	16H30	3070	31	18H00	3073	31	21H00	3060	31	24H00	3055
COTES EN MM ;CODE ORIGINE MAXIMUM DANS LE MOIS: ;MINI: 2840 MM() LE 13 FEVR A 15H00;MAXI: 3240 MM() LE 17 FEVR A 04H00															
FEVR	1	01H00	3054	1	03H00	3050	1	06H00	3047	1	12H00	3040	1	17H00	3035
FEVR	2	06H00	3026	2	13H30	3026	2	14H00	3030	2	17H00	3030	2	17H40	3060
FEVR	2	21H00	3040	2	24H00	3038	3	01H00	3037	3	06H50	3034	3	07H15	3113
FEVR	3	08H00	3110	3	08H30	3078	3	09H00	3114	3	09H30	3085	3	10H30	3085
FEVR	3	12H30	3070	3	15H00	3060	3	19H20	3052	3	20H00	3093	3	20H30	3079
FEVR	3	22H00	3071	3	23H00	3092	3	24H00	3122	4	01H00	3120	4	02H00	3127
FEVR	4	03H00	3126	4	04H30	3097	4	05H00	3096	4	07H00	3090	4	08H00	3084
FEVR	4	14H00	3075	4	18H40	3066	4	19H00	3077	4	22H00	3070	5	00H50	3070
FEVR	5	03H00	3104	5	04H30	3095	5	05H00	3130	5	05H30	3120	5	06H00	3131
FEVR	5	10H40	3100	5	18H00	3070	5	23H00	3060	6	04H00	3050	6	11H00	3040
FEVR	7	10H00	3020	7	23H00	3020	8	04H40	3015	8	05H15	3037	8	05H45	3045
FEVR	8	08H00	3080	8	08H30	3060	8	09H00	3023	8	09H30	3015	8	11H40	3010
FEVR	9	02H00	3004	9	05H30	3001	9	07H00	3005	9	09H00	2995	9	11H00	3010
FEVR	9	13H00	3010	9	20H00	3000	9	24H00	3003	10	02H30	2990	10	04H00	2970
FEVR	10	09H30	2900	10	13H00	2860	10	14H20	2860	10	15H00	2870	10	19H00	2900
FEVR	10	24H00	2910	11	06H00	2940	11	12H00	2945	11	19H00	2945	11	24H00	2902
FEVR	12	05H00	2920	12	10H00	2900	12	13H00	2890	12	18H00	2870	13	09H00	2860
FEVR	13	15H00	2840	14	04H00	2840	14	14H40	2845	14	16H00	2880	14	17H00	2930
FEVR	14	19H00	3050	14	21H00	3070	14	23H00	3076	15	04H00	3070	15	07H00	3070
FEVR	15	14H00	3070	15	21H00	3060	16	13H00	3050	16	23H40	3048	16	24H00	3064
FEVR	17	03H00	3110	17	03H30	3132	17	03H45	3125	17	04H00	3240	17	05H00	3130
FEVR	17	12H00	3090	17	18H00	3080	18	03H00	3070	18	14H00	3060	18	16H00	3060
FEVR	19	06H00	3050	19	12H00	3048	19	24H00	3044	20	02H00	3043	20	17H00	3040
FEVR	21	24H00	3035	22	18H00	3030	23	10H00	3030	23	18H00	3020	23	21H00	3020
FEVR	24	14H00	3000	24	17H00	2990	24	20H00	2980	24	23H00	2970	25	06H00	2950
FEVR	25	14H00	2930	25	18H00	2920	25	20H30	2910	25	24H00	2900	26	03H00	2890
FEVR	26	12H00	2870	26	22H00	2870	26	23H00	2883	26	24H00	2900	27	01H00	2901
FEVR	27	04H00	2980	27	06H00	2990	27	09H00	3030	27	15H30	3055	27	23H00	3055
FEVR	28	14H00	3040	28	24H00	3036							28	01H00	3050
COTES EN MM ;CODE ORIGINE MAXIMUM DANS LE MOIS: ;MINI: 2021 MM() LE 20 MARS A 22H00;MAXI: 3147 MM() LE 1 MARS A 16H00															
MARS	1	01H00	3035	1	06H00	3033	1	07H00	3031	1	08H00	3034	1	10H00	3099
MARS	1	12H45	3105	1	13H20	3103	1	14H00	3130	1	15H30	3118	1	16H00	3147
MARS	1	18H00	3110	1	23H00	3090	1	24H00	3088	2	04H00	3080	2	11H00	3070
MARS	2	20H00	3060	3	01H00	3055	3	06H00	3050	3	15H13	3043	3	15H20	3030
MARS	4	01H00	3026	4	20H00	3020	5	02H00	3020	5	24H00	3015	6	04H00	3015

MOIS JOUR HEURE COTE JOUR HEURE COTE JOUR HEURE COTE JOUR HEURE COTE JOUR HEURE COTE JOUR HEURE COTE

STATION : 4352595002-1 NON IDENTIFIEE
 RIVIERE :

PAYS :
 BASSIN :

MOIS	JOUR	HEURE	COTE	JOUR	HEURE	COTE	JOUR	HEURE	COTE	JOUR	HEURE	COTE	JOUR	HEURE	COTE
MARS	7	06H00	3010	7	17H00	3005	8	01H00	3003	8	21H00	3000	9	07H00	3000
MARS	9	18H00	2980	9	24H00	2960	10	03H00	2951	10	09H00	2930	10	12H00	2920
MARS	10	18H00	2900	10	21H00	2890	11	01H00	2870	11	05H00	2850	11	12H00	2830
MARS	11	24H00	2813	12	00H30	2810	12	05H00	2800	12	12H15	2800	12	16H00	2790
MARS	12	22H00	2770	13	01H00	2760	13	07H00	2750	13	24H00	2742	14	04H00	2740
MARS	15	06H00	2733	15	24H00	2731	16	11H00	2730	18	11H45	2730	18	12H00	2740
MARS	18	15H00	2786	18	18H00	2786	18	20H00	2770	18	24H00	2750	19	03H20	2745
MARS	19	04H40	3053	19	05H20	3053	19	05H30	3050	19	06H00	3050	19	06H30	3100
MARS	19	08H00	3070	19	11H00	3050	19	16H00	3035	19	24H00	3030	20	03H00	3030
MARS	21	01H00	3018	21	13H00	3010	21	24H00	3000	22	02H00	2990	22	10H00	2950
MARS	22	19H00	2880	22	23H00	2848	23	02H00	2819	23	05H00	2810	23	17H00	2747
MARS	24	06H00	2742	24	20H15	2740	24	21H00	2753	24	22H15	2753	24	24H00	2742
MARS	26	12H00	2739	27	12H00	2738	28	12H00	2737	30	12H00	2737	31	12H00	2736

AVRI COTES EN MM ;CODE ORIGINE MAXIMUM DANS LE MOIS: ;MINI: 2730 MM() LE 6 AVRI A 12H00;MAXI: 3343 MM() LE 15 AVRI A 21H55

AVRI	1	12H00	2736	2	12H00	2734	3	12H00	2734	4	12H00	2732	5	12H00	2732	6	12H00	2730
AVRI	7	00H20	2730	7	01H30	2790	7	03H00	2770	7	03H50	2750	7	04H15	3113	7	04H30	3065
AVRI	7	05H30	3063	7	07H00	3030	7	10H00	3020	7	13H00	3020	7	22H00	3010	8	03H00	2900
AVRI	8	06H00	2960	8	07H00	2947	8	08H00	2958	8	10H00	2957	8	11H00	2986	8	12H40	3030
AVRI	8	13H20	3088	8	14H00	3070	8	17H00	3065	8	18H00	3060	8	20H00	3050	8	24H00	3044
AVRI	9	06H00	3060	9	10H00	3050	9	14H00	3040	9	23H00	3034	10	06H00	3030	10	21H00	3020
AVRI	11	07H00	3020	11	23H00	3010	12	06H00	3000	12	11H00	2980	12	14H00	2960	12	18H00	2910
AVRI	12	21H00	2880	13	03H00	2850	13	09H00	2840	13	13H00	2827	13	16H00	2800	13	21H00	2780
AVRI	14	01H00	2777	14	11H00	2775	14	16H00	2760	14	21H30	2753	15	07H00	2750	15	08H00	2810
AVRI	15	09H00	2930	15	09H30	3075	15	11H00	3030	15	13H00	3024	15	13H50	3045	15	15H00	3034
AVRI	15	15H50	3034	15	16H30	3046	15	19H00	3040	15	21H30	3037	15	21H55	3343	15	22H10	3170
AVRI	15	23H00	3110	15	24H00	3090	16	01H00	3080	16	03H30	3070	16	08H00	3060	16	15H00	3050
AVRI	16	16H00	3050	16	16H38	3060	16	16H39	**LAC									
DECE	31	24H00	**LAC															

MOIS	JOUR	HEURE	COTE	JOUR	HEURE	COTE	JOUR	HEURE	COTE	JOUR	HEURE	COTE	JOUR	HEURE	COTE
------	------	-------	------	------	-------	------	------	-------	------	------	-------	------	------	-------	------

CODE : A=RHE; B=COTE DE CONTROLE; C= RELEVÉ INDIRECT AVEC HEURE; D=RECONSTITUE; E=RELEVÉ INDIRECT SANS HEURE
 ANNEE INCOMPLETE
 MINIMUM INSTANTANE : A SEC () LE 23 JANV A 12H00
 MAXIMUM INSTANTANE : 3343 MM() LE 15 AVRI A 21H55

IMPRESSION DES DEBITS INSTANTANES - ANNEE 1985

EDITION DU 11/06/1986 A 12H22

STATION : 4352595002-1 DEVERSOIR PETIT BASSIN
 RIVIERE : YORGUES AMONT
 DEBITS EN L/S

PAYS : FRANCE
 BASSIN : COMBE NEGRE
 AIRE DU BASSIN VERSANT 0.030000 KM2

ALTITUDE 183M

MOIS	JOUR	HEURE	DEBIT	JOUR	HEURE	DEBIT	JOUR	HEURE	DEBIT	JOUR	HEURE	DEBIT	JOUR	HEURE	DEBIT	JOUR	HEURE	DEBIT	
JANV	1	00H00	**LAC																
OCTO	CODE	ORIGINE	MAXI MENSUEL :	MINI :	0.000	L/S ()	LE 10	OCTO	A 12H00	MAXI :	8.660	L/S ()	LE 26	OCTO	A 02H30				
OCTO	10	11H59	**LAC	10	12H00	.000	24	12H00	.000	25	02H04	**H.B.	25	02H05	.000	25	02H15	3.99	
OCTO	25	02H30	.836	25	03H00	.177	25	04H00	.000	25	23H00	.020	25	24H00	1.68	26	00H30	2.67	
OCTO	26	01H00	2.01	26	02H00	3.49	26	02H30	8.66	26	03H00	7.84	26	03H15	4.48	26	03H30	2.67	
OCTO	26	04H00	4.48	26	04H30	6.39	26	04H45	7.35	26	05H00	4.48	26	06H00	1.35	26	07H00	.653	
OCTO	26	08H00	.372	26	09H00	.470	26	10H00	.431	26	12H00	.236	26	15H00	.072	26	16H00	.177	
OCTO	26	17H00	3.00	26	17H30	1.68	26	18H00	3.00	26	19H00	.836	26	21H00	.275	26	24H00	.119	
OCTO	27	01H00	.080	27	02H00	.177	27	03H00	.372	27	04H00	.275	27	08H00	.080	27	11H00	.072	
OCTO	27	14H00	.040	27	15H30	.000	27	15H31	**LAC										
NOVE	CODE	ORIGINE	MAXI MENSUEL :	MINI :	0.000	L/S ()	LE 12	NOVE	A 18H20	MAXI :	2.340	L/S ()	LE 12	NOVE	A 19H00				
NOVE	12	18H19	**LAC	12	18H20	.000	12	19H00	2.34	12	20H00	.836	12	21H00	.470	12	23H00	.275	
NOVE	12	24H00	.177	13	01H00	.080	13	04H00	.048	13	06H00	.000	13	06H01	**LAC				
DECE	CODE	ORIGINE	MAXI MENSUEL :	MINI :	0.000	L/S ()	LE 6	DECE	A 02H55	MAXI :	15.800	L/S ()	LE 6	DECE	A 02H20				
DECE	1	11H59	**LAC	1	12H00	**H.B.	2	12H00	**H.B.	3	12H00	**H.B.	5	12H00	**H.B.	5	24H00	**H.B.	
DECE	6	02H20	15.8	6	02H40	.040	6	02H55	.000	6	03H00	**H.B.	6	04H00	**H.B.	6	05H00	**H.B.	
DECE	6	06H00	**H.B.	6	14H00	**H.B.	6	22H00	**H.B.	7	02H00	**H.B.	7	07H00	**H.B.	7	12H00	**H.B.	
DECE	7	18H00	**H.B.	7	22H00	**H.B.	8	01H00	**H.B.	8	03H00	**H.B.	8	04H00	**H.B.	8	08H00	**H.B.	
DECE	8	09H00	**H.B.	8	12H00	**H.B.	8	15H00	**H.B.	8	17H00	**H.B.	8	20H00	**H.B.	8	21H30	**H.B.	
DECE	9	01H00	**H.B.	9	06H20	**H.B.	9	09H00	**H.B.	9	12H00	**H.B.	9	14H00	**H.B.	9	15H00	**H.B.	
DECE	9	16H20	**H.B.	9	18H00	**H.B.	9	24H00	**H.B.	10	04H00	**H.B.	10	11H00	**H.B.	10	17H00	**H.B.	
DECE	10	23H00	**H.B.	11	01H00	**H.B.	11	04H00	**H.B.	11	08H30	**H.B.	11	12H00	**H.B.	11	19H00	**H.B.	
DECE	11	20H00	**H.B.	12	02H00	**H.B.	12	08H30	**H.B.	12	11H00	**H.B.	12	14H00	**H.B.	12	21H00	**H.B.	
DECE	13	02H00	**H.B.	13	06H00	**H.B.	13	12H00	**H.B.	14	12H00	**H.B.	14	12H00	**H.B.	23	05H20	**H.B.	
DECE	23	08H30	**H.B.	23	12H00	**H.B.	23	18H00	**H.B.	23	23H00	**H.B.	24	03H00	**H.B.	24	07H00	**H.B.	
DECE	24	09H40	**H.B.	24	17H00	**H.B.	24	20H00	**H.B.	24	23H00	**H.B.	25	04H00	**H.B.	25	05H00	**H.B.	
DECE	25	06H00	**H.B.	25	06H30	**H.B.	25	07H15	**H.B.	25	08H00	**H.B.	25	09H00	**H.B.	25	09H40	**H.B.	
DECE	25	12H00	**H.B.	25	18H00	**H.B.	25	24H00	**H.B.	26	12H00	**H.B.	27	03H00	**H.B.	27	07H00	**H.B.	
DECE	27	10H00	**H.B.	27	12H30	**H.B.	27	15H00	**H.B.	27	17H00	**H.B.	27	23H00	**H.B.	28	02H00	**H.B.	
DECE	28	07H00	**H.B.	28	16H00	**H.B.	28	23H00	**H.B.	29	01H30	**H.B.	29	06H00	**H.B.	29	06H01	**LAC	
DECE	31	24H00	**LAC																

MOIS JOUR HEURE DEBIT JOUR HEURE DEBIT JOUR HEURE DEBIT JOUR HEURE DEBIT JOUR HEURE DEBIT JOUR HEURE DEBIT

CODE : A=RHE; B=COTE DE CONTROLE; C=RELEVÉ INDIRECT AVEC HEURE; D=RECONSTITUE; E=RELEVÉ INDIRECT SANS HEURE
 ANNEE INCOMPLETE MINIMUM INSTANTANE : 0.000 L/S () LE 10 OCTO A 12H00
 MAXIMUM INSTANTANE : 15.800 L/S () LE 6 DECE A 02H20

IMPRESSION DES DEBITS INSTANTANES - ANNEE 1986

EDITION DU 11/06/1986 A 12H22

STATION : 4352595002-1 DEVERSOIR PETIT BASSIN
RIVIERE : YORGUES AMONT
DEBITS EN L/S

PAYS : FRANCE
BASSIN : COMBE NEGRE
AIRE DU BASSIN VERSANT 0.030000 KM2
ALTITUDE 183M

MOIS	JOUR	HEURE	DEBIT	JOUR	HEURE	DEBIT	JOUR	HEURE	DEBIT	JOUR	HEURE	DEBIT	JOUR	HEURE	DEBIT				
JANV	CODE	DRIGINE	MAXI	MENSUEL:	MINI:	0.000	L/S	()	LE 23	JANV	A 12H00	MAXI:	11.200	L/S	()	LE 31	JANV	A 01H30	
JANV	1	00H00	**LAC		23 11H59	**LAC	23	12H00	.000	29	02H00	.000	29	02H30	**H.B.	29	03H00	2.60	
JANV	29	03H30	2.87		29	04H00	3.49	29	04H30	4.48	29	05H00	4.18	29	05H45	6.39	29	06H00	4.48
JANV	29	06H45	2.87		29	07H00	4.48	29	07H30	4.28	29	08H00	4.99	29	08H30	3.00	29	09H15	4.99
JANV	29	10H00	3.49		29	11H00	2.34	29	12H00	2.01	29	13H00	1.35	29	15H30	.836	29	18H00	.653
JANV	29	22H15	.836		29	22H45	1.35	29	24H00	1.35	30	01H00	1.75	30	01H30	3.49	30	02H00	5.75
JANV	30	02H45	5.75		30	03H00	5.12	30	03H30	6.77	30	04H00	5.12	30	05H00	3.49	30	06H00	2.67
JANV	30	08H30	2.01		30	11H30	1.35	30	15H00	.836	30	18H00	.653	30	19H00	.836	30	19H40	1.35
JANV	30	21H00	1.02		30	23H00	1.35	30	23H20	1.68	31	00H30	1.68	31	01H00	4.48	31	01H30	11.2
JANV	31	02H00	10.3		31	03H00	7.02	31	04H00	5.75	31	05H00	4.48	31	06H00	4.48	31	06H40	3.99
JANV	31	07H00	7.02		31	08H00	4.48	31	09H00	3.49	31	10H00	2.67	31	12H00	2.01	31	14H40	1.35
JANV	31	16H00	1.35		31	16H30	2.01	31	18H00	2.21	31	21H00	1.35	31	24H00	1.02			
FEVR	CODE	DRIGINE	MAXI	MENSUEL:	MINI:	0.000	L/S	()	LE 9	FEVR	A 20H00	MAXI:	39.000	L/S	()	LE 17	FEVR	A 04H00	
FEVR	1	01H00	.983		1	03H00	.836	1	06H00	.726	1	12H00	.470	1	17H00	.372	1	24H00	.275
FEVR	2	06H00	.197		2	13H30	.197	2	14H00	.275	2	17H00	.275	2	17H40	1.35	2	18H30	.836
FEVR	2	21H00	.470		2	24H00	.431	3	01H00	.411	3	06H50	.353	3	07H15	6.13	3	07H30	4.28
FEVR	3	08H00	5.75		3	08H30	2.54	3	09H00	6.26	3	09H30	3.00	3	10H30	3.00	3	10H50	2.87
FEVR	3	12H30	2.01		3	15H00	1.35	3	19H20	.910	3	20H00	3.79	3	20H30	2.60	3	21H00	2.80
FEVR	3	22H00	2.08		3	23H00	3.69	3	24H00	7.35	4	01H00	7.02	4	02H00	8.17	4	02H30	7.68
FEVR	4	03H00	8.00		4	04H30	4.18	4	05H00	4.09	4	07H00	3.49	4	08H00	2.93	4	08H20	3.59
FEVR	4	14H00	2.34		4	18H40	1.75	4	19H00	2.47	4	22H00	2.01	5	00H50	2.01	5	02H30	2.67
FEVR	5	03H00	4.99		5	04H30	3.99	5	05H00	8.66	5	05H30	7.02	5	06H00	8.82	5	08H00	5.24
FEVR	5	10H40	4.48		5	18H00	2.01	5	23H00	1.35	6	04H00	.836	6	11H00	.470	6	18H00	.275
FEVR	7	10H00	.080		7	23H00	.080	8	04H40	.060	8	05H15	.411	8	05H45	.653	8	06H20	.470
FEVR	8	08H00	2.67		8	08H30	1.35	8	09H00	.138	8	09H30	.060	8	11H40	.040	8	24H00	.032
FEVR	9	02H00	.016		9	05H30	.004	9	07H00	.020	9	09H00	**H.B.	9	11H00	.040	9	12H00	.275
FEVR	9	13H00	.040		9	20H00	.000	9	24H00	.012	10	02H30	**H.B.	10	04H00	**H.B.	10	06H00	**H.B.
FEVR	10	09H30	**H.B.		10	13H00	**H.B.	10	14H20	**H.B.	10	15H00	**H.B.	10	19H00	**H.B.	10	21H00	**H.B.
FEVR	10	24H00	**H.B.		11	06H00	**H.B.	11	12H00	**H.B.	11	19H00	**H.B.	11	24H00	**H.B.	12	01H00	**H.B.
FEVR	12	05H00	**H.B.		12	10H00	**H.B.	12	13H00	**H.B.	12	18H00	**H.B.	13	09H00	**H.B.	13	12H00	**H.B.
FEVR	13	15H00	**H.B.		14	04H00	**H.B.	14	14H40	**H.B.	14	16H00	**H.B.	14	17H00	**H.B.	14	18H00	**H.B.
FEVR	14	19H00	.836		14	21H00	2.01	14	23H00	2.41	15	04H00	2.01	15	07H00	2.01	15	08H20	2.34
FEVR	15	14H00	2.01		15	21H00	1.35	16	13H00	.836	16	23H40	.763	16	24H00	1.61	17	01H45	1.61
FEVR	17	03H00	5.75		17	03H30	8.99	17	03H45	7.84	17	04H00	39.0	17	05H00	8.66	17	06H00	5.75
FEVR	17	12H00	3.49		17	18H00	2.67	18	03H00	2.01	18	14H00	1.35	18	16H00	1.35	18	24H00	.946
FEVR	19	06H00	.836		19	12H00	.763	19	24H00	.616	20	02H00	.580	20	17H00	.470	21	02H00	.470
FEVR	21	24H00	.372		22	18H00	.275	23	10H00	.275	23	18H00	.080	23	21H00	.080	24	08H00	.040
FEVR	24	14H00	.000		24	17H00	**H.B.	24	20H00	**H.B.	24	23H00	**H.B.	25	06H00	**H.B.	25	09H00	**H.B.
FEVR	25	14H00	**H.B.		25	18H00	**H.B.	25	20H30	**H.B.	25	24H00	**H.B.	26	03H00	**H.B.	26	06H30	**H.B.
FEVR	26	12H00	**H.B.		26	22H00	**H.B.	26	23H00	**H.B.	26	24H00	**H.B.	27	01H00	**H.B.	27	02H00	**H.B.
FEVR	27	04H00	**H.B.		27	06H00	**H.B.	27	09H00	.275	27	15H30	1.02	27	23H00	1.02	28	01H00	.836
FEVR	28	14H00	.470		28	24H00	.392												
MARS	CODE	DRIGINE	MAXI	MENSUEL:	MINI:	0.000	L/S	()	LE 8	MARS	A 21H00	MAXI:	11.800	L/S	()	LE 1	MARS	A 16H00	
MARS	1	01H00	.372		1	06H00	.333	1	07H00	.294	1	08H00	.353	1	10H00	4.38	1	12H00	2.67
MARS	1	12H45	5.12		1	13H20	4.86	1	14H00	8.66	1	15H30	6.77	1	16H00	11.8	1	17H00	6.77

STATION : 4352595002-1 DEVERSOIR PETIT BASSIN
 RIVIERE : YORGUES AMONT
 DEBITS EN L/S

PAYS : FRANCE
 BASSIN : COMBE NEGRE
 AIRE DU BASSIN VERSANT 0.030000 KM2

ALTITUDE 183M

MOIS	JOUR	HEURE	DEBIT	JOUR	HEURE	DEBIT	JOUR	HEURE	DEBIT	JOUR	HEURE	DEBIT	JOUR	HEURE	DEBIT	JOUR	HEURE	DEBIT
MARS	7	06H00	.040	7	17H00	.020	8	01H00	.012	8	21H00	.000	9	07H00	.000	9	13H40	**H.B.
MARS	9	18H00	**H.B.	9	24H00	**H.B.	10	03H00	**H.B.	10	09H00	**H.B.	10	12H00	**H.B.	10	16H15	**H.B.
MARS	10	18H00	**H.B.	10	21H00	**H.B.	11	01H00	**H.B.	11	05H00	**H.B.	11	12H00	**H.B.	11	18H00	**H.B.
MARS	11	24H00	**H.B.	12	00H30	**H.B.	12	05H00	**H.B.	12	12H15	**H.B.	12	16H00	**H.B.	12	19H00	**H.B.
MARS	12	22H00	**H.B.	13	01H00	**H.B.	13	07H00	**H.B.	13	24H00	**H.B.	14	04H00	**H.B.	14	24H00	**H.B.
MARS	15	06H00	**H.B.	15	24H00	**H.B.	16	11H00	**H.B.	18	11H45	**H.B.	18	12H00	**H.B.	18	13H00	**H.B.
MARS	18	15H00	**H.B.	18	18H00	**H.B.	18	20H00	**H.B.	18	24H00	**H.B.	19	03H20	**H.B.	19	04H00	**H.B.
MARS	19	04H40	.946	19	05H20	.946	19	05H30	.836	19	06H00	.836	19	06H30	4.48	19	07H00	7.02
MARS	19	08H00	2.01	19	11H00	.836	19	16H00	.372	19	24H00	.275	20	03H00	.275	20	22H00	.080
MARS	21	01H00	.072	21	13H00	.040	21	24H00	.000	22	02H00	**H.B.	22	10H00	**H.B.	22	14H00	**H.B.
MARS	22	19H00	**H.B.	22	23H00	**H.B.	23	02H00	**H.B.	23	05H00	**H.B.	23	17H00	**H.B.	23	24H00	**H.B.
MARS	24	06H00	**H.B.	24	20H15	**H.B.	24	21H00	**H.B.	24	22H15	**H.B.	24	24H00	**H.B.	25	12H00	**H.B.
MARS	26	12H00	**H.B.	27	12H00	**H.B.	28	12H00	**H.B.	30	12H00	**H.B.	31	12H00	**H.B.			

AVRI CODE ORIGINE MAXI MENSUEL: ;MINI: 0.000 L/S () LE 12 AVRI A 06H00;MAXI: 94.200 L/S () LE 15 AVRI A 21H55

AVRI	1	12H00	**H.B.	2	12H00	**H.B.	3	12H00	**H.B.	4	12H00	**H.B.	5	12H00	**H.B.	6	12H00	**H.B.
AVRI	7	00H20	**H.B.	7	01H30	**H.B.	7	03H00	**H.B.	7	03H50	**H.B.	7	04H15	6.13	7	04H30	1.68
AVRI	7	05H30	1.55	7	07H00	.275	7	10H00	.080	7	13H00	.080	7	22H00	.040	8	03H00	**H.B.
AVRI	8	06H00	**H.B.	8	07H00	**H.B.	8	08H00	**H.B.	8	10H00	**H.B.	8	11H00	**H.B.	8	12H40	.275
AVRI	8	13H20	3.30	8	14H00	2.01	8	17H00	1.68	8	18H00	1.35	8	20H00	.836	8	24H00	.616
AVRI	9	06H00	1.35	9	10H00	.836	9	14H00	.470	9	23H00	.353	10	06H00	.275	10	21H00	.080
AVRI	11	07H00	.080	11	23H00	.040	12	06H00	.000	12	11H00	**H.B.	12	14H00	**H.B.	12	18H00	**H.B.
AVRI	12	21H00	**H.B.	13	03H00	**H.B.	13	09H00	**H.B.	13	13H00	**H.B.	13	16H00	**H.B.	13	21H00	**H.B.
AVRI	14	01H00	**H.B.	14	11H00	**H.B.	14	16H00	**H.B.	14	21H30	**H.B.	15	07H00	**H.B.	15	08H00	**H.B.
AVRI	15	09H00	**H.B.	15	09H30	2.34	15	11H00	.275	15	13H00	.158	15	13H50	.653	15	15H00	.353
AVRI	15	15H50	.353	15	16H30	.690	15	19H00	.470	15	21H30	.411	15	21H55	94.2	15	22H10	16.9
AVRI	15	23H00	5.75	15	24H00	3.49	16	01H00	2.67	16	03H30	2.01	16	08H00	1.35	16	15H00	.836
AVRI	16	16H00	.836	16	16H38	1.35	16	16H39	**LAC									
DECE	31	24H00	**LAC															

MOIS	JOUR	HEURE	DEBIT	JOUR	HEURE	DEBIT	JOUR	HEURE	DEBIT	JOUR	HEURE	DEBIT	JOUR	HEURE	DEBIT
CODE : A=RHE; B=COTE DE CONTROLE; C=RELEVÉ INDIRECT AVEC HEURE; D=RECONSTITUE; E=RELEVÉ INDIRECT SANS HEURE															
ANNEE INCOMPLETE															
MINIMUM INSTANTANE : 0.000 L/S () LE 23 JANV A 12H00															
MAXIMUM INSTANTANE : 94.200 L/S () LE 15 AVRI A 21H55															

A N N E X E | **3**

RAPPORT BIBLIOGRAPHIQUE

SOMMAIRE

	PAGES
INTRODUCTION	
I- CADRE DE L'ETUDE	
I-1 APERCU GEOGRAPHIQUE	2
- Situation géographique	
- Climat	
. Pluviométrie	
. Températures	
- Végétation	
I-2 GEOMORPHOLOGIE ET GEOLOGIE	3
- Géomorphologie	
- Géologie	
I-3 CARACTERISTIQUES PHYSIQUES DU BASSIN VERSANT DE LA COMBE DE MORTIES	4
II- LES PROCESSUS D'EROSION	
II-1 GENERALITES	5
II-1-1 LES DEFINITIONS	5
II-1-2 LA REPARTITION SPATIALE DES PROCESSUS D'EROSION	5
II-1-3 LA REPARTITION DE L'EROSION DANS LE TEMPS	6
II-2 LES DIFFERENTS TYPES D'EROSION	7
II-2-1 L'EROSION GLACIAIRE	7
II-2-2 L'EROSION EOLIENNE	7

II-2-3 L'EROSION CHIMIQUE	8
II-2-4 L'EROSION HYDRIQUE (MECANIQUE)	9
II-2-4-1 LES DIFFERENTES FORMES D'EROSION HYDRIQUE	10
II-2-4-1-1 L'EROSION EN NAPPES (SHEET EROSION)	10
II-2-4-1-2 L'EROSION EN FILETS OU EN RIGOLES (MICROCHANNEL OR RILL EROSION)	10
II-2-4-1-3 L'EROSION PAR RAVINEMENT (GULLY EROSION)	10
II-2-4-1-4 LA SOLIFLUXION	11
II-2-4-1-4-1 L'EROSION RAMPANTE	11
II-2-4-1-4-2 LES GLISSEMENTS DE TERRAIN	11
II-2-4-1-4-3 LES COULEES DE BOUE	11
II-2-4-2 LES CAUSES ET LES FACTEURS PRINCIPAUX DE L'EROSION HYDRIQUE	12
II-2-4-2-1 LES FACTEURS TEMPORELS (OU ACCIDENTELS)	12
II-2-4-2-1-1 LA CLIMATOLOGIE	12
II-2-4-2-1-1-1 LES TEMPERATURES ET L'HUMIDITE	12
II-2-4-2-1-1-2 LES PRECIPITATIONS	12
II-2-4-2-1-1-2-1 LA NEIGE	12
II-2-4-2-1-1-2-2 LA PLUIE	12
- La hauteur	
- L'intensité	
- L'énergie cinétique des pluies	
- L'agressivité des pluies	
- La fréquence des pluies	
- Le ruissellement	
II-2-4-2-1-1-3 LES ALTERNANCES GEL-DEGEL	15
II-2-4-2-1-1-4 L'HUMECTATION-DESSICATION	16
II-2-4-2-1-2 LA VEGETATION	17

II-2-4-2-1-3 LES ACTIVITES HUMAINES	17
- La déforestation (ou déboisement)	
- Les mauvaises techniques culturales	
- Les espèces de cultures	
- Le surpâturage	
II-2-4-2-2 LES FACTEURS PERMANENTS	18
II-2-4-2-2-1 LES FACTEURS PEDOLOGIQUES	18
II-2-4-2-2-2 LES FACTEURS GEOLOGIQUES	19
II-2-4-2-2-3 LES FACTEURS MORPHOLOGIQUES	19
- L'inclinaison du versant	
- La courbure (ou la forme)	
- L'exposition	
- La longueur	
III- EVALUATION DES BILANS D'EROSION	
III-1 ESTIMATION DES PERTES EN TERRE	22
III-1-1 EQUATION DE W.H.WISCHMEIER ET D.D.SMITH (1960)	22
III-1-2 RELATIONS EMPIRIQUES ENTRE LA PENTE (I) ET LES PERTES DE SOL (E)	23
-Equation de W.H.Wischmeier et D.D.Smith	
-Equation de T.H.Neal	
III-1-3 ESTIMATION DES PERTES EN TERRE A PARTIR DES DEBITS SOLIDES ET DES PARAMETRES PHYSIQUES DU BASSIN VERSANT	24

III-2 ETUDE EXPERIMENTALE DE L'EROSION	25
III-2-1 ETUDE DE L'EROSION AU NIVEAU DES VERSANTS	25
III-2-1-1 METHODE DES CHENAUUX (MESURES VOLUMETRIQUES)	25
III-2-1-2 MESURES TOPOGRAPHIQUES	26
III-2-2 ETUDE DE L'EROSION A L'EXUTOIRE DU BASSIN VERSANT	26
III-2-2-1 MESURE DE MATIERES EN SUSPENSION	27
III-2-2-1-1 APPAREILS DE MESURE	27
III-2-2-1-1-1 EQUIPEMENTS POUR LES PRELEVEMENTS	27
III-2-2-1-1-2 APPAREILS DE MESURE IN SITU	28
III-2-2-1-2 CALCUL DES DEBITS SOLIDES	29
III-2-2-1-3 CALCUL DE BILANS D'EROSION A PARTIR DE TRANSPORT EN SUSPENSION	30
III-2-2-2 MATERIAUX SOLIDES TRANSPORTEES PAR CHARRIAGE	30
III-2-3 ETUDE DE L'EROSION DANS LES LACS ET LES BARRAGES DE RETENUES	31
CONCLUSION	32
ANNEXE	34
BIBLIOGRAPHIE	35

INTRODUCTION

Dans le cadre de notre mémoire de DEA, il nous a été demandé de présenter dans un premier temps un rapport bibliographique sur notre sujet .

La présente note ne prétend aucunement traiter le sujet qui porte sur le calcul de bilans d'érosion sur petits bassins représentatifs de la région du Pic Saint-Loup de façon définitive. Elle rapporte les recherches bibliographiques que nous avons faites d'une façon générale sur le sujet, en donnant les références des ouvrages consultés et en indiquant les pages qui intéressent le sujet.

C'est ainsi qu'après avoir situé le bassin versant de la Combe de Mortières dans son cadre géographique et géologique, nous ferons quelques rappels sur l'érosion hydrique (mécanique) en particulier, forme qui est à l'origine de la dégradation des marnes qui recouvrent en grande partie le bassin. Nous donnerons les causes et les facteurs qui conditionnent cette forme d'érosion. Puis nous ferons quelques rappels sur les différentes méthodes de mesures et en nous appuyant sur des travaux déjà effectués, nous essaierons d'en dégager celles qui semblent mieux s'adapter pour une meilleure évaluation de l'érosion dans le bassin de la Combe de Mortières. Nous donnerons aussi les grandes lignes de la suite du travail.

I- CADRE DE L'ETUDE

I-1 APERCU GEOGRAPHIQUE

La région montpéliéraine est comprise entre les vallées de l'Hérault et du Virdoule, jusqu'à la montagne de Séranne. Une des unités de cet ensemble, la moitié occidentale, correspond à un pays de Petits Causses, plateaux calcaires du Jurassique ou du Crétacé inférieur qui alternent avec des chaînons de calcaires identiques, mais en relief comme le Pic Saint-Loup, et des bassins correspondant à des dépressions synclinales occupées par des terrains plus tendres.

Le Pic Saint-Loup (658m) constitue avec la Séranne (942m) les reliefs dominants des collines et des plateaux de moyennes altitudes (200 à 500m) de la région que couvre la carte au 1/50 000 de Saint-Martin-de-Londres (Nord de Montpellier).

La Combe de Mortières, bassin versant représentatif sur lequel porte notre étude, est une cuvette située au pied sud du Pic Saint-Loup, à 25 km au Nord-Nord-Ouest (NNW) de Montpellier. (carte N° 1).

Du point de vue climatique, l'ensemble de la région est soumis au climat méditerranéen, avec des étés chauds et secs (en raison de l'arrivée des hautes pressions subtropicales) et des hivers plus frais et plus humides (dus au retrait de ces hautes pressions faisant place aux circulations de masses d'air atlantiques et à des perturbations locales résultant de la rencontre d'air polaire froid avec l'air chaud surmontant la Méditerranée).

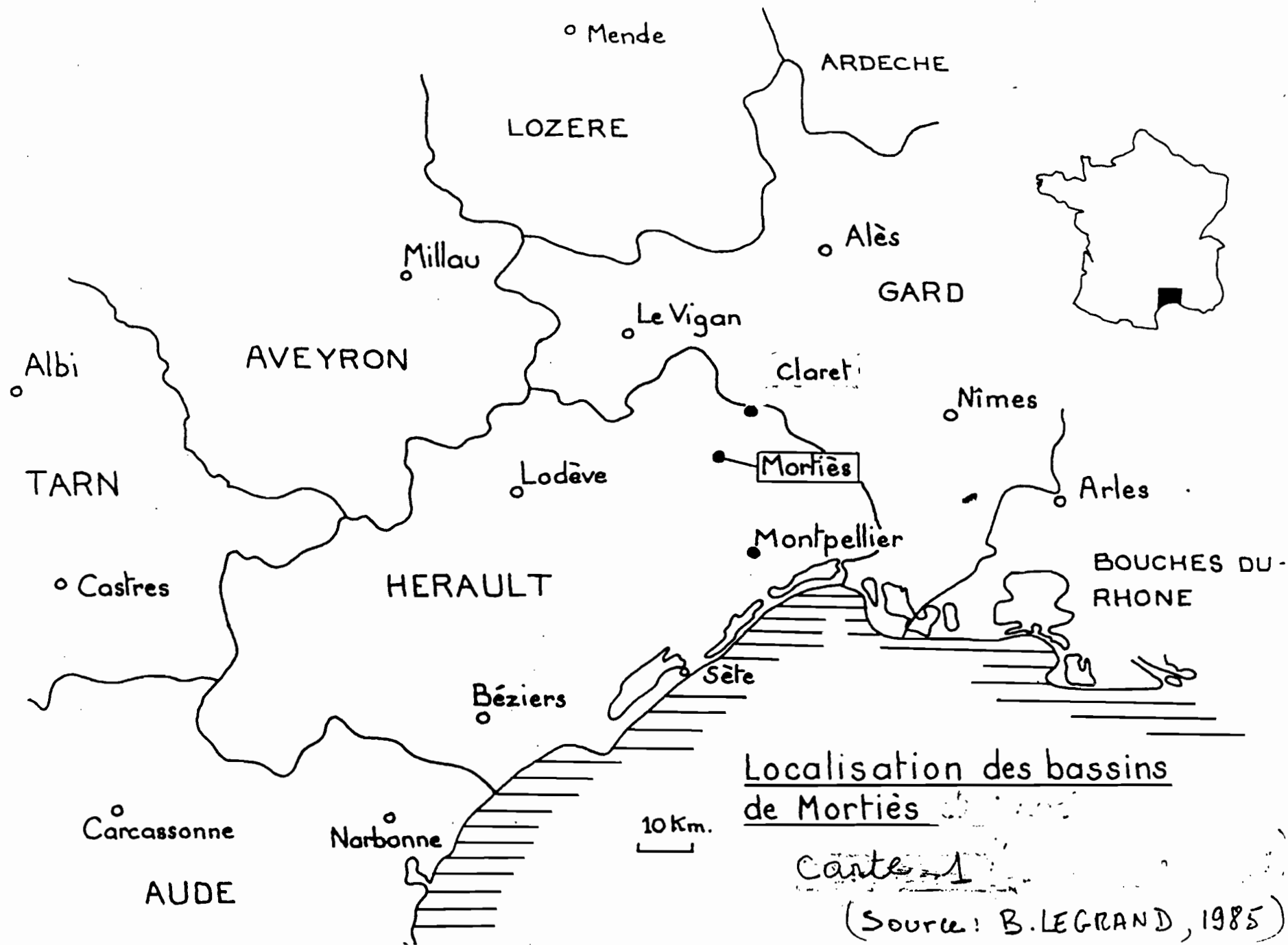
A la station de Montpellier Fréjorgues, la hauteur pluviométrique interannuelle est de l'ordre de 720 mm (moyenne: 717,5 mm sur 32 années). Le nombre moyen de jours de pluies est de 94 jours par an. Ces valeurs ont été calculées sur la période 1946-1977. Les précipitations sont souvent très violentes et on a pu observer des averses d'une centaine de millimètres en 24 heures.

Source: Météorologie Nationale.

La température annuelle est de l'ordre de 13,9°C. La température moyenne maximale est de 19°C; le maximum absolu de 36,7°C (le 06/07/1959). La température moyenne minimale est de 8,9°C; le minimum absolu de -17,8°C (le 05/02/1963). Ces données sont également relatives à la période allant de 1946 à 1977 à la station de Montpellier Fréjorgues.

Source: Météorologie Nationale.

La végétation est dominée sur les plateaux et les collines par le "garric" (nom du chêne vert ou yeux en langue d'Oc) d'où le terme de "garrigues" adopté par les Phytogéographes pour désigner ainsi le paysage végétatif. On y rencontre par endroit de bois où les pins viennent se mêler aux chênes. Dans les bas-fonds et les plaines alluviales (fertiles), les vignes restent la culture dominante.



I-2 GEOMORPHOLOGIE ET GEOLOGIE

A partir du Pic Saint-Loup on peut remarquer face au Pic le creux de Fambetou et la vallée de Terrieu, dominée par la falaise de l'Hortus. Au-delà se développe le plateau du Causse de Pompi-gnan aux Cévennes. A l'ouest du bassin du Saint-Martin-De-Londres, vers le littoral, entre le Pic et Montpellier, s'étend le Causse de Viol-le-Fort dans lequel est creusé au pied même du Pic une cuvette tapissée de vignes, la Combe de Mortières.

L'histoire géologique qui est à l'origine de cette variété de paysages se répartit en trois étapes principales :

La première voit se constituer les roches (arrivée de la mer, dépôt de sédiments constitués de boues calcaires plus ou moins argileuses qui deviennent des roches) ;

la seconde étape leur donne leur disposition en couches successives, plissées ou non ;

la troisième les creuse et les aménage.

La Combe de Mortières constitue le cœur du pli du Pic Saint-Loup, l'érosion ayant fait disparaître la partie la plus haute avant de creuser dans les marnes du lias moyen et supérieur.

D'après B. Gèze (1975) et H. Philip et Al (1979), le Toar-cien est bien représenté dans la Combe de Mortières sous le faciès de marnes noires, assises à Hildoceras bifrons où cette ammonite est associée à d'autres populations importantes, dont Alcolyto-ceras Mortiesense, forme reconnue uniquement au Pic Saint-Loup. On signale aussi la présence des "schistes cartons".

Sur les parties hautes du bassin affleurent des calcaires du jurassique moyen et supérieur. Au flanc sud du Pic, les couches calcaires sont inclinées vers le sud tandis qu'à son flanc nord elles sont redressées à la verticale. La partie Est du bassin est parcourue par de nombreuses failles.

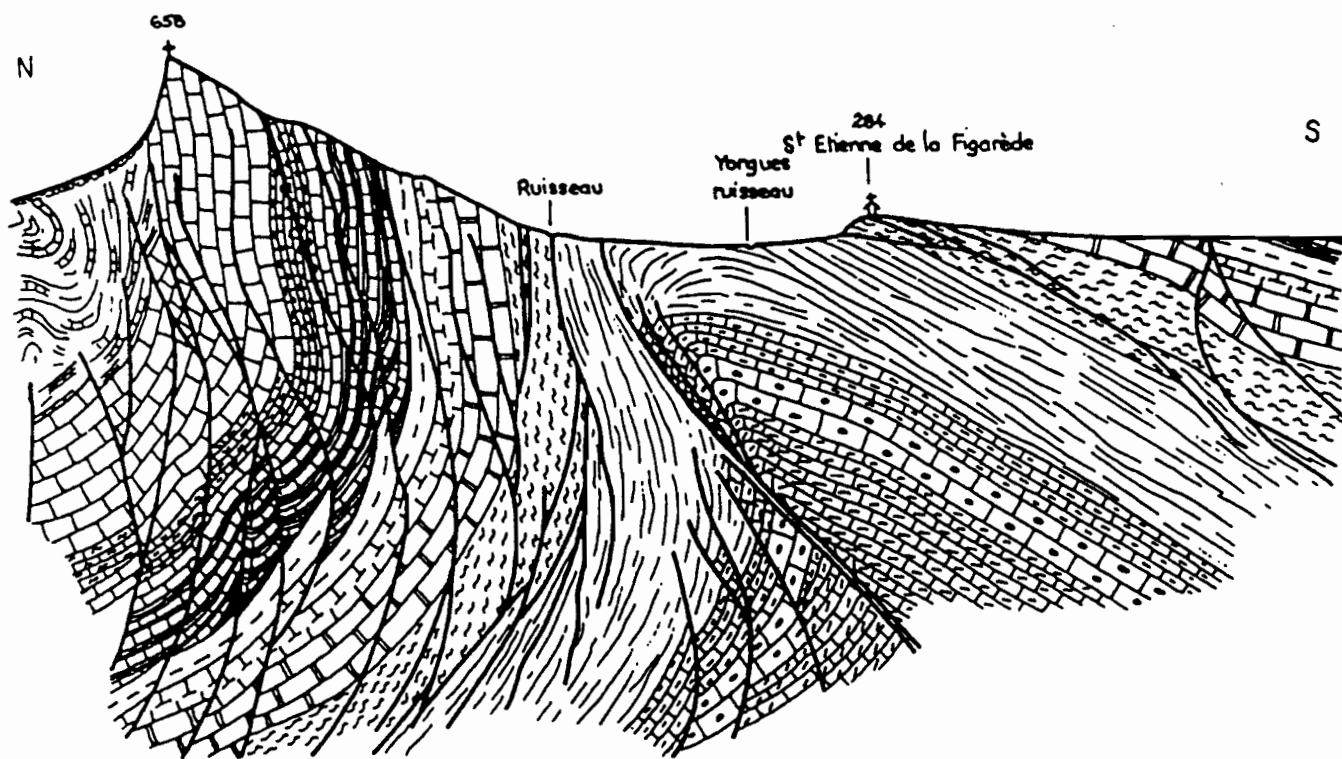
Les torrents descendant des reliefs surgis au quaternaire entraînent des alluvions qu'ils vont étaler dans les bas-fonds de la Combe (fertiles) où se cultivent les vignes.

La planche N°1 montre une coupe interprétative du chaînon du Pic Saint-Loup au niveau de la Combe de Mortières (Mattei, mai 1966).

La présence des calcaires et des marnes noires revêt des intérêts hydrologiques différents.

En effet, au niveau des calcaires (système karstique perméable) et des failles, l'infiltration sera prédominante tandis que les eaux de pluies vont ruisseler sur les marnes noires (impermeables) et donner un réseau hydrographique dense (carte N°2) ; si on ajoute à ces terrains affouillables que sont les marnes les pluies sous forme d'averses de la région, il en résulte une érosion hydrique (mécanique) intense dont nous verrons les formes, les causes et les facteurs un peu plus loin. Le drainage et l'érosion dans la plaine alluviale seront influencés par les activités humaines (cultures).

Coupe interprétative de la Structure du Chainon du St Loup
au niveau de la combe de Mortières (J. MATTEI mai 1966)



-  Calcaires miroitants
Valanginien sup.
-  Marno-calcaires et Marnes
Berriosien-Valanginien
-  Calcaires
Jurassique sup.
-  Marno-calcaires
Séquanien inf.
-  Calcaires
Rauracien
-  Marno-calcaires et Marnes
Oxfordien-Argovien
-  Calcaires et Marnes
Collovien
-  Calcaires et dolomies
Bathonien
-  Marno-calcaires et Marnes
Aalenien sup. Bajocien
-  Marnes noires
Lias moyen et sup.
-  Marno-Calcaires
Carixien
-  Sinémurien (Forage)
-  Hettongien (Forage)

Planche 1 (source : B. LEGRAND, 1985)

Avant d'aborder l'érosion proprement dite, étudions d'abord le complexe physique du bassin versant représentatif de la Combe de Mortières.

I-3 COMPLEXE PHYSIQUE DU BASSIN VERSANT DE LA COMBE DE MORTIÈS

Nous nous proposons, dans cette partie du travail, de déterminer les caractéristiques physiques du bassin versant de la Combe de Mortières à partir de la carte au 1/50 000 de Saint-Martin-De-Londres ou mieux encore à partir des photographies aériennes. Cette détermination que nous renvoyons pour le rapport final, se fera à l'aide de l'Hydrologie de Surface de M. Roche (1963) pages 144-154 et portera sur les paramètres suivants :

- la superficie
- le périmètre
- le rectangle équivalent
- l'indice de compacité de Gravelius (Kc)
- la densité de drainage
- l'indice de pente
- la répartition et la courbe hypsométrique
- le rapport de longueur
- le rapport de confluence

II- LES PROCESSUS D'EROSION

II-1 GENERALITES

II-1-1 DEFINITIONS

Plusieurs définitions de l'érosion existent suivant les auteurs. De ces différentes définitions, nous avons retenu celles (au sens large) de M. Derruau, 1974 (p.45) et de P. Birot, 1981 (p.1 à 6). Elles font appel à la combinaison entre les processus d'arrachement (creusement de la surface du sol, désagrégation et altération des roches), de transport et de dépôt de matériaux. Il ressort de cette définition que l'étude de l'érosion fait appel aux composantes espace et temps.

II-1-2 REPARTITION SPATIALE DES PROCESSUS DE L'EROSION

La définition des processus d'érosion suivant la trilogie creusement ; transport et accumulation des matériaux aurait conduit certains auteurs comme Stanley A. Schumm, 1977 (p.2 à 4) à imaginer un système fluvial idéal comportant 3 zones (fig. 1) :

- la zone 1 (amont) correspond à la zone de production de matériaux ;
- la zone 2 est celle du transfert des matériaux arrachés en zone 1 ;
- la zone 3 couvre les sites des dépôts de ces matériaux.

D'autres comme M. Derruau, 1974 (p. 45 à 46) et Georges Viers, 1984 (p. 59 à 73) distinguent deux types d'érosion suivant que le processus se passe sur les points bas du bassin ou sur les versants :

-L'érosion linéaire ou érosion de l'eau courante sur le fond du lit, donc sur le talweg (ligne unissant les points bas d'une vallée).

-L'érosion aérolaire : c'est l'érosion des surfaces des interfluves (tout ce qui est compris entre deux talwegs) due à des agents multiples (atmosphériques, biologiques, érosion des filets d'eau...)

L'étude de l'érosion peut être envisagée au niveau d'un torrent (comme le Yorgues dans la Combe de Mortières). C'est un cours d'eau de courte longueur, à pente forte, travaillant dans une région de terrain affouillable (argiles, marnes...), creusant brusquement sous un climat qui lui donne un débit saccadé et des crues soudaines.

On retrouve la division en 3 zones faite par A. Schumm dans un système fluvial idéal dans l'étude de l'érosion sur un torrent "complet" (Derruau, 1974 p.69 à 72) :

-le bassin de réception (cours supérieur), correspond à la zone de formation du torrent (par concentration des eaux) et de creusement lors de chaque averse, donnant des matériaux qui sont

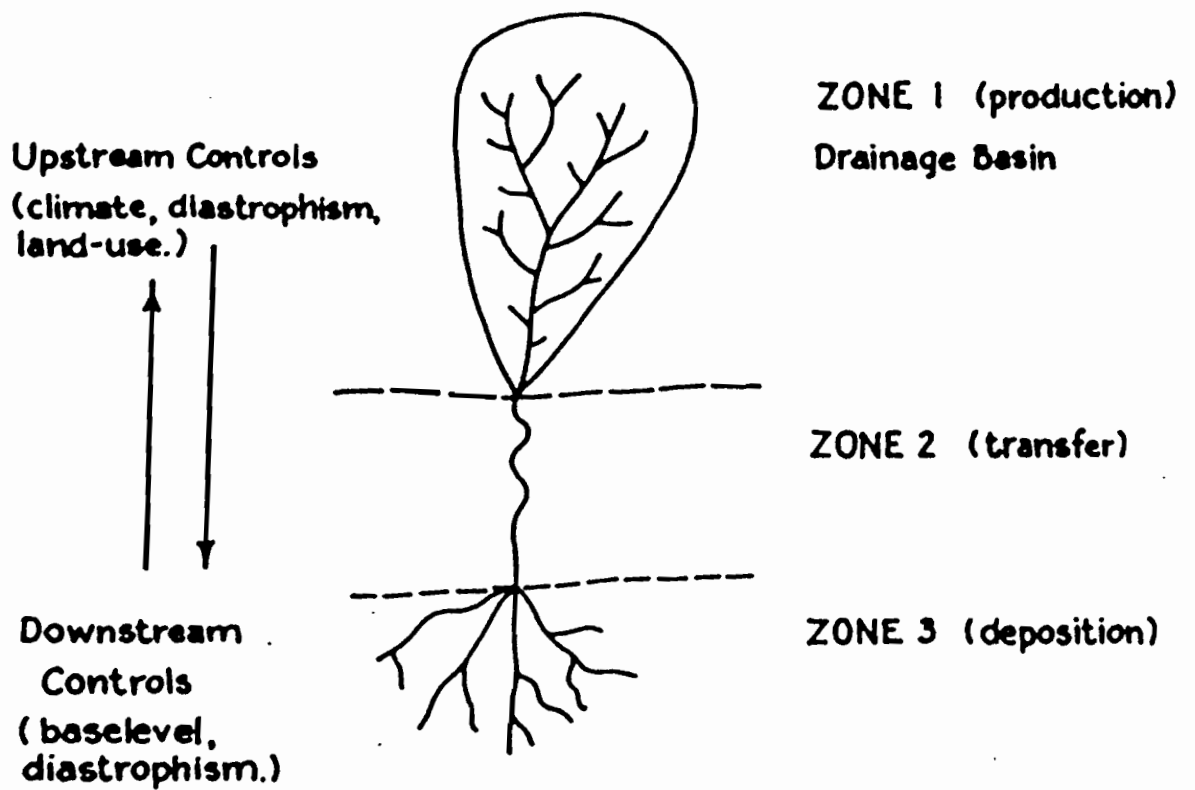


Figure 1. Idealized fluvial system.

(D'après Stanley A. Schumm, 1977)

soit déposés au bas des versants, soit transportés en fonction de l'énergie cinétique de la pluie.

-Le canal d'écoulement (cours moyen) correspond au lit du cours d'eau. L'érosion, le transport et l'accumulation peuvent s'y produire ; le transport reste cependant le processus dominant.

-Le cône de déjection (zone inférieure) correspond à la vallée principale où le torrent finit son cours. Sa pente faible et son fond plat entraînent une diminution de la vitesse du torrent allant jusqu'à un freinage brusque de la vitesse du courant d'eau. L'énergie nécessaire pour le transport des matériaux charriés jusque-là devient faible et le torrent les y dépose. Si des dépôts successifs permettent une augmentation de la pente et donc une augmentation de la vitesse du courant capable de transport, alors les matériaux pourront être transportés jusqu'au fleuve.

On peut remarquer que la répartition spatiale des processus d'érosion n'est pas nette ; plusieurs phénomènes peuvent se produire en même temps dans une zone du système fluvial. On devrait donc étudier les différents processus d'érosion pour chaque zone. Mais pour des raisons de simplification de calcul, nous évaluons le bilan d'érosion au niveau des versants, au niveau des matériaux charriés (transport de fond) et au des matières en suspension.

II-1-3 LA REPARTITION DE L'EROSION DANS LE TEMPS

Suivant les causes et les conséquences de l'érosion on a reconnu deux grands types d'érosion :

-L'érosion naturelle (érosion normale ou encore érosion géologique) ; c'est un type d'érosion dont la vitesse et les conséquences sont à considérer à l'échelle des temps géologiques. Elle est causée par la désagrégation des roches (altération de la roche-mère), par l'eau, les variations des températures, la mer, la gravité, le vent, les glaciers..., donc en l'absence de toute intervention humaine. La conséquence de ce type d'érosion est la sculpture du relief actuel de la terre.

-L'érosion accélérée : les agents en sont les mêmes, mais les causes principales de ce type d'érosion restent les activités humaines. Celles-ci ont modifié la couverture végétale et l'état du sol. La conséquence à court terme de l'érosion accélérée est la disparition des sols. Elle serait responsable de la destruction de 20 % des terres cultivables dans le monde. C'est ainsi que de la conquête des Etats-Unis jusqu'en 1940, 115 000 000 d'hectares de terres ont été ruinées. Les conséquences à long terme sont les inondations et l'envasement des retenues (le lac de Serre-Ponçon et lac Nasser retenu par le barrage d'Assouan sont menacés de forte diminution de capacité). (cf J. P. Viani, cours EPFL 1982).

Il ressort de tout ce qui précède que l'eau reste le principal agent moteur de l'érosion (sens large). Elle est la cause première de l'altération des roches qui donnent des particules, du détachement et de l'arrachement des agrégats. L'énergie ciné-

tique développée par le ruissellement permet l'enlèvement des agrégats détachés, le creusement du sol et le transport des matériaux qui sont déposés ou accumulés progressivement avec la dissipation de cette énergie.

Avant de voir en détail dans ce qui va suivre l'érosion due essentiellement à l'énergie mécanique de l'eau (objet de ce travail), nous allons d'abord faire quelques rappels sur les différents systèmes d'érosion.

II-2 LES DIFFERENTS TYPES D'EROSION

II-2-1 L'EROSION GLACIAIRE

La glace est l'agent principal de ce système d'érosion. La glace pure travaille par arrachement des blocs auxquels elle est soudée. Par contre, la glace "sale", chargée de débris rocheux, travaille par abrasion ; elle strie et polit les roches de son lit en fonction de sa vitesse, de la pression qu'elle exerce et de la proportion des matériaux abrasifs. Les eaux sous-glaciaires évacuent les débris. L'abandon de la charge transportée par la glace ne se fait qu'après sa fusion ou son glissement. Les accumulations obtenues sont les moraines sableuses dans les Islandis (calottes glaciaires polaires ou boucliers) ; ou des moraines riches en roches altérées (moraines anciennes) ; ou encore des moraines riches en blocs sains (moraines récentes) dans les montagnes. Ce sont des phénomènes du milieu de l'ère du quaternaire.

Signalons que certains auteurs comme Derruau (1974) présentent le système périglaciaire comme une unité à part ; c'est celle où les mécanismes essentiels sont commandés par le gel et le dégel dans le sol et dans les roches, par la solifluction et où interviennent dans un degré moindre le ruissellement et le vent.

Orientation bibliographique

- Georges Viers, 1984 (p. 96 à 104)
- M. Derruau, 1974 (p. 135 à 183)
- P. Birot, 1981 (p. 483 à 535)

II-2-2 L'EROSION EOLIENNE

Le processus d'érosion éolienne se manifeste en général partout, mais particulièrement dans les régions chaudes, sans couverture végétale (régions arides) ; Ce type d'érosion agit de façon plus efficace dans les conditions suivantes :

- sol meuble, sec et émietté ;
- surface du sol plane et suffisamment étendue dans la direction du vent ;
- végétation absente ou clairsemée ;
- vent suffisamment fort pour mettre en mouvement les particules du sol.

On a reconnu deux mécanismes d'érosion éolienne :

- La déflation éolienne : elle entraîne le creusement des dépressions dans les roches meubles. Le vent soulève des particules fines en nuages de poussières, fait rouler ou sauter les grains de sable, en abandonnant les éléments grossiers.

- La corrasion éolienne est l'usure provoquée par le choc et le passage des grains de sable sur les roches cohérentes.

Il résulte de ce qui précède plusieurs types d'accumulation dont les champs de dunes (accumulation de sables) ou ergs et les regs (accumulation de galets épars) en constituent les formes les plus fréquentes dans les régions désertiques.

Orientation bibliographique

- Georges Viers, 1984 (p. 105 à 106)
- M. Derruau, 1974 (p. 189 à 202)
- P. Birot, 1981 (p. 467 à 48)

II-2-3 L'EROSION CHIMIQUE

L'altération chimique apparaît comme un des processus dominants dans l'évolution des versants, parcequ'elle est à l'origine non seulement de la formation des altérites mobilisables, mais aussi du débitage de la roche à plus petite échelle. elle se manifeste partout où la végétation est dense et suffisamment continue.

La division des roches en petits fragments se produit à la suite d'une action lente, traduite par la progression de l'altération chimique le long des lignes de fracture, assistée par l'action des racines qui élargissent les fissures au fur et à mesure de leur croissance.

Une autre forme de désagrégation dite granulaire aboutit à l'individualisation des grains d'échelle millimétrique suivant trois processus différents :

- dégagement des cristaux les plus résistants (quartz) ;
- exploitation des fissures et des vides intercrystallins qui sont agrandis par dissolution ;
- néogenèse des minéraux gonflants qui exercent une action de disjonction.

Les particules de taille plus petite résultent d'une pulvérisation plus poussée.

On peut dire, dans le cas le plus général, que l'altération chimique affecte particulièrement les minéraux des roches endogènes et métamorphiques ; les processus chimiques modifient la nature de la roche et en même temps sa résistance, soit en la diminuant, par hydratation, altération ou dissolution ; soit en l'accroissant par cimentation, par formation des croûtes, des carapaces, des cuirasses, dépôts superficiels très durs et protecteurs.

Cette forme d'érosion dépend en général des phénomènes d'hydrolyse, assistée par des quantités plus ou moins grandes de CO₂.

Les bilans d'altération sont établis par l'analyse minéralogique et chimique des différents horizons d'altérites, comparés avec celle de la roche mère. Il s'agit de distinguer dans chaque cas :

- la quantité et la nature des minéraux primaires résiduels ;
- la quantité et la nature des minéraux secondaires apparus au cours de l'altération ;
- la quantité et la nature des éléments exportés en solution.

En ce qui concerne l'étude de l'exportation par les rivières des transports dissous, la mesure de ces derniers est relativement facile du fait qu'en général les concentrations en matières dissoutes sont homogènes dans une section de mesure. Dans le cas le plus général, une seule mesure ponctuelle devrait suffire à déterminer les concentrations recherchées ; mais pour des raisons de sécurité, il est préférable de procéder à trois mesures en des points différents. Les mesures ponctuelles peuvent être faites soit à l'aide des prélèvements de volumes d'eau suffisants (avec les mêmes moyens que pour les transports solides ; nous les verrons plus loin) pour réaliser les analyses nécessaires, soit par détermination in situ des concentrations (par mesure de la conductivité ; celle-ci étant liée à la concentration des matières dissoutes). Cette mesure peut être réalisée par différents modèles de sonde. (Cf Colombani, cours DEA (USTL), 1985-86).

Il convient cependant de noter que la limite entre matières en solution et matières en suspension n'est pas nette. Arbitrairement elle est fixée entre 0.40 μ et 0.50 μ , le filtrat (< 0.40 μ) des eaux étant considéré comme une solution. (Cf M. D. Loye-Pitot, BRGM 1981, p. 253 à 260).

De ce qui précède, on peut dire que le rôle de l'altération chimique des roches dans le processus de genèse de sédiments détritiques est moins évident. Elle laisse sur place des matériaux ameublés qui sont mobilisés plus facilement que les roches saines par les agents d'érosion. On peut donc conclure qu'elle prépare le terrain à l'érosion mécanique, objet du prochain chapitre.

Orientation bibliographique

- P. Birot, 1981 (p. 182 à 265)
- G. Viers, 1984 (p. 52)
- J. Colombani, 1985 (p. 10 à 15)
- M. D. Loye-Pitot, 1981 (BRGM p. 253 à 260)

II-2-4 L'EROSION HYDRIQUE (MECANIQUE)

L'érosion hydrique est un type d'érosion provoquée par la pluie (d'où l'appellation d'érosion pluviale). Elle se produit partout dans le monde. Son importance est d'autant plus grande qu'elle concerne les sols nus ou peu protégés par la végétation. Les techniques culturales et les aménagements agricoles (donc intervention humaine) jouent un rôle important.

Avant de voir les causes et les facteurs de l'érosion hydrique, nous pouvons d'abord faire quelques rappels sur les

différentes formes de ce système d'érosion.

II-2-4-1 LES DIFFERENTES FORMES D'EROSION HYDRIQUE

II-2-4-1-1 L'EROSION EN NAPPES (SHEET EROSION)

L'érosion en nappes est commandée par deux processus :

-Le choc des gouttes de pluies cause le détachement des particules de terre, provoquant ainsi "l'effet splash" (jaillissement, phénomène lié à l'énergie cinétique des gouttes de pluie). L'impact des gouttes de pluie fait rebondir de l'eau et projette les particules disloquées. Les pores superficiels s'obstruent (d'où diminution de la vitesse d'infiltration) au fur et à mesure que se forme une "pellicule de battance".

-Il se crée sur le sol une lame d'eau dont l'écoulement enlève les particules détachées et les transporte. La puissance du transport est fonction de l'épaisseur et de la vitesse du ruissellement. Ce type d'érosion, difficile à déceler, reste la forme la plus répandue dans les champs cultivés. Sous son effet, les racines des arbres, des plantes et des pieux de clôture se déchaussent progressivement. Les éléments fins (argiles, limons, humus) et les éléments nutritifs sont déplacés de l'amont du champ vers l'aval, et le plus souvent gagnent les fossés et les rivières.

II-2-4-1-2 L'EROSION EN FILETS OU EN RIGOLES (MICROCHANNEL OR RILL EROSION)

L'érosion en rigoles est une manifestation même de l'érosion linéaire. Elle se produit lorsqu'il y a des irrégularités à la surface du sol, souvent dues aux façons culturales ; les eaux se concentrent, le ruissellement acquiert une énergie abrasive et les eaux coulent suivant les lignes de moindre résistance, entraînant des particules suivant la force du ruissellement. Il en résulte des dépressions suffisamment petites qui constituent des griffes ou filets ou encore rigoles.

II-2-4-1-3 L'EROSION PAR RAVINEMENT (GULLY EROSION)

L'érosion par ravines est une forme accentuée de l'érosion en rigoles. Le ravinement affecte essentiellement les affleurements des marnes noires. Il est dû surtout à l'action de la pluie et du ruissellement concentré qui entraîne des couches successives après des cycles de gel-dégel. Au cours du temps et en fonction de la durée et de l'intensité de la pluie, les eaux se concentrent dans les rigoles et les creusent peu à peu. Suivant la nature du sous-sol, les formes des ravines peuvent être en "V" (sous-sol tendre) ou en "U" (sous-sol dur). Les dimensions des ravines sont considérables. Le ravinement apparaît comme un stade avancé de l'érosion. Cette forme d'érosion est à l'origine des "bad-lands", terme géomorphologique employé pour caractériser "l'ensemble des zones érodées, montrant une dissection très accentuée du méso-relief et du micro-relief (ravinement) et laissant apparaître à la surface le désordre des roches mères plus ou moins friables (marnes et argiles en général). (Cf L. Descroix 1985 p. 58).

II-2-4-1-4 LA SOLIFLUXION

On rattache à l'érosion par solifluxion toutes les formes d'érosion dues aux mouvements de terrain liés à une perte de cohésion du sol et du substratum (régions marneuses). Les phénomènes de solifluxion commencent par une humectation progressive du sol ou du substratum rocheux, surtout lors des pluies fines et persistantes ou de grosses chutes de neige ou de fonte de neige. La lubrification des plans de glissement lors des averses de fréquence rare peuvent provoquer le mouvement en masse si cette humectation est excessive. Suivant l'état du sol (solide, plastique ou liquide) on aura des phénomènes différents.

II-2-4-1-4-1 L'EROSION RAMPANTE

Cette forme de solifluxion se produit dans les terrains où il n'y a pas d'arbres pour maintenir le sol solidaire de ses horizons inférieurs et du substratum. Une fois la limite de plasticité atteinte, à la suite de l'élévation de la teneur en eau de l'horizon inférieur, le sol se déplace sous l'effet de sa gravité. J. M. Masson (1971) parle de reptation du sol ou fluage du sol alors que L. Descroix (1985 p. 68 à 69) préfère le terme de solifluxion en terrassettes.

II-2-4-1-4-2 LES GLISSEMENTS DE TERRAIN

Les glissements de terrain constituent une forme accentuée de l'érosion rampante puisqu'ils se produisent également sans dépassement de la limite de liquidité. E. Roose, 1984 (p. 8) parle d'une translation avec ou sans rotation sur un niveau peu perméable, entraînant la couverture végétale et commandée par la force de gravité.

II-2-4-1-4-3 LES COULEES DE BOUE

Elles se produisent lorsque les matériaux (surtout meubles) ont atteint et dépassé la limite de liquidité ; alors, l'ensemble perd sa cohésion et s'écoule. Les coulées boueuses peuvent s'étendre sur plusieurs centaines de mètres dans le fond des vallées.

Signalons, pour terminer ce passage en revue de différents systèmes d'érosion, qu'il en existe d'autres comme les glissements en planche épaisse, l'érosion par éboulement, l'érosion des berges, l'érosion interne ou souterraine...

Nous pouvons également noter, à partir de ce que nous avons déjà vu que compte-tenu de la nature lithologique des affleurements du bassin versant de la Combe de Mortiers (essentiellement des marnes noires), l'érosion hydrique (mécanique ou pluviale) sera la forme d'érosion prédominante dans ce bassin. Pour mieux comprendre les mécanismes de cette forme d'érosion, nous allons étudier dans ce qui suit les causes et les facteurs qui la régissent ; nous essaierons aussi de donner les équations mathématiques qui les intègrent.

Orientation bibliographique

- P. Birot, 1981 (p. 269 à 307)
- M. Derruau, 1974 (p. 186 à 187, P. 200 à 204)
- L. Descroix, 1985 (p. 52 à 72)
- J. M. Masson, 1971
- E. Roose, 1985 (p. 3 à 8)
- B. Huesch, 1970 (p. 15 0 19)
- J. P. Viani, 1982 (cours EPFL)
- B. S. Chafik, 1984
- A. Poncet, 1981 (BRGM p.297 à 300)
- L. Stieltjes, 1981 (BRGM p. 339 à 340)

II-2-4-2 LES CAUSES ET LES FACTEURS PRINCIPAUX DE L'ÉROSION HYDRIQUE

Les causes et les facteurs de l'érosion hydrique (mécanique) sont nombreux et variés. Il existe des facteurs temporels ou accidentels (liés à la climatologie, la végétation, les activités humaines...) et les facteurs permanents (liés à la géologie, la morphologie...). Néanmoins, il y a des interactions entre ces différents facteurs.

II-2-4-2-1 FACTEURS TEMPORELS (OU ACCIDENTELS)

II-2-4-2-1-1 LA CLIMATOLOGIE

Les facteurs climatiques les plus actifs sur l'érosion hydrique restent les précipitations, et à un degré moindre les températures et l'humidité.

II-2-4-2-1-1-1 LES TEMPÉRATURES ET L'HUMIDITÉ

Les variations de températures interviennent dans les alternances de gel-dégel et d'humectation-dessiccation. Ces mécanismes importants dans la désagrégation des roches sont surtout liés aux variations thermiques diurnes. De même, une roche saturée d'eau qui absorbe la chaleur se dilate facilement.

II-2-4-2-1-1-2 LES PRÉCIPITATIONS

II-2-4-2-1-1-2-1 LA NEIGE

Les chutes de neige fréquentes humectent les pentes. Cette humectation est suivie d'une dissolution superficielle lorsqu'elle est prolongée.

II-2-4-2-1-1-2-2 LA PLUIE

La pluie reste, parmi les facteurs naturels, la cause principale de l'érosion hydrique (d'où le terme d'érosion pluviale). La pluie intervient dans la destruction des agrégats (par la vitesse de chute des gouttes), dans l'enlèvement et le transport des matériaux détachés (par le ruissellement qui est lui-même abrasif). Comme nous l'avons signalé plus haut, l'érosion pluviale est la forme d'érosion qui prédomine dans le bassin versant de la Combe de Mortiers ; nous allons donc l'étudier beaucoup plus en détail. Pour ce faire, il serait intéressant de voir quels sont les paramètres efficaces de la pluie qui interviennent sur

ce type d'érosion.

-LA HAUTEUR PLUVIOMETRIQUE ?

+LA HAUTEUR PLUVIOMETRIQUE ANNUELLE

Les travaux de Hudson au Zimbabwe (1953-1958) montrent qu'il y a une mauvaise corrélation entre la hauteur de pluie annuelle et l'érosion globale (voir tableau ci-dessous tiré des cours sur l'érosion à l'EPFL (1982) par J. P. Viani et à l'USTL 1985 par Collinet).

Année	1954	1955	1956	1957	1958
Pluie(mm)	917	1130	908	962	696
Erosion(t/ha)	5.1	1.2	3.4	5.7	3.4

+LA HAUTEUR PLUVIOMETRIQUE JOURNALIERE

De même, les travaux de E. Roose (ORSTOM) 1976 à Adiopodoumé (Côte d'Ivoire) pour une même classe de pluies sur une parcelle P1 maintenue dénudée par désherbage, et une parcelle P2 (forêt secondaire) ne donnent aucune relation entre la pluie individuelle, le ruissellement et les pertes en terres (voir tableau ci-dessous tiré des cours sur l'érosion à l'EPFL (1982) par J. P. Viani et de DEA (USTL 1985) par Collinet);

Date	Pluie	P1	P2		
:	mm	E	R	E	R
:	:	Kg/ha	%	Kg/ha	%
12-06-56:	33	940	35.8	14	2.2
23-06-56:	32.1	4 189	44.2	33	1.6
03-07-56:	33.6	927	38.1	19	3.8
05-07-56:	33.1	437	7.9	6	1.7
23-10-56:	35.9	332	9.3	2	0
06-12-56:	32.8	3 694	40.3	22	0

+ L'INTENSITE

L'intensité de la pluie semble être la cause principale de l'érosion. Plus l'intensité est grande, plus l'effet de "splash" lié aux gouttes et l'effet de battance sont prononcés; ils se manifestent par une désagrégation du sol et une projection des particules. Le transport de ces particules est assuré par le ruissellement qui se produit dès que l'intensité de la pluie est supérieure à la vitesse de l'infiltration.

Le pouvoir érosif (érosivité) de la pluie est fonction de ses caractéristiques physiques (diamètre des gouttes et leur vitesse d'impact). En plus de l'intensité, on arrive à la notion de l'énergie cinétique par laquelle la pluie agit.

+L'ENERGIE CINETIQUE DES PLUIES

L'énergie cinétique s'exprime théoriquement par la relation:

$$E_c = 1/2MV^2$$

M: masse
V: vitesse

J. M. Masson, 1976 (p. 1 à 7) fait intervenir la durée de la pluie T, ce qui nécessite la connaissance à chaque instant t des paramètres :

i(t) : l'intensité de la pluie
p(θ, t) : la "granulométrie" de la pluie, c'est-à-dire la proportion dans la pluie des gouttes de différents diamètres θ
V(θ) : la vitesse de chute des gouttes, fonction du diamètre de celles-ci.

Soient ρ la masse volumique de l'eau de pluie et s la surface sur laquelle se calcule l'énergie cinétique, celle-ci s'exprime par la relation :

$$E = 1/2 \rho s \int_0^t I(t) \int_0^{\theta^{(max)}} p(\theta, t) \cdot V^2(\theta) d\theta dt$$

Plusieurs méthodes sont proposées (Masson, 1976 p. 2 à 5) pour mesurer la granulométrie des pluies. Sans entrer dans les détails de certaines de ces méthodes, nous donnons les relations qui en découlent.

La méthode utilisant la propriété qu'a un papier filtre de qualité bien définie d'absorber par unité de surface une quantité d'eau constante a permis d'établir la relation :

$$d = KD^{2/3}$$

d : diamètre de la goutte
D : diamètre de l'auréole formée par la goutte sur le papier filtre
K : coefficient lié à la qualité du papier filtre;

Les résultats obtenus par Laws et Parsons (1943) (fig. 2, tirée de Masson 1976) après des expérimentations et des mesures sur la granulométrie des pluies naturelles montrent que la granulométrie des pluies naturelles est très liée à l'intensité de la pluie.

Il en est de même pour la relation à laquelle a abouti Best (1950) entre la granulométrie d'une pluie naturelle et son intensité :

$$F = 1 - e^{-(X/AI^p)^n}$$

X : diamètre de la goutte en mm
F : pourcentage du poids cumulé des gouttes de diamètre inférieur ou égal à X par rapport au poids total de la goutte
I : intensité de la pluie en mm/h

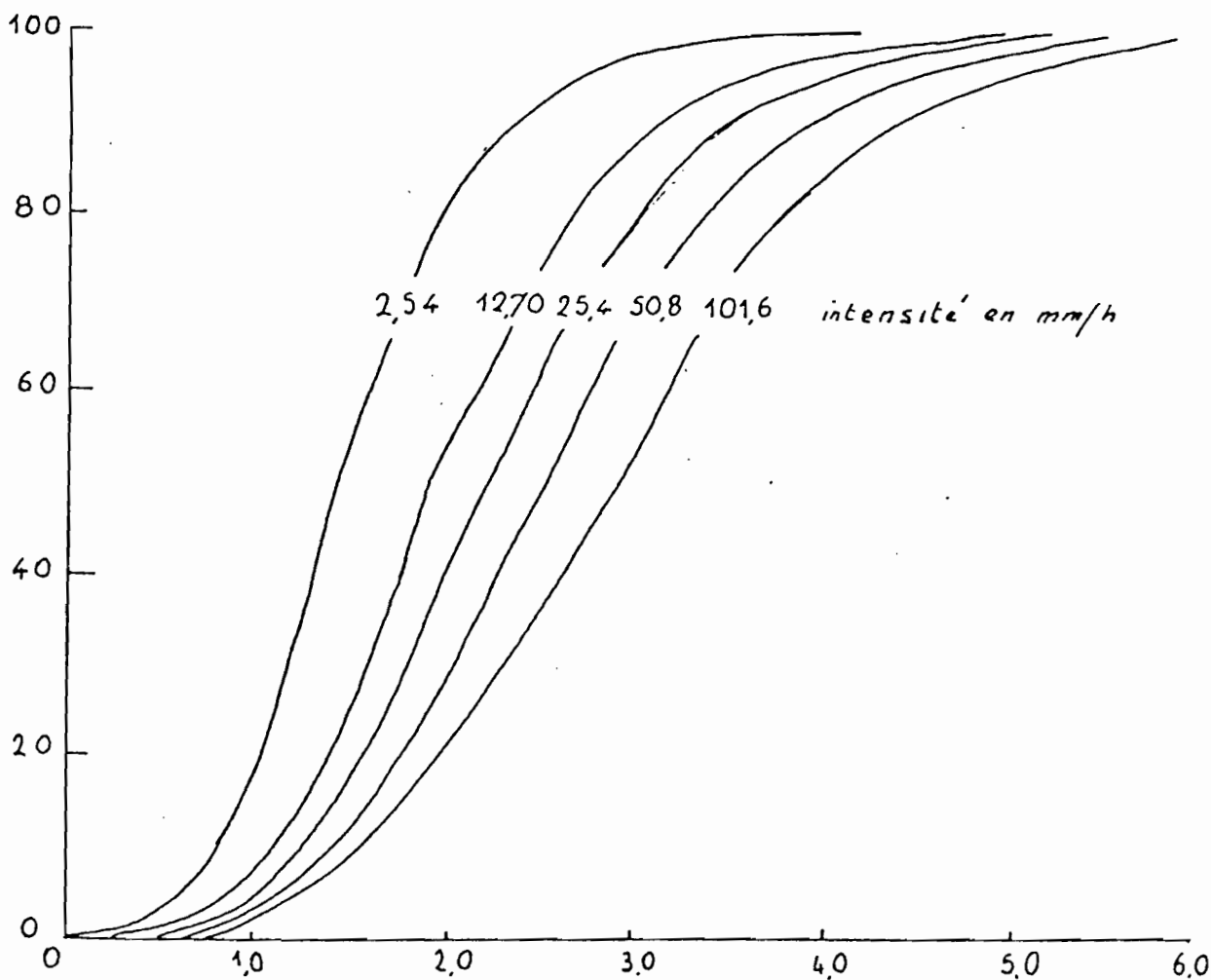
Signalons que le diamètre maximal des gouttes de pluie est de l'ordre de 9 mm et qu'au-delà, la tension superficielle est insuffisante pour maintenir la goutte ; alors, celle-ci éclate; Aussi, dans une atmosphère turbulente, le diamètre maximal est de l'ordre de 5 à 6 mm.

Le calcul pratique de l'énergie cinétique se ramène à une

Figure 2

DISTRIBUTION DU DIAMETRE DES GOUTTES
D'UNE PLUIE NATURELLE POUR DIFFÉRENTES INTENSITÉS
D'APRÈS LAWS ET PARSONS

Pourcentage par rapport au poids total des gouttes de diamètre $\leq d$



d = DIAMETRE DES GOUTTES EN MM

SOURCE : J.M. RASSON, 1976

formule établie par Wischmeier (1958) utilisant la relation entre l'intensité de la pluie et son énergie cinétique :

$$E = 8,73 \log I + 11,9$$

E : énergie cinétique en joules par m² et par mm de pluie

I : intensité de la pluie (mm/h)

L'expression logarithmique montre qu'au-dessus de 100 mm/h, l'énergie cinétique n'augmente plus que faiblement puisque le diamètre moyen des gouttes n'augmente pas proportionnellement avec l'intensité de la pluie.

+ L'AGRESSIVITE DES PLUIES

En étudiant l'agressivité des pluies en ce qui concerne l'érosion aux USA, Wischmeier (1959) a cherché l'indice d'agressivité des pluies R calculé à partir des caractéristiques des pluies. En supposant les autres facteurs de l'érosion constants, l'érosion spécifique (poids de terre sèche érodée par unité de surface) est proportionnelle à R :

$$A = K. R$$

K représente l'influence des autres facteurs de l'érosion

J. M. Masson, 1971 (p. 8 à 11) retient, à partir de nombreuses expérimentations, comme indice d'agressivité pour la Tunisie :

$$R = 130. E/685$$

E : énergie cinétique de la pluie (joules/m²)

130 : intensité maximale en 30 minutes (mm/h)

La formule généralement admise pour le calcul de l'indice d'agressivité est l'expression :

$$R = a. C^b$$

a et b sont des coefficients variant régionalement ;

C est le produit des " caractéristiques suivants :

-la hauteur de pluie journalière de période de retour 2 ans

-la hauteur de l'averse de 1 heure de période de retour 2 ans

-la hauteur moyenne des précipitations annuelles.

Cette formule permet le tracé des courbes iso-indices.

+ LA FREQUENCE DES PLUIES

Une pluie qui dure longtemps sature le sol. De même, les premières pluies préparent le terrain (un agrégat humide s'éclate plus vite qu'un agrégat sec) et si le sol n'a pas eu le temps d'être ressuyé avant les prochaines pluies, celles-ci ne peuvent plus s'infiltrer ; alors, elles ruissellent.

+ LE RUISSELLEMENT

Le ruissellement n'assure pas que le transport des particules détachées ; il devient lui-même abrasif lorsque la pente augmente et que son énergie cinétique dépasse celle des gouttes au-delà de 15% (Woorduff, 1948)

II-2-4-2-1-1-3 LES ALTERNANCES GEL-DEGEL

Les alternances gel-dégel intensifient la vitesse de désagrégation des roches. L'eau imprègne les vides des roches qui éclatent à la suite d'une augmentation de pression et des variations de températures.

Orientation bibliographique

- P. Birot, 1981 (p. 55 à 75)
- M. Derruau, 1974 (p. 165 à 170)
- L. Descroix, 1985 (p; 63)

II-2-4-2-1-1-4 L'HUMECTATION-DESSICATION

Ce phénomène est fréquent dans les roches argileuses. Après une période de dessiccation, l'eau pénètre dans les plans de délitage. Il en résulte une pression égale à l'attraction capillaire dont les effets élargissent la fente pour aboutir finalement au délitage des argiles. La désagrégation des roches sédimentaires renfermant une proportion d'argiles par humectation-dessiccation est donc fonction de la pression de gonflement correspondant à chaque type d'argiles. L'état d'humectation du sol est influencé par le temps écoulé entre deux averses successives, et par la nature du sol et les modifications superficielles de ce dernier. Valentin (1981) a établi des relations entre la résistance mécanique (P) à la pénétration et l'humidité pondérale H en (%) :

Pour une surface naturelle sur alluvions argileuses,
$$P = 24,8 \cdot H^{-0,42}$$

D'autres relations du même auteur existent suivant le type de sol et les conditions d'aération superficielle.

Orientation bibliographique

- P. Birot, 1981 (p. 82 à 87)
- L. Descroix, 1985 (p. 63 à 64)

II-2-4-2-1-2 LA VEGETATION

La végétation joue le rôle d'interception des gouttes de pluie, donc de protection de sol contre l'érosion.

En effet, lorsque la couverture végétale (forêt, prairie, herbage... et même certaines plantes) est continue, l'érosion mécanique est diminuée parce que le feuillage ralentit l'effet de la pluie, de même que la litière des feuilles mortes en train de se décomposer freine l'érosion et que les racines retiennent la terre. La forêt est ainsi comparée à un filtre (qui ne laisse passer que des débris de sol très fins) surtout en climat tempéré océanique et en climat intertropical humide. C'est le phénomène de biostasie. L'altération chimique se produit néanmoins en profondeur.

A la biostasie s'oppose la rhexistasie en climat steppique, sous lequel le sol est à nu entre les rares touffes, exposé à des averses violentes qui le ravinent (Derruau, 1974 p. 47 à 48).

Les travaux de E. Roose (1975) en Afrique de l'ouest ont montré que les pertes en terre sont multipliées par 100 à 1000 et le ruissellement par 20 à 50 lorsque le sol est totalement dénudé.

La courbe de la fig. 3 tirée de Schumm (1977) montre la variation de pertes de sol par type de végétation en fonction de la pluie.

La végétation apparaît comme le facteur principal de la lutte contre l'érosion. L'interception des gouttes par les feuilles dissipe l'énergie cinétique, et l'effet "splash" se trouve réduit; Les systèmes radiculaires maintiennent en place le sol; la porosité est améliorée, ce qui augmente la capacité d'infiltration, d'où une diminution du ruissellement superficiel. L'évapotranspiration diminue l'humidité du sol, d'où une augmentation de la capacité d'infiltration. Les feuilles mortes réduisent la vitesse de ruissellement et apportent de la matière organique dont l'humus améliore la structure et la cohésion du sol.

Orientation bibliographique

- E. Roose, 1975
- E. Roose, 1984
- Collinet, 1985 (cours DEA USTL)
- J. P. Viani, 1982 (cours EPFL)

II-2-4-2-1-3 LES ACTIVITES HUMAINES

L'homme est considéré comme l'agent actif de l'érosion dans la mesure où il modifie les facteurs de conservation de sols.

En effet, poussé par la nécessité et surtout par les besoins vitaux, l'homme occupe les terres en même temps qu'il détruit la végétation qui les protège.

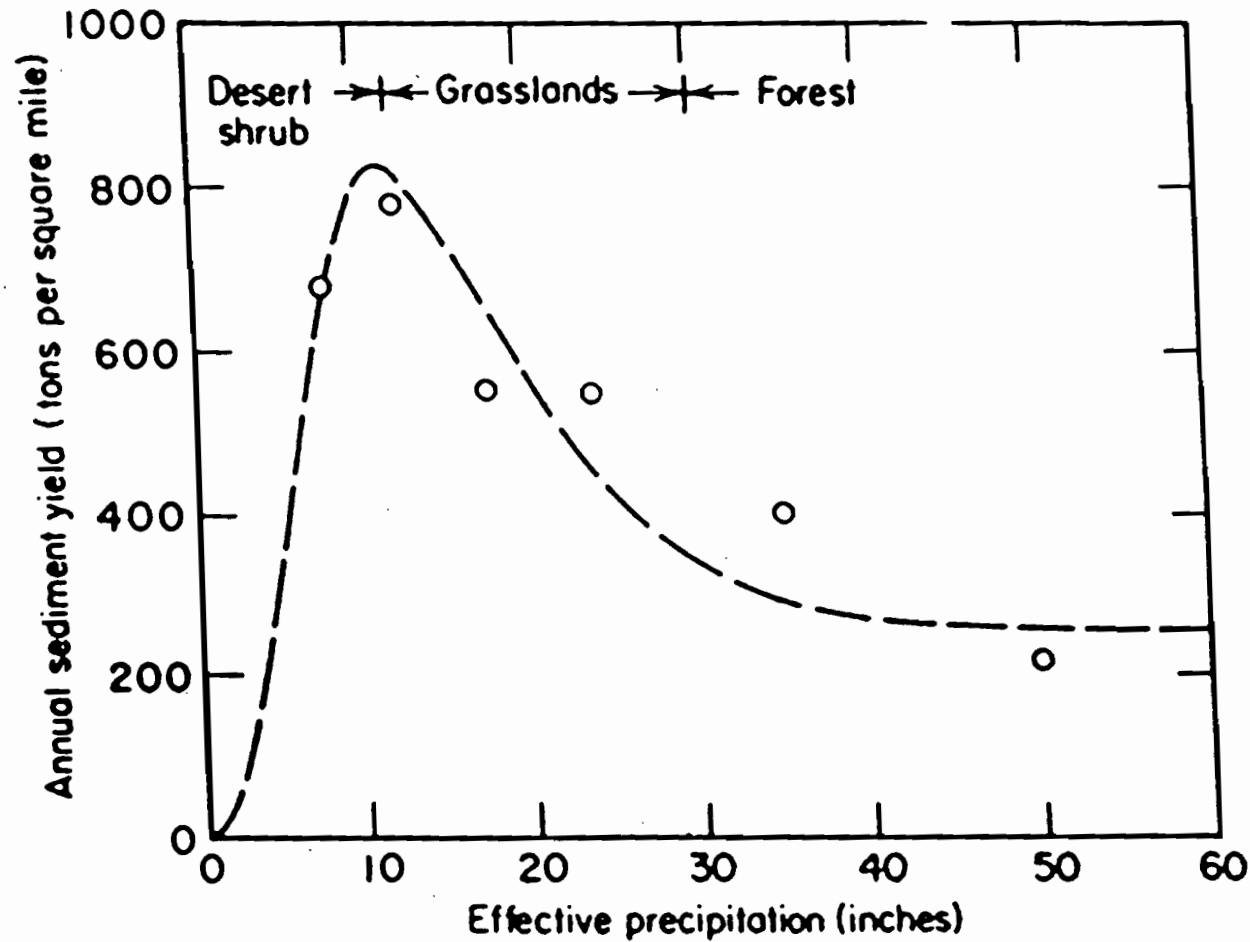


Figure 3 Variation of sediment yield with climate as based on data from small watersheds in the United States (From Langbein, W. B. and Schumm, S. A., 1958, Am. Geophys. Union Trans., v. 39, pp. 1076-1084.)

+ LA DEFORESTATION (OU DEBOISEMENT)

La déforestation est la maladie principale de la terre, dont les causes sont le défrichement pour l'agriculture, les feux de brousse pour la chasse et l'agriculture, la coupe du bois pour le feu et l'exploitation industrielle du bois.

+ LES MAUVAISES TECHNIQUES CULTURALES

La mise en culture des sols devrait être faite suivant les courbes de niveau et rester sous prairie ou sous forêt. Aussi l'arasement des talus et des haies par les tracteurs accélèrent l'érosion.

+ LES ESPECES DE CULTURES

Certaines cultures comme le maïs, le tabac, le manioc... laissent le sol à nu pendant les pluies orageuses ; ces cultures sont dites "érosives".

+ LE SURPATURAGE

L'excès de broutage et de piétinement d'une étendue par le bétail détruit le couvert végétal et la structure superficielle du sol, donc accentue l'érosion. La chèvre est considérée comme un facteur de désertification puisqu'elle détruit les pousses et les repousses d'arbres et d'arbustes.

Signalons aussi que l'urbanisation, la construction des routes... peuvent dans certains cas favoriser également l'érosion.

Cependant, l'action de l'homme sur le sol peut aussi être positive.

En effet, le labour grossier par exemple augmente la macroporosité, l'infiltration d'eau disponible et permet le développement d'un enracinement profond (E. Roose, 1974)

Orientation bibliographique

- E. Roose, 1974
- E. Roose, 1985
- Collinet, 1985 (cours DEA USTL)
- J. P. Viani, 1982 (cours EPFL)

II-2-4-2-2 LES FACTEURS PERMANENTS

II-2-4-2-2-1 LES FACTEURS PEDOLOGIQUES

LE SOL

On définit l'érodibilité comme étant la résistance d'un sol à l'arrachement et au transport des particules qui le composent. elle est fonction de la capacité d'infiltration, de la stabilité structurale, de la texture, de la granulométrie, de la teneur en matières organiques...

II-2-4-2-2-2 LES FACTEURS GEOLOGIQUES

LA LITHOLOGIE

Les travaux d'Avenard (1965) et Huesh (1968) dans la Pré-Rift (Maroc) ont permis le classement des roches suivant la susceptibilité à l'érosion, estimée par un indice qui chiffre la plus ou moins grande résistance d'un terrain, sa plus ou moins grande aptitude à fournir un débit solide aux rivières après une érosion pluviale. L'ordre établi est le suivant :

- marne : forte susceptibilité à l'érosion qui agit par décapage, par ravinement et par solifluxion ;
- marne armée : susceptibilité moyenne à l'érosion qui agit par décapage ;
- roches cohérentes (schistes, calcaires, dolomies et épanchages alluviaux quaternaires) : faible susceptibilité à l'érosion.

De même, le tableau ci-dessous a été dressé à partir, d'une part, du planimétrage de la carte lithologique, et d'autre part, des données tirées de la littérature (en particulier Dumas 1965 et Andreson 1962) afin de chiffrer l'érodibilité (K) :

Roches	Superficie (%)	Erodibilité (K)
Roches dures (calcaires, grès, conglomérats)	1,8	0,05
Epanchages sablo-caillouteux	6,1	0,1
Schistes acides	1,3	0,2
Marnes sableuses	2,6	0,3
Alluvions limoneuses	8,3	0,35
Marnes armées	13,1	0,4
Marnes peu armées	15,8	0,5
Marnes et argiles	51,0	0,6

(Tableau extrait de Huesch 1970)

On constate dans les deux classifications que les marnes apparaissent comme étant les roches les plus sensibles à l'érosion pluviale.

Orientation bibliographique

- Huesch, 1970
- J. P. Viani, 1982 (cours EPFL)

II-2-4-2-2-3 LES FACTEURS MORPHOLOGIQUES

LA PENTE

+ L'INCLINAISON DU VERSANT

La pente est l'un des facteurs importants de l'érosion des sols. Son influence sur l'érosion est plus accrue que sur le ruissellement, surtout lorsque le sol n'est pas totalement couvert. Sur les pentes raides, le phénomène de transport par

"splash" devient important, ce qui entraîne une augmentation des pertes en terres (suivant le type de sol et les techniques culturales).

+ LA COURBURE (OU LA FORME) DE LA PENTE

Les pentes convexes, en raison de leur forte déclivité vers le bas (augmentation de la vitesse du ruissellement) sont beaucoup plus menacées par l'érosion que les pentes concaves qui, aplaties dans leur partie basse, sont le lieu de dépôts de sédiments (terres fertiles).

+ L'EXPOSITION DES VERSANTS

la vitesse de la fonte de la neige des versants exposés aux radiations solaires est accélérée, d'où ruissellement important. Aussi, il y a davantage d'alternances gel-dégel sur les versants sud. Les risques d'érosion sont également aggravés par la rapidité de la décomposition de la matière organique des versants sud.

+ LA LONGUEUR DE LA PENTE

Théoriquement, plus la pente est longue, plus le ruissellement s'accumule, prend de l'énergie ; alors, l'érosion s'intensifie, car à l'érosion en nappes (énergie des gouttes) s'ajoute l'érosion en ravines (énergie du ruissellement cumulé).

Mais des expérimentations pratiques montrent que le ruissellement et l'érosion en nappes ne croissent pas forcément, en raison des forces de frottement à la surface du sol, des variations de pente et de propriétés du sol tout au long des versants (E. Roose, 1984). Par contre, l'énergie du ruissellement et le ravinement croissent avec la pente.

En effet, Wischmeier et Smith (USA) ont établi une relation entre la longueur du versant et les pertes en terres :

$$E = f(L/22, 13)^a$$

L : longueur de la pente (m)

a = 0,5 pour I ≤ 10 %

a = 0,6 pour I > 10 %

I : pente en %

E : pertes en terres (t/km²)

Le tableau ci-dessous donne les résultats expérimentaux des pertes de sol de divers segments provoqués par l'écoulement le long d'une pente, obtenus par Wischmeier et Smith aux USA.

Longueur du segment (m)	Perte relative du sol (t/km ²)
0-23	0,91
23-46	1,65
46-69	2,13
69-92	2,52
Moyenne pour 0-92	1,82

(Source : cours EPFL, 1982 par J. P. Viani)

On constate que les pertes relatives du sol augmentent avec , a longueur du segment.

Par contre, Spiridonov et Makayev (URSS) notent plutôt une diminution des pertes en sol avec l'augmentation de la longueur de la pente (J. P. Viani, 1982 cours EPFL)

La longueur du versant apparaît donc comme un facteur controversé.

Nous venons de voir, d'une façon générale, les principaux facteurs de l'érosion. Pour ce qui concerne le bassin de la Combe de Mortières dont nous faisons l'étude de l'érosion, nous pouvons dire que la trop grande susceptibilité des marnes à l'érosion, l'absence d'un couvert végétal dense, la pente et les précipitations semblent être les facteurs principaux qui conditionnent l'érosion des marnes noires de ce bassin versant représentatif. Signalons cependant que cette liste n'est pas exhaustive ; d'autres facteurs (comme par exemple la taille du bassin versant) existent et devraient être pris en compte, dans certains cas, dans l'étude de l'érosion.

Orientation bibliographique

- J. M. Masson, 1971
- J. M. Masson, 1976
- E. Roose, F. Lelong, 1975
- M. D. Loye-Pitot, 1981 (BRGM p. 253)
- L. Stiltjes, 1981 (BRGM p. 338)
- L. Descroix, 1985 (p. 61 à 66)
- Collinet, 1985 (cours DEA USTL)
- J. P. Viani, 1982 (cours EPFL)

III- EVALUATION DES BILANS D'EROSION

L'étude quantitative de l'érosion peut être faite théoriquement en utilisant les équations intégrant les facteurs de l'érosion (climatiques, lithologiques, topographiques, biogéographiques...) et les caractéristiques physiques du bassin versant étudiés dans les chapitres précédents.

Le calcul de bilans d'érosion peut aussi se faire expérimentalement.

III-1 ESTIMATION DES PERTES EN TERRE

Certains chercheurs (Forster, Meyer, et Onstad (1977) ; Thompson (1964) ; Williams (1974) ; Musgrave (1947) ; Wischmeier et Smith (1960) ont établi des équations d'estimation des pertes de sol en fonction de divers facteurs de l'érosion.

Sans toutefois négliger certaines de ces formules, nous parlerons essentiellement de la plus utilisée dans le monde. Il s'agit de l'équation de Wischmeier et Smith (1960) ; elle est dite équation universelle. Nous donnerons aussi quelques relations empiriques des pertes de sol en fonction de la pente et des paramètres du bassin versant.

III-1-1 L'EQUATION UNIVERSELLE DE W. H. WISCHMEIER ET DE D. D. SMITH (1960)

Cette équation établie à partir des corrélations obtenues sur parcelles expérimentales (10 000 résultats) est utilisée pour la prédétermination des pertes annuelles moyennes de sol pour un champ dans des conditions données ; elle guide le choix des aménagements des champs et des terres :

$$A = (0,2242) \cdot R \cdot K \cdot LS \cdot C \cdot P$$

A : pertes annuelles en terre (kg/m²)
R : indice d'agressivité climatique (érosivité)
K : indice de sol (érodibilité)
LS : indice de pente et longueur de pente
C : indice de culture caractérisant la couverture végétale
P : indice des aménagements utiliser pour lutter contre l'érosion

0,2242 est une constante permettant l'obtention du résultat en unités métriques

+ LE FACTEUR R (INDICE D'AGRESSIVITE DE LA PLUIE)

Parmi les facteurs de l'érosion, seul l'indice R peut se calculer à partir des données climatiques (nous l'avons déjà vu dans l'étude de la pluie) ; les autres facteurs ne sont que des rapports.

+ LE FACTEUR K (INDICE DE SOL)

Ce facteur sans dimension mesure la plus ou moins grande ré-

sistance d'un sol à l'érosion (nous l'avons déjà vu dans l'étude du sol et de la lithologie).

+ LE FACTEUR LS

L désigne la longueur du versant et S la pente.

Le facteur LS sans dimension permet de comparer les conditions topographiques d'un lieu à des conditions standard :

parcelle de Wischmeier : pente = 9 %
longueur = 72,6 pieds
LS = 1

Ce facteur caractérise l'effet de l'inclinaison et de la longueur de la pente suivant la formule :

$$LS = l^{(1/2)} / 100 \cdot (0,76 + 0,53 \cdot s + 0,076 \cdot s^2)$$

l : longueur de la pente en pieds

s : pente (%)

+ LE FACTEUR C (INDICE DE CULTURE)

Ce facteur sans dimension caractérise la culture, le degré de fertilisation minérale ou organique (résidus des récoltes).

C'est le rapport des pertes de sol d'une terre cultivée dans les conditions bien définies aux pertes d'une jachère continuellement travaillée.

+ LE FACTEUR P (INDICE DE CONSERVATION DU SOL ET DE L'EAU)

Le facteur P caractérise les pratiques qui retiennent une certaine proportion de terre. C'est le rapport des pertes de sol d'un champ sur lequel on utilise les pratiques conservatrices, aux pertes d'un champ cultivé en ligne de plus grande pente.

Il convient de noter que cette équation, bien qu'elle soit universelle, a des limites d'application. Son exploitation exige un grand nombre de résultats expérimentaux. Aussi, les résultats obtenus sur parcelles ne peuvent être transposés n'importe comment sur de grandes superficies.

Cette équation a connu une bonne adaptation en Tunisie par J. M. Masson (1971), au Maroc par B. Huesch (1970) en Afrique Tropicale par E. Roose et F. Lelong (1975).

Orientation bibliographique

- J. P. Viani, 1982 (cours EPFL)
- J. M. Masson, 1971
- Collinet, 1985 (cours DEA USTL)
- B. Salah, 1984

III-1-2 QUELQUES RELATIONS EMPIRIQUES ENTRE LA PENTE (I) ET LES PERTES DE SOL

Wischmeier et Smith ont établi aux USA une formule permettant l'estimation des pertes de sol en fonction de la pente :

$$E = f(0,43 + 0,30.I + 0,043.I^2)/6,613$$

De même, T. H. Neal a fait une estimation de perte de sol selon la formule :

$$E = f(I^n)$$

avec $0,8 < n < 1,5$

Source : J. P. Viani, 1982 (cours EPFL)

III-1-3 ESTIMATION DES PERTES EN TERRE A PARTIR DES DEBITS SOLIDES ET DES PARAMETRES PHYSIQUES DU BASSIN VERSANT

Des chercheurs (comme Fournier, 1960 ; Roehl, 1962 ; Fleming, 1969...) ont établi des équations qui permettent d'évaluer la couche érodée sur tout le bassin versant à partir des débits solides et de certains paramètres du bassin. Sans entrer dans les détails, nous en rappelons quelques unes.

+ Fournier, 1960

$$E = 1/36.(Pm^2/Pa)^2,65.(H^2/S)^0,46$$

ou encore

$$\ln E = 2,65.\ln(Pm^2/Pa) + 0,46.\ln(H.tga) - 1,56$$

E : apport solide moyen annuel spécifique (t/km².an)

Pm : pluie moyenne du mois le plus pluvieux (mm)

Pa : pluie annuelle moyenne (mm)

H : dénivelée moyenne d'après la courbe hypsométrique (m)

H = 45 % de la différence (altitude maximale - altitude minimale)

S : superficie du bassin versant (km²)

S < 1 000 km²

tga : pente du bassin versant

Cette équation qui connaît de développement différent suivant le type de climat ou les caractéristiques physiques est basée sur la corrélation qui existe entre la charge en suspension dans une rivière et les paramètres de l'environnement.

Roehl (1962) a établi le rapport entre l'apport solide d'un cours d'eau et l'érosion sur son bassin versant :

$$D = 442/(A^0,23.B^2,79).(Ht/L)^0,51$$

D : rapport de restitution (%)

A : superficie du bassin versant (km²)

B : ratio moyen de bifurcation = (nombre de cours d'eau d'ordre k)/(nombre de cours d'eau d'ordre (k+1))

Ht : dénivelée totale (m)

L : longueur du bassin versant (km)

Fleming (1969), a obtenu une corrélation entre le transport en suspension, la superficie du bassin versant et le type de végétation. Nous en donnons ici l'équation générale qui est de la forme :

$$Y = 382,5 \cdot X_a^{0,95}$$

Y : charge annuelle de transport en suspension (t/an)
X_a : superficie du bassin versant (square miles)

Il convient de noter que nous n'avons donné que les formes générales de ces équations qui ont été établies dans des conditions bien définies. Elles connaissent différentes adaptations suivant que les conditions changent. Elles permettent cependant de se faire une idée de l'ordre de grandeur des pertes de terre sur un bassin aux conditions semblables à celles de la région où les relations ont été établies.

Une étude expérimentale suivant les différentes méthodes de mesures d'érosion reste cependant indispensable pour une meilleure évaluation de la quantité de terre réellement érodée.

Source : B. Chafik, 1982 (mémoire de DEA p. 37 à 43)

III-2 ETUDE EXPERIMENTALE DE L'EROSION (METHODOLOGIE DE MESURE ET CALCUL DE BILANS D'EROSION)

Les méthodes expérimentales de calcul de bilans d'érosion sont souvent difficiles à mettre en oeuvre. L'étude de l'érosion peut se faire à trois niveaux différents :

- Etude au niveau des versants : c'est l'étude de la dénudation des roches et des sols au point de "départ".
- Etude du transit de matières solides au niveau d'une section en travers du cours d'eau : il s'agit des transports solides et par charriage.
- Etude de l'accumulation des sédiments lorsque le transport solide est bloqué : elle concerne le remplissage des barrages de retenues et des lacs, et l'ensablement des ports.

III-2-1 ETUDE DE L'EROSION AU NIVEAU DES VERSANTS

Nous avons étudié dans les chapitres précédents les causes, les facteurs et les formes de production des sédiments sur les versants. Des méthodes de mesures ont été mises en place pour l'évaluation des matériaux ainsi arrachés à partir des études faites à l'échelle de la parcelle.

III-2-1-1 METHODES DES CHENAUX (MESURES VOLUMETRIQUES)

Cette méthode permet de quantifier les matériaux enlevés au point de "départ" (parcelle de quelques mètres carrés à quelques centaines de mètres carrés). (Cf L. Descroix, 1985 p. 85 à 88 ; P. Deschons, 1985 p; 22).

On mesure la dégradation spécifique exprimée en poids par unité de surface et par unité de temps (t/km².an) ; rapportée à la surface, elle permet de calculer la perte annuelle de terre sur un bassin versant ou sur une parcelle donnée.

Le dispositif de mesure est composé d'une gouttière de 2 m de long, avec un tuyau déversant l'eau recueillie dans un jerrycan d'une vingtaine de litres. Afin de ne recueillir que l'eau

de la parcelle et de s'assurer qu'elle aille dans la gouttière placée transversalement dans le sens de la plus grande pente, on limite la parcelle par une tranchée. Il faut laisser "cicatriser" les tranchées durant deux ou trois précipitations.

Après avoir mesuré la quantité d'eau contenue dans le récipient, on prélève un échantillon de 1 litre pour en recueillir la quantité de matériaux solides, puis la peser.

III-2-1-2 MESURES TOPOGRAPHIQUES

Cette méthode a été utilisée par J. C. Olivry et J. Hoorelbeck, 1984 (p. 9) et par P. Deshons, 1985 (p. 21). Les premiers cités ont travaillé sur des parcelles de 1 m^2 et le second sur des parcelles de 2 m^2 , matérialisées sur différents versants en tête d'interfluve sans ruissellement amont ou à une distance donnée de la crête. L'échantillonnage des parcelles témoins se fait suivant la pente, l'exposition et la situation du versant.

Il s'agit de suivre l'évolution de la distance entre la surface des marnes et un repère fixe, constitué des pointes métalliques enfoncées dans les marnes sur une maille de 20 cm de côté. La matérialisation sur le témoin au niveau du sol par de la peinture permet de mesurer ultérieurement l'épaisseur de terrain érodé (fig. 4).

J. C. Olivry et J. Hoorelbeck (1984) proposent les relevés des hauteurs des points entre une règle métallique en duralumin, sur laquelle ils sont matérialisés et la surface du sol. La règle doit être posée sur des repères implantés à la périphérie de la parcelle restée dans son état naturel. On contrôle périodiquement (calcul par double intégration du volume érodé) la topographie de la parcelle (fig. 5).

Une autre méthode, consistant dans la photorestitution périodique des parcelles est également signalée par J. C. Olivry et J. Hoorelbeck (1984) mais n'a pas encore été exploitée. Elle permettrait le suivi de l'évolution quantitative des versants.

III-2-2 ETUDE DE L'EROSION A L'EXUTOIRE DU BASSIN VERSANT

L'étude de l'érosion à l'exutoire d'un bassin versant se fait par la mesure des matières solides qui y transitent. Ces matériaux sont transportés en suspension ou par charriage au fond du cours d'eau qui draine le bassin versant. Sans entrer dans les descriptions détaillées de différents appareils et de différentes méthodes de mesures (voir Colombani, 1985 cours DEA USTL), nous en rappellerons quelques points essentiels.

Ces matières solides envasent les retenues, les lacs et ensablent les ports. Leur étude est étroitement liée (tant sur le plan méthodologique que sur le plan de l'appareillage) à celle des débits liquides qui les transportent, et qui sont mesurés par les méthodes classiques d'hydrométrie sur lesquelles nous ne nous attarderons pas dans le présent travail. (voir M. Roche, 1963 p.173 à 223 ; Aldéghéri, 1979 ; H. André et Al, 1976).

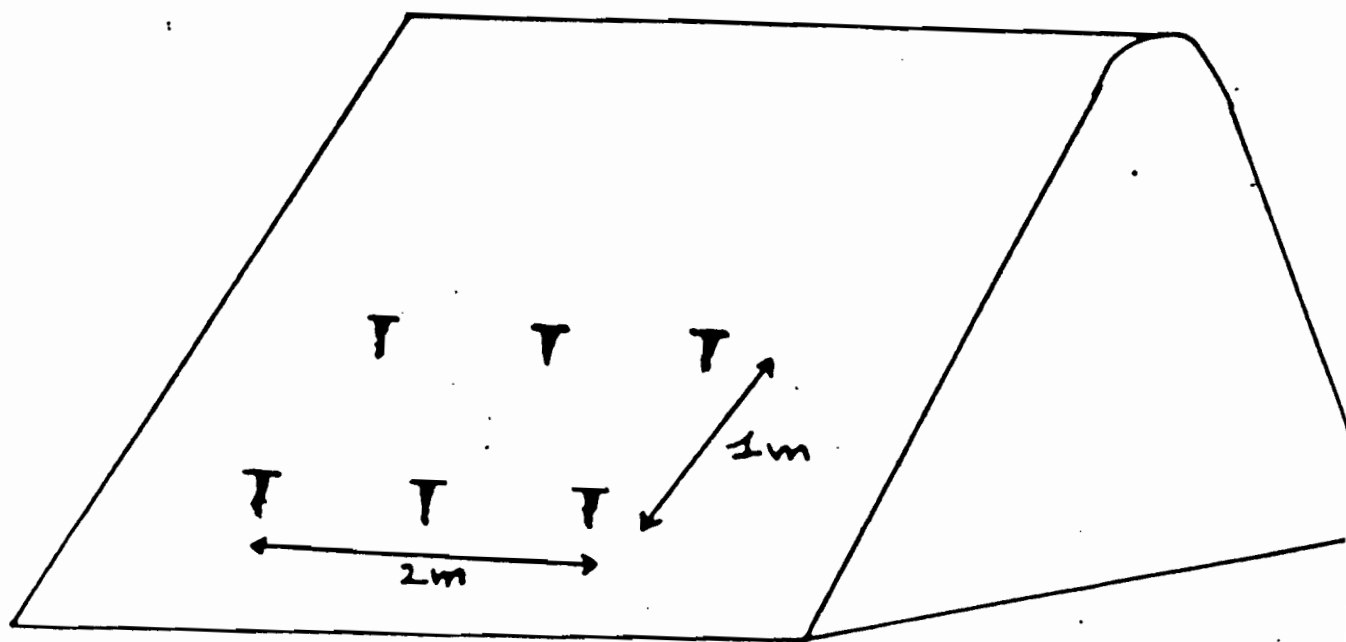


Fig. 4 - Disposition des pointes-repères sur le terrain.

(D'après P. DESHONS 1985)

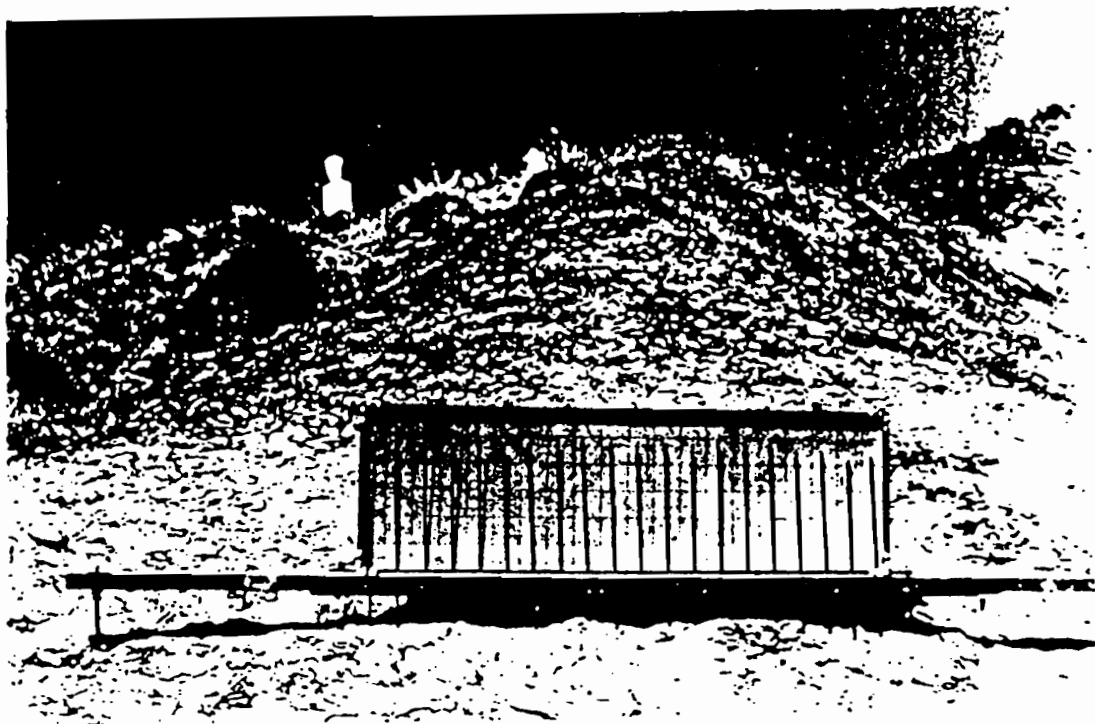


Schéma d'implantation de la règle de mesure de l'érosion des versants

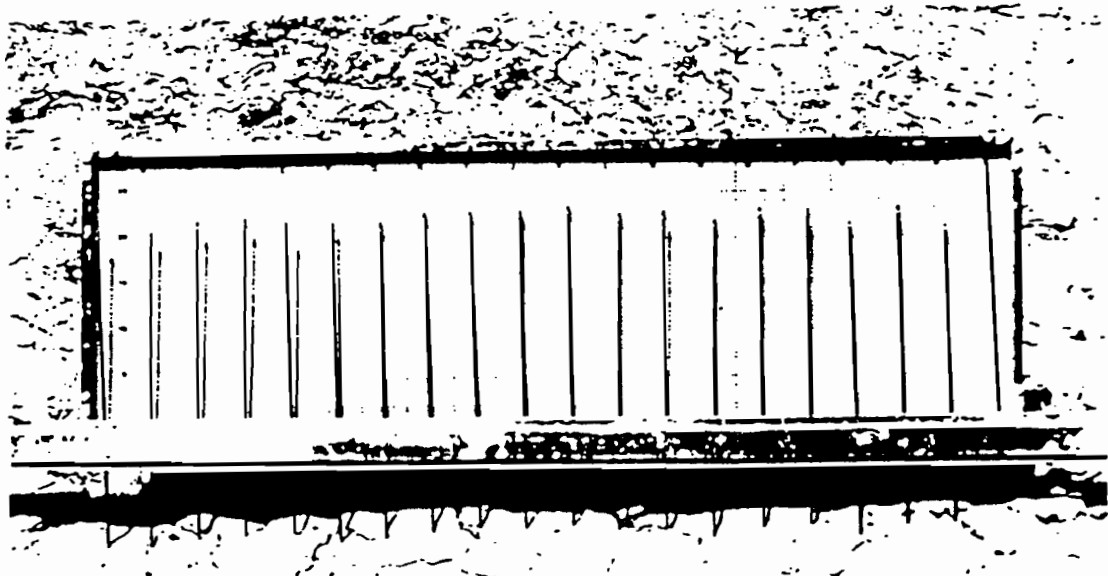


Fig.5 : vue des aiguilles traçant le profil topographique contrôlé
(D'après J.C. Olivry, 1986)

III-2-2-1 MESURE DE MATIERES EN SUSPENSION

Le transport solide concerne les particules solides pouvant rester en suspension sous l'influence de la turbulence. Leur diamètre limite est de l'ordre de 0,06 mm pour une densité de 2,65. Ils se déplacent à une vitesse sensiblement égale à celle de l'eau qui les transporte.

III-2-2-1-1 APPAREILS DE MESURE

Différents appareils et méthodes de mesure sont proposés pour l'évaluation des transports en suspension. Ils doivent être adaptés suivant les cours d'eau et les concentrations des matières en suspension. On distingue les mesures par prélèvement d'échantillons et les mesures in situ.

III-2-2-1-1-1 EQUIPEMENTS POUR LES PRELEVEMENTS

Comme nous l'avons mentionné plus haut, nous ne reviendrons pas ici sur la description ni d'une station hydrométrique, ni des équipements et des méthodes de mesures des débits liquides, bien que certains soient utilisés pour les mesures de transports solides.

Les préleveurs peuvent être classés en préleveurs instantanés, à pompe ou par intégration.

- Le préleveur instantané s'utilise dans les courants faibles. C'est un flacon qu'on laisse descendre à profondeur voulue et dont on commande l'ouverture, puis la fermeture après le temps nécessaire pour son remplissage. A défaut de ce préleveur, on peut utiliser un seau.

- Le préleveur à pompe (japy ou autre) aspire l'échantillon à la position de mesure voulue après ouverture d'une vanne qui met le récipient en communication avec l'eau. Un dispositif automatique permet le transfert dans un récipient individuel du volume d'eau voulu.

- Les préleveurs par intégration peuvent fonctionner soit point par point, soit par intégration sur une verticale, de la même manière que pour les débits liquides. Les préleveurs sont fixés aux dispositifs de mesure des débits liquides (perche, saumon). Le plus simple est une bouteille à large col, munie d'un bouchon à travers lequel passent deux tuyaux. L'eau pénètre dans la bouteille par l'un des tuyaux, tandis que l'air s'en échappe par l'autre. On peut la fixer à une perche (fig. 6).

On peut citer parmi les appareils plus perfectionnés ceux constitués d'un saumon de lestage creux contenant une bouteille de prélèvement amovible, l'échantillonneur à ouverture commandée électriquement par un câble électroporteur proposé par la firme OTT ou encore une bouteille de Deft (Colombani, 1985 cours DEA USTL).

L'appareil le plus simple reste le jerricane pour un prélè-

vement journalier en surface par exemple par un observateur (lecteur des hauteurs d'eau et de pluie de la station hydrométrique). Il note le jour, l'heure et la cote de prélèvement. Cette méthode a été utilisée par J. C. Olivry (1974 et 1977) au Cameroun.

On peut également citer les appareils de prélèvement à poste fixe, ne nécessitant pas la présence d'un observateur. Il s'agit d'une batterie de bouteilles telles que celle décrite plus haut pour être montée sur une perche.

Ce système de "bouteilles à siphon", mises au point par l'ORSTOM sont fixées à différentes hauteurs et permettent des prélèvements automatiques d'échantillons à la montée de la crue. ce système a été utilisé par J. C. Olivry et J. Hoorelbeck en 1984

Signalons que ces "bouteilles à siphon" ont déjà été mises en place pour le calcul de bilans d'érosion dans la Combe de Mortiers.

Il existe d'autres échantillonneurs automatiques comme celui utilisé par l'ORSTOM en Guyanne, mis au point par J. M. Fritsh en 1982 (Colombani, 1985) et de multiples modèles de préleveurs automatiques du type Manning qui peuvent être asservis à un limniographe suivant un programme préétabli.

III-2-2-1-1-2 APPAREILS DE MESURE IN SITU

Toujours dans la gamme d'appareillage, nous pouvons signaler les appareils utilisant les propriétés des rayonnements ; les plus simples sont ceux qui utilisent les rayonnements visibles. Le principe est celui de la mesure de l'absorption de la lumière par les matières en suspension. On peut citer :

- la sonde à absorption
- la sonde retrodiffusion
- la sonde à radioactivité naturelle

(cf Colombani, 1985 cours DEA USTL)

La Compagnie Nationale du Rhône et l'Electricité de France utilisent le densimètre industriel. On mesure la fréquence de résonance d'un oscillateur mécanique dans lequel circule le fluide étudié.

On peut aussi mentionner l'utilisation récente de la télédétection ; elle ne donne pour le moment que des informations qualitatives sur les transports solides.

(cf Colombani, 1985 cours de DEA USTL)

III-2-2-1-2 CALCUL DES DEBITS SOLIDES

Nous nous limiterons, en nous appuyant sur quelques exemples d'application, au calcul des débits solides à partir des prélèvements des échantillons.

En plus des prélèvements d'échantillons d'eau en surface (prélèvement manuel) et à poste fixe pour lesquels nous avons déjà cité des études où ces méthodes ont été utilisées, nous pouvons ajouter le cas des mesures complètes des débits solides sur de grands cours d'eau.

Sur le Mayo-Tsanaga à Bogu (1973) et le Mbam à Goura (1970-1974) au Cameroun, les prélèvements des échantillons de 10 litres d'eau ont été effectués à l'aide d'une pompe japy sur différentes verticales et à différentes profondeurs, grâce à l'équipement classique de jaugeage (J.C. Olivry et Al, 1974).

La méthodologie de traitement des échantillons au laboratoire reste la même pour les différents systèmes de prélèvements ci-dessus mentionnés ; seuls varient les volumes du composé chimique à ajouter suivant le volume de l'échantillon d'eau.

Les échantillons de 10 litres par exemple sont décantés dans des dame-jeannes transparentes par addition de 10 cm³ de sulfate d'alumine et puis par siphonnage jusqu'à 1 litre d'eau environ. L'échantillon contenu dans ce litre d'eau est filtré sur du papier filtre (préalablement séché à l'étuve, puis pesé à la sortie du dessiccateur). Le filtrat ainsi obtenu est séché au dessiccateur à 105°C pendant 24 heures ; ensuite, il est pesé à la sortie du dessiccateur ; par différence de poids avec celui du filtre, on obtient le poids de particules dans 10 litres d'eau, d'où la concentration Ci en mg/l ou en g/m³ (Nouvelot, 1969).

Le protocole de dépouillement de mesures complètes de débits solides est tout à fait analogue à celui utilisé pour dépouiller un jaugeage classique ; celui-ci précède d'ailleurs les prélèvements d'échantillons.

En effet, après avoir tracé la courbe de variation de vitesses pour chaque verticale et la courbe de concentration, on en déduit la courbe de variation de débits solides par unité de surface (Qsui). Puis, par planimétrage des courbes (Qsui), on obtient les débits par unité de largeur (Qslj) le long de la section en travers. On les reporte en ordonnées avec en abscisses les distances. Le planimétrage de la courbe obtenue donne le débit solide Qs du cours d'eau dans la section de mesure.

Les équations correspondantes sont les suivantes :

$$Q_{Sui} = V_i C_i$$

V_i : vitesse du courant en m/s

C_i : concentration en g/m³

Q_{Sui} : débit solide par unité de surface et de temps
(g/m². Sec)

$$Q_{slj} = \int_P Q_{Sui} . dp$$

Q_{slj} étant le débit par unité de largeur

$$Q_s = \int_0^L Q_{slj} \cdot dl = \iint_S Q_{Sui} \cdot ds$$

Q_s : débit total en suspension du cours d'eau dans la section de mesure.

(Colombani, 1985)

Le débit solide des échantillons prélevés en surface ou à poste fixe est obtenu par simple produit de la concentration C_m par le débit liquide correspondant à la cote de prélèvement.

Dans le cas des prélèvements quotidiens en surface :

$$Q_s = C_m \cdot Q_l$$

Q_s : débit solide journalier
 C_m : concentration journalière
 Q_l : débit liquide moyen journalier

Cette méthode d'évaluation de débit solide est utilisée pour les cours d'eau pendant les périodes où les cotes varient très peu. En période de crues, il est conseillé de faire des mesures complètes de débit solide.

III-2-2-1-3 CALCUL DE BILANS D'EROSION A PARTIR DE TRANSPORT EN SUSPENSION

Nous avons déjà vu les équations d'estimation de pertes de terres établies à partir des transports en suspension (Fournier, 1960 ; Roehl, 1962 et Fleming, 1969).

Expérimentalement, suivant que les mesures de transports solides en suspension sont effectuées pendant les crues ou quotidiennement (lorsque le plan d'eau ne varie pas beaucoup), on peut évaluer les pertes de terres correspondantes.

Si on veut faire un bilan sur l'année et qu'on connaisse les débits liquides moyens journaliers et les concentrations journalières moyennes, on peut estimer le poids de matières en suspension exprimé en tonnes par jour ; il suffit pour cela de déterminer le volume écoulé pour chaque jour et de le multiplier par la concentration moyenne journalière. La somme des transports solides sur 365 jours donne le poids des pertes annuelles de terres (J. C. Olivry et Al, 1974)

III-2-2-2 MATERIAUX SOLIDES TRANSPORTES PAR CHARRIAGE

Les nasses, les pièges et les appareils à dépression sont les trois types de matériels utilisés pour mesurer les transports de fond.

Les nasses sont constituées d'une poche de grillage sur un cadre d'acier qui laisse passer les particules en suspension ; elle retient les matériaux grossiers suivant la dimension des mailles du grillage.

Les pièges à sédiments fixes sont des fosses construites en béton ou en tôles d'acier et disposés dans le fond du cours d'eau étudié. Ils permettent une mesure volumétrique globale des sédiments produits par averse. Ces fosses doivent être vidées avant d'être complètement remplies. J. C. Olivry (1985) propose la cons-

truction d'un ou plusieurs petits barrages destinés à couvrir l'éventualité d'un remplissage de piège amont au cours d'une seule crue. Dans le cadre de cette étude, deux pièges ont été déjà installés dans la Combe de Mortières, à la station secondaire. La quantification de l'érosion se fait par nivellement des sédiments déposés.

J. C. Olivry et J. Hoorelbeck (1985) indiquent qu'on peut aussi quantifier l'érosion par simple nivellement des cônes de déjection.

Les appareils à dépression sont construits tels que les pertes de charge soient compensés par une dépression créée à l'arrière de l'appareil. Une cloison perforée à l'intérieur de l'appareil provoque un ralentissement de l'écoulement qui permet aux sédiments de se déposer dans la partie basse tandis que l'eau sort par la partie haute (Colombani, 1985 p. 33)

Les traceurs fluorescents ou radio-actifs peuvent être utilisés pour les mesures de courte durée. Mais les appareils de détection des traceurs sont très coûteux. (Colombani, 1985)

On peut également citer d'autres méthodes comme la méthode d'intégration dans le temps (analogue à celle utilisée pour la mesure des débits solides), le sondeur à ultrasons pour la détermination de déplacement des dunes... (Colombani, 1985)

Généralement, un cours d'eau dépose la charge qu'il charrie en commençant par les matériaux les plus gros. La figure 7 montre que les matériaux de diamètre inférieur à 0,25 mm exigent, pour être enlevés, un courant d'autant plus fort qu'ils sont petits ; mais une fois enlevés, ils peuvent être transportés par un courant d'autant plus faible qu'ils sont plus petits. Alors que les matériaux grossiers sont enlevés dès que la vitesse suffit au transport (Derruau, 1974 p. 76 à 79).

III-2-3 ETUDE DE L'EROSION DANS LES LACS ET LES BARRAGES DE RETENUES

Les relevés des dépôts de sédiments dans les lacs et les retenues de barrages sur une longue période permettent de faire des mesures globales des débits solides. Cette méthode s'apparente à la technique des fosses à sédiments, mais en diffère par le fait qu'il ne s'agit pas uniquement des transports de fond. Cette méthode est efficace lorsque les relevés des volumes déposés sont accompagnés de mesures de transport en suspension à l'entrée et à la sortie de la retenue ; on peut alors évaluer par simple différence les transports de fond. Le passage du volume des dépôts à leur masse nécessite une bonne détermination de la densité de ces dépôts. Les publications concernant les mesures dans les barrages ont prouvé que cette méthode convient bien pour les déterminations à long terme du débit solide (Colombani, 1985 p. 37)

CONCLUSION

Après avoir passé en revue les différentes formes d'érosion, les causes et les facteurs conditionnant les pertes de sol, nous pouvons dire que quel que soit le type d'érosion considérée, celle-ci est déterminée par les caractéristiques du sol et les conditions climatiques, et accentuée par l'intervention humaine.

Nous donnons dans le tableau ci-dessous la part d'apports à l'océan de quelques systèmes d'érosion sur le plan mondial, apports estimés par Meybeck en 1977 :

		Apports à l'océan	
		10^9 . t/an :	%
Rivières	transport dissous	4,5	: 20
	transport en suspension	15,5	: 66
	transport total	20	: 86
Glaciers		3,0	: 13
Poussières atmosphériques		0,1	: <1
TOTAL		23,1	: 100

Source: M. D. Loyer-Pitot, 1981 rap. BRGM

On constate que le transport par les rivières à l'océan constitue 86 % des apports totaux des continents à l'océan. Ces apports par les rivières sont constitués du transport dissous (Td) qui représente 20 % du transport en suspension (Ts) qui lui-même représente 66 % du transport total. Le rapport Ts/Td sur le plan mondial est de 3,4.

Garrels et Mackenzie (1971) ont donné les ordres de grandeur de variation des transports dissous et solides pour chaque continent (M. D. Loyer-Pitot, 1981 rap; BRGM p. 256).

Nous avons également cité un certain nombre d'équations d'estimation des pertes en terre et précisé que leur exploitation en dehors des régions où elles ont été établies nécessitaient des caractéristiques analogues ou alors devraient être adaptées suivant les régions.

Les résultats obtenus à l'aide de ces relations doivent être confirmés par des mesures sur le terrain. Nous avons cité des publications, des rapports et des thèses où des méthodes de mesure faciles à mettre en oeuvre ont été utilisées et ont donné des résultats satisfaisants.

Pour ce qui concerne notre sujet de mémoire proprement dit, il se dégage de tout ce qui a été vu que le bassin de la Combe de Mortiers est en grande partie de faciès marneux, présentant une géomorphologie de "bad-lands". L'érosion en ravines est prédominante, suite à la faible résistance des marnes à l'érosion et à des pluies sous forme d'averses. Le passage en revue des travaux déjà effectués sur des terrains semblables nous oriente

sur le choix des techniques de mesure à adopter.

Nous pouvons déjà signaler que des équipements de mesure comme les batteries de "bouteilles à siphons", les pièges à sédiments, les échelles limnimétriques et les limnigraphes, les pluviomètres et les pluviographes ont été déjà installés dans le bassin versant de la Combe de Mortières (nous reviendrons en détail sur les équipements du bassin dans le mémoire définitif).

Pour la suite du travail devant contribuer à la rédaction de ce mémoire définitif, nous aurons à faire des prélèvements instantanés d'échantillons d'eau, en plus des prélèvements à poste fixe et à les traiter pour les mesures de transport solide en suspension.

Pour le transport de fond, nous déterminerons par nivellement les profils en long et en travers des matériaux déposés dans les deux fosses à sédiments.

En ce qui concerne l'évaluation de l'érosion à l'échelle de la parcelle (au niveau des versants), il est envisagé l'implantation de l'appareillage mis au point par J.C. Olivry et J. Hoorelbeck (1984) que nous avons décrit plus haut. La méthode des rayons de bicyclettes présente l'inconvénient de détruire la cohésion des marnes (J.C. Olivry et Al, 1986).

Par des jaugeages, nous établirons la relation hauteur/débit (courbe de tarage) à la station principale. La station secondaire est équipée d'un déversoir triangulaire, donc le problème d'étalement ne s'y pose pas.

Nous nous proposons également de prélever des sédiments sur les deux fosses et d'en faire une analyse granulométrique. De même, nous prélèverons des échantillons de roche sur les versants pour l'analyse calcimétrique, afin de déterminer la plus ou moins forte résistance de la roche à l'érosion.

BIBLIOGRAPHIE

BIBLIOGRAPHIE

- ABDELMADJID Demmak (1980) - "Contribution à l'étude des écoulements solides des cours d'eau d'Algérie".
61466 (1ère partie), 41 pages.
- x ALDEGHERI M. (1979) "Mesures des débits à partir des vitesses".
Manuel d'hydrométrie, t. IV, ORSTOM-PARIS, 313 pages.
- ANONYME (1980) "Atlas des Ressources du sous-sol".
BRGM, 30 pages.
- BEDIOT G. (1966)
60694 "Etude de l'érosion des sols due au ruissellement superficiel".
Thèse de Doctorat 3ème cycle (1ère et 2ème partie)
- BESAUVAL G. (1970)
61003 Erosion Fluviale.
"Généralités sur les débits solides de charriage".
37 pages.
- BIROT P. (1981)
10 "Les processus d'érosion à la surface des continents". Masson, 605 pages.
- BORDAS et Al. "Sédiment deposition in low stream power flow with fixed".
- CARONI E. et TROPEANO D. (1981) "Rate of erosion processes on experimental area in the Machiazza basin" (NW Italy).
- CHAFIK B.S. (1984) "Les caractéristiques de l'érosion en relation avec les pratiques agricoles".
Mémoire de DEA, Paris-Sud, 129 pages.
- COLLINET (1985) Cours de DEA (USTL Montpellier).
- COLOMBANI J. (1985) Cours de DEA (USTL Montpellier).
- COMBES F. "Le barrage de Seignon" (Un exemple de sédimentation).
- DERRUAU M. (1974)
10244 "Précis de Géomorphologie". 6ème édition.
Masson et Cie, 453 pages.
- DESCROIX L. (1985) "Contribution à l'étude de la dynamique dans les Baronnies Orientales et dans les pays du Buech Moyen : Problèmes d'aménagement".
Thèse de Doctorat 3ème cycle, Université de Lyon II
260 pages.

.../...

- DESHONS P. (1985) "Bassins versants expérimentaux en Haute-Provence"
- Problèmes d'érosion
- Cadre climatologique
Groupe d'études BRGM/ORSTOM.
- † DUBREUIL P. (1974) "Initiation à l'analyse hydrologique".
Masson et Cie, 216 pages).
- DUC P. (1984) "Essai de quantification des pertes minérales
par érosion solide sur le bassin versant des
Cloutasses" - Mont Lozère - France, 22 pages.
- DUGAS F. (1963) "Etudes Géologiques du bassin tertiaire de
Saint-Martin-de-Londres (Hérault)".
Mémoire DES (Faculté des Sciences, Université
de Montpellier), 34 pages.
- ESCOURROU G. (1981) "Eléments de climatologie".
Nathan, 182 pages.
- GAPILLOUT A. (1964) "Contribution à l'étude stratigraphique de
quelques bassins tertiaires de la région ouest
du Pic Saint-Loup".
Mémoire de DES (Faculté des Sciences, Université
de Montpellier), 48 pages.
- GEZE B. (1979) "Languedoc Méditerranéen, Montagne Noire".
Guides Géologiques Régionaux, 191 pages.
- HENIN S. et MICHON X. (1956)
80420 "Essai d'interprétation des résultats de mesure
du débit solide effectué sur la Durance",
(p. 369 à 378).
- HENRI A. et Al. (1976)
10217 "Hydrométrie pratique des cours d'eau".
- JATON J.F. (1980) "Ecoulements de surface et débits de crues".
Cours Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne,
83 pages.
- LENCASTRE A. (1966) "Manuel d'Hydraulique Générale".
Eyrolles, 412 pages.
- MASSON J.M. (1971)
60666 "L'érosion des sols par l'eau en climat
méditerranéen.
Méthodes expérimentales pour l'étude des quantités
érodées à l'échelle d'un champ".
Th. Docteur-ingénieur, USTL, 213 pages.
- MASSON J.M. (1976)
61120 "Mesure l'agressivité des pluies en rapport avec
l'érosion des sols", 13 pages.

.../...

- SUC J.P. (1972) "Contribution palynologique à l'étude des marnes de Celleneuve (Hérault)".
Thèse de 3ème cycle à l'USTL.
- TRICART J. et CAILLEUX A. (1967) "Traité de Géomorphologie", tome II.
Le modelé des régions périglaciaires.
SEDES, 512 pages.
- VIANI J.P. (1982) Cours Ecole Polytechnique Fédérale de
Lausanne (Suisse).
- VIERS G. (1984) "Eléments de Géomorphologie".
Nathan, 208 pages.

REVUES ET RAPPORTS DES REUNIONS ET SEMINAIRES

Compte-rendu du stage dans les Alpes du Sud (bassin versant de PACA)
par SIGHA, août 1986.

LE COURRIER, UNESCO (1985)

REVUE GEOGRAPHIQUE DES PYRENEES ET DU SUD-OUEST, TOULOUSE 1984 :
Hommage à P. BIROT, la mobilité des paysages méditerranéens".

REUNION TECHNIQUE 55è SIMA (1984) : "L'érosion en zone tropicale".

SEMINAIRE NATIONAL BRGM (1981) : "La gestion régionale des sédiments".
Communications.

- NIZERI A. et Al. (1952)
60095
80424 "La station du Sautet pour l'étude de l'alluvionnement des réservoirs" (p. 180 à 218).
- NOUVELOT J.F. (1969)
7111 "Mesure et étude des transports solides en suspension au Cameroun". Cah. ORSTOM, série Hydrol., vol. VI, n° 4.
- OLIVRY J.C. et Al. (1974)
71518 "Quelques mesures complémentaires de transports solides au Cameroun : Le Mayo Tsanaga à Bogu (1973, Le Mbam à Goura (1970-1974))".
- OLIVRY J.C. (1977) "Etude hydrologique du Mayo Tsanaga à Mingilia". Compte-rendu d'installation des équipements hydropluviométriques et consignes d'exploitation pour la saison des pluies 1977.
- OLIVRY J.C. (1984) "Mesure et évaluation de l'érosion et des transports solides sur bassins versants des terres noires de la région de Paca". Compte-rendu des travaux réalisés en 1984 (Infrastructures et équipements).
- OLIVRY J.C. et Al. (1986)
72325 Les bassins du Pic Saint-Loup. Présentation du projet d'études sur l'hydrologie et l'érosion de bassins expérimentaux de la Combe des Morties.
- PARDE M. (1952)
80021 "La turbidité des rivières et ses facteurs géographiques" (p. 399 à 421).
- PARQUET H. (1970) "Evolution géochimique des minéraux argileux dans les altérations et les sols des climats méditerranéens tropicaux à saisons contrastées". Mémoire n° 30, Université de Strasbourg.
- PIEYNS S. (1978)
71917 "Cours d'Hydrologie" à l'Université de Paris VI, 41 pages).
- RAMETTE M. (1981)
61657 "Guide d'Hydraulique fluviale". Electricité de France, 171 pages.
- ✓ ROCHE M. (1967) "Hydrologie de surface". Gauthiers, 430 pages.
- ✓ ROOSE E. et LELONG F. (1975) "Les facteurs de l'érosion hydrique en Afrique Tropicale". Etudes sur petites parcelles expérimentales. ORSTOM-Abidjan.
- SCHUMM S.A. (1977) "The Fluvial System", 338 pages.