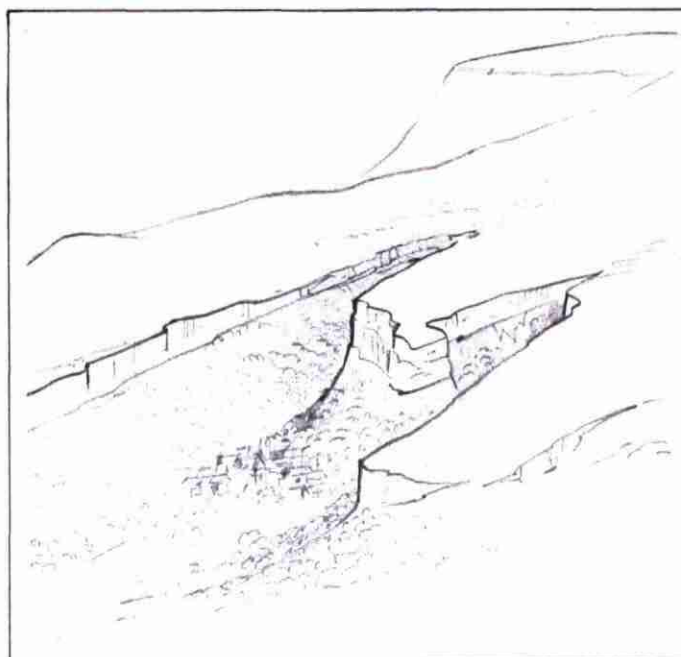


**APPROCHE DE LA STRUCTURE
ET DU FONCTIONNEMENT DU
SYSTEME KARSTIQUE DU GLANDASSE (26)**

par
Ph. CROCHET
B. MARSAUD
Ph. RAZIN



Février 1992
R 34 392 RHA 4S 92

APPROCHE DE LA STRUCTURE ET DU FONCTIONNEMENT
DU SYSTEME KARSTIQUE DE GLANDASSE (DROME)

R.34392.RHA.4S/92

RESUME

Le département de la Drôme est touché depuis quelques années par un contexte de pénurie en eau qui s'est traduit par des étiages sévères de la rivière Drôme allant jusqu'au tarissement de celle-ci.

Face à cette situation, le Conseil Général de la Drôme, représenté par le SMARD, le Ministère de l'Environnement et l'Agence de Bassin Rhône-Méditerranée-Corse ont chargé le B.R.G.M. d'évaluer la ressource de plusieurs aquifères, dont le karst du Glandasse alimentant la source d'Archiane.

L'étude présentée dans ce rapport a pour but d'appréhender la structure et le fonctionnement de ce système karstique afin de déterminer si celui-ci possède des ressources qui pourraient être exploitées lors des périodes d'étiage. Elle s'est appuyée sur différentes méthodes :

- définition des limites et de l'architecture de l'aquifère à partir d'une étude géologique détaillée et du bilan hydrique ;
- approche de son fonctionnement à partir de l'analyse des courbes de récession et d'une analyse systématique sur les relations pluie-débits.

Ces méthodes ont mis en évidence une karstification relativement développée du système avec un effet capacitif traduisant la présence de réserves. Celles-ci semblent cependant peu importantes et très dépendantes des précipitations de l'année.

Le volume dynamique, constituant la masse d'eau emmagasinée dans l'aquifère et se vidangeant lors de la phase de tarissement, est évalué à 4 Mm³. Il s'agit là du volume minimal qui pourrait être exploité lors des étiages si la structure profonde du karst s'y prête.

Des études complémentaires sont proposées afin d'évaluer quantitativement les ressources exploitables et préciser s'il existe un karst noyé important sous le niveau de la résurgence.

* *
*

SOMMAIRE

	<u>Pages</u>
1. <u>PRESENTATION GENERALE DE L'ETUDE</u>.....	5
1.1. Contexte de l'étude.....	5
1.2. Etude des aquifères karstiques.....	6
1.3. Objet du rapport.....	7
2. <u>PRESENTATION GENERALE DU MASSIF DE GLANDASSE</u>.....	8
2.1. Situation géographique.....	8
2.2. Cadre géologique.....	8
2.3. Caractères stratigraphiques.....	10
2.4. Précisions sédimentologiques sur la série barrémienne	12
2.5. Géométrie du complexe calcaire barrémien.....	14
2.6. Conclusions.....	16
3. <u>COLLECTE DES DONNEES CLIMATOLOGIQUES ET HYDROMETRIQUES</u>.....	18
3.1. Aperçu climatologique.....	18
3.2. Pluviométrie.....	18
3.3. Températures.....	19
3.4. Hydrométrie.....	19
3.5. Période retenue pour l'analyse.....	20
3.6. Découpage en cycles.....	20
4. <u>HYDROGEOLOGIE</u>.....	22
4.1. Phénomènes karstiques.....	22
4.2. Emergences.....	22
4.3. Limites de l'impluvium.....	23
4.4. Bilan hydrique.....	24

5. <u>ANALYSE DES COURBES DE RECESSION</u>	27
5.1. Présentation de la méthode.....	27
5.2. Analyse des courbes de récession d'Archiane.....	28
5.3. Classification du karst de Glandasse.....	30
6. <u>PRINCIPES DE L'ANALYSE CORRELATOIRE ET SPECTRALE</u>	32
6.1. Approche systémique du karst.....	32
6.2. Analyse simple.....	32
6.3. Analyse croisée.....	33
7. <u>ANALYSE DU FONCTIONNEMENT DU SYSTEME</u>	34
7.1. Choix de la station pluviométrique de référence.....	34
7.2. Analyse globale à long terme.....	34
7.3. Analyse globale à court terme.....	36
7.4. Analyse par cycles.....	38
7.5. Conclusions de l'analyse systémique.....	40
8. <u>CONCLUSIONS GENERALES</u>	41
8.1. Rappel des objectifs de l'étude.....	41
8.2. Géométrie du système.....	41
8.3. Fonctionnement du système.....	42
8.4. Etudes complémentaires.....	43
<u>BIBLIOGRAPHIE</u>	44

- LISTE DES FIGURES -

- Figure 1 : Situation géographique du karst du Glandasse.
- Figure 2 : Bloc-diagramme topographique du cirque d'Archiane.
- Figure 3 : Cadre géologique de la zone étudiée.
- Figure 4 : Carte géologique de la région d'Archiane.
- Figure 5 : Bloc-diagramme de la géologie du plateau de Glandasse.
- Figure 6 : Log stratigraphique de la série jurassique/Crétacé inférieur de la région d'Archiane-Glandasse.
- Figure 7 : Schéma de reconstitution des prismes sédimentaires de la plate-forme du Vercors et du bassin vocontien au Crétacé.
- Figure 8 : Tableau synthétique des différentes unités stratigraphiques du Barrémien dans la région d'Archiane.
- Figure 9 : Géométrie des unités carbonatées barrémiennes sur le versant est de la vallée d'Archiane.
- Figure 10 : Coupe géologique NW-SE passant par la source d'Archiane.
- Figure 11 : Situation des stations météorologiques et de la station de jeaugage.
- Figure 12 : Précipitations moyennes mensuelles à Chichiliane.
- Figure 13 : Débits moyens décennaux de l'Archiane.
- Figure 14 : Chronique des débits journaliers de l'Archiane de 1971 à 1978.
- Figure 15 : Précipitations journalières à Chichiliane de 1971 à 1978.
- Figure 16 : Karst d'Archiane : limites de l'impluvium et localisation des sources.
- Figure 17 : Modélisation des courbes de récession par la méthode MANGIN.
- Figure 18 : Etude de la courbe de récession estivale du cycle 1973.
- Figure 19 : Etude de la courbe de récession nivale du cycle 1973.
- Figure 20 : Position du système karstique du Glandasse dans la classification de A. MANGIN.
- Figure 21 : Analyse de la pluviométrie des stations de Chichiliane, Villard et Archiane.

- Figure 22 : Moyennes mobiles journalières de la pluie à Chichiliane et des débits à Archiane.
- Figure 23 : Analyse à long terme de la pluie à Chichiliane.
- Figure 24 : Analyse à long terme des débits de l'Archiane.
- Figure 25 : Analyse à court terme de la pluie à Chichiliane.
- Figure 26 : Analyse à court terme des débits de l'Archiane.
- Figure 27 : Analyse croisée pluies-débits sur huit cycles hydrologiques.
- Figure 28 : Corrélogrammes simples des débits par cycle.
- Figure 29 : Analyse croisée pluies-débits pour le cycle 1972.
- Figure 30 : Analyse croisée pluies-débits pour le cycle 1975.
- Figure 31 : Analyse croisée pluies-débits pour le cycle 1978.
- Figure 32 : Analyse croisée pluies-débits pour le cycle 1973.

- LISTE DES TABLEAUX -

- Tableau 1 : Statistiques annuelles sur les stations pluviométriques.
- Tableau 2 : Statistiques annuelles sur les débits de l'Archiane.
- Tableau 3 : Statistiques hydrométriques et pluviométriques par cycle hydrologique.
- Tableau 4 : Paramètres des courbes de récession.
- Tableau 5 : Résultats de l'analyse corrélatoire et spectrale par cycle.
-

1. PRESENTATION GENERALE DE L'ETUDE

1.1. Contexte de l'étude

La rivière Drôme connaît depuis plusieurs années des étiages sévères, liés aux caractéristiques de son bassin et accentués par des prélèvements agricoles importants, qui semblent même dépasser certaines années les capacités de la ressource. Il en a résulté, en 1989 et 1990, un tarissement de la rivière dans sa partie aval, très préjudiciable aux différents usages de l'eau : vie piscicole, loisirs (dont pêche), agriculture elle-même, et dans une certaine mesure, alimentation humaine. La nappe d'accompagnement subit très directement ce préjudice, puisque les prélèvements en eau souterraine ou en eau de surface l'influencent directement.

Compte tenu de ce contexte de pénurie en eau, il s'est avéré nécessaire d'étudier la faisabilité d'un soutien des étiages. C'est déjà le but de différents projets actuels tournés vers l'hydrologie de surface (barrage du Bez, dérivation du Rhône).

Parmi les solutions envisageables pour leur faire face, celle d'un recours plus large aux eaux souterraines est venue naturellement à l'esprit. On connaît en effet la moindre vulnérabilité des nappes aquifères aux variations climatiques, dont l'avantage vient s'ajouter à celui d'une moindre sensibilité aux pollutions et d'une disponibilité à proximité des lieux d'utilisation.

Or, il existe dans le bassin de la rivière Drôme des aquifères peu exploités et encore peu connus, qui sont susceptibles de répondre aux questions posées. C'est le cas de plusieurs systèmes karstiques du Sud-Vercors et du Diois qui occupent des domaines étendus. Ils sont susceptibles de renfermer des ressources en eau importantes dont certaines émergences donnent une idée assez exacte.

Compte tenu de ces potentialités, le Conseil Général de la Drôme, représenté par le SMARD (Syndicat Mixte d'Aménagement Rural de la Drôme), le Ministère de l'Environnement et l'Agence de Bassin Rhône-Méditerranée-Corse ont confié

au B.R.G.M. une étude dont l'objectif est d'évaluer la ressource de quatre systèmes aquifères de la Drôme :

- . dans le Vercors, ceux de la Haute-Gervanne et de l'Archiane,
- . dans le Diois, celui de la forêt de Saou,
- . les aquifères carbonatés profonds.

Cette étude s'articule autour de trois phases :

*** Caractérisation des aquifères :**

Cette première phase a une portée générale et essentiellement qualitative. Elle vise à mieux connaître la structure et le fonctionnement des aquifères avec pour objectif principal la mise en évidence de réserves exploitables.

*** Quantification de la ressource :**

Cette phase vise à faire une évaluation quantitative de la ressource potentiellement exploitable, avec et sans surexploitation.

*** Démonstration de la ressource par forage ou pompage :**

C'est la phase ultime, qui ne peut être engagée que si la présence d'une ressource profonde est clairement établie. Son objectif est de s'assurer de la disponibilité de cette ressource par un pompage d'essai, soit au niveau de la résurgence, soit à partir d'un forage.

1.2. Etude des aquifères karstiques

L'hydrogéologie karstique est caractérisée par l'hétérogénéité du milieu. Celle-ci est due au phénomène de karstification qui crée à l'intérieur des massifs carbonatés tout un réseau de drainage débouchant sur une hiérarchisation des écoulements au sein de l'aquifère.

Depuis plus de deux décennies, des recherches fondamentales ont permis de mettre au point un ensemble de méthodes qui permettent de déterminer l'importance du drainage d'une part (degré de karstification), des réserves d'autre part (volume dynamique qui assure le soutien de l'étiage après les crues).

Ces méthodes reposent sur les principes de l'analyse systémique : le karst est considéré comme une "boîte noire" qui transforme une fonction "entrée" (la pluie) en une fonction "sortie" (les débits). Cette approche, de type fonctionnel, peut être opposée à celle structurelle qui consiste à établir un modèle reposant sur des équations différentielles à partir de paramètres physiques (transmissivité, coefficient d'emmagasinement) mesurés in situ.

Les outils statistiques utilisés sont notamment l'analyse corrélatoire et spectrale. Ces traitements numériques, qui s'appliquent à des données de différents types (hydrauliques, géochimiques, isotopiques, biologiques), débouchent sur une identification de la structure des aquifères et de leur fonctionnement.

En corollaire, les études réalisées jusqu'à présent ont montré l'existence de ressources en eau importantes et d'excellente qualité dans le karst noyé. Celles-ci n'ont été que peu exploitées à ce jour, et presque exclusivement à partir de sites particuliers tels que les sources. Par ailleurs, la vulnérabilité de ces eaux a pu également être bien caractérisée, autorisant désormais des mesures de protection efficaces.

Ce sont ces nouvelles méthodes qui seront utilisées pour l'étude des karsts de la Drôme.

1.3. Objet du rapport

Ce rapport présente les résultats de l'étude du karst de Glandasse alimentant la source d'Archiane. L'objectif est de caractériser sa structure et son fonctionnement.

Cette étude repose sur :

- . la définition du cadre géologique (litho-stratigraphique et morpho-structural) et hydrogéologique ;
- . l'établissement de schémas interprétatifs de la structure du massif et des circulations souterraines ;
- . le traitement des données de débit à l'émergence par diverses méthodes analytiques (courbes de récession, analyse corrélatoire et spectrale).

2. PRESENTATION GENERALE DU MASSIF DE GLANDASSE

2.1. Localisation géographique

Le cirque d'Archiane, situé à une dizaine de kilomètres à l'est de Die, constitue le rebord méridional du plateau calcaire de Glandasse à l'extrémité sud du Vercors (figure 1). Il surplombe la vallée du Bès au sud de 1400 m environ.

La vallée d'Archiane est formée vers l'amont (NNE) par les falaises de la Tête du Jardin qui constituent le cirque proprement dit. Orientée NNW-SSE, elle est bordée à l'ouest par les falaises calcaires verticales de la montagne de Glandasse, culminant à 2041 m (Pic Ferré) et à l'est par celles du pic Rancou (1882 m). Le plateau calcaire qui s'étend au nord du cirque est nommé plateau de Glandasse. Le bloc-diagramme de la figure 2 donne un aperçu général de la topographie du cirque d'Archiane.

La source d'Archiane est située au sud du village d'Archiane. Le ruisseau d'Archiane rejoint, 10 km plus au sud, la vallée de Menée orientée NE-SW.

2.2. Cadre géologique

L'essentiel des formations géologiques qui affleurent dans le secteur d'Archiane est constitué par des calcaires et marnes du Crétacé inférieur, et plus précisément du Barrémo-Bédoulien. D'une manière générale, la série est marneuse à la base et calcaire au sommet (cf. figure 3).

Le karst du plateau de Glandasse faisant l'objet de l'étude hydrogéologique se développe dans les calcaires barrémo-bédouliens qui arment les reliefs de l'ensemble du plateau du Vercors. Ils peuvent ici atteindre une puissance de l'ordre de 500 à 600 m avec un amincissement assez rapide vers le sud puisqu'ils disparaissent totalement au niveau de la vallée de Menée.

Sur le secteur étudié, les couches marno-carbonatées ont un pendage le plus souvent compris entre 0 et 15°. Elles dessinent une ondulation synclinale d'axe NNW-SSE centrée sur la vallée d'Archiane. Ce synclinal d'Archiane est

bordé à l'est et à l'ouest par des structures à valeur anticlinale qui déterminent l'affleurement des séries jurassiques et néocomiennes : l'anticlinal de Die à l'ouest, l'anticlinal complexe de Trièves - Le Jocou à l'est.

Ce dispositif structural est recoupé par deux faisceaux d'orientation NE-SW :

- au sud, la zone faillée de Menée,
- au nord, le système faille de Jasneuf-faille de Cléry.

Actuellement, ces failles provoquent un décalage apparent assez faible des terrains barrémiens. Elles ont fonctionné à la fois en décrochement et en faille normale. Le jeu résultant est un léger effondrement des compartiments SE pour la première, NW pour les secondes.

Outre ces caractéristiques tectoniques, on observe que ces failles coïncident avec d'importants changements de faciès dans le Crétacé inférieur :

- la zone de Menée correspond à la limite d'extension des formations carbonatées vers le sud,
- dans la zone de Cléry s'amorce le biseau vers le nord des calcaires bioclastiques du Barrémien inférieur. Ils sont relayés par les calcaires urgoniens du Barrémien supérieur-Aptien qui s'étendent vers le nord sur l'ensemble du Vercors.

Ces accidents tectoniques de Menée et de Cléry se localisent donc sur d'anciennes failles ou flexures ayant contrôlé l'évolution du bassin éocrétacé.

Il ressort de ce premier aperçu géologique que les formations calcaires d'Archiane constituent une entité relativement isolée et peu déformée :

- elles reposent partout sur une assise marneuse,
- les limites SE et NW sont des limites d'érosion sur les flancs du synclinal d'Archiane,
- vers le SE, outre l'érosion, on observe un passage latéral à des faciès plus marneux.

Ce n'est que dans la partie septentrionale du plateau de Glandasse que peuvent être envisagées certaines relations de continuité avec les calcaires urgoniens qui se développent vers le nord sur l'ensemble du Vercors.

2.3. Caractères stratigraphiques et paléogéographiques

Les différentes unités lithostratigraphiques de la zone étudiée sont présentées sur la carte de la figure 4. Celle-ci a été réalisée à partir d'une synthèse des données des cartes géologiques au 1/50 000e de Mens et La Chapelle-en-Vercors ainsi que des nouvelles interprétations stratigraphiques de JACQUIN et al. (1991). Une succession de coupes géologiques sériées, effectuées à travers cet édifice géologique, a permis de construire un bloc-diagramme représentant l'organisation tridimensionnelle des différentes unités (figure 5). Ces cartes sont complétées par un log stratigraphique détaillé de la série jurassique/Crétacé inférieur (cf. figure 6).

Trois grandes unités stratigraphiques peuvent être distinguées sur le secteur étudié :

- la série marno-carbonatée du Jurassique-Bériasien,
- l'assise marneuse du Néocomien-Barrémien basal,
- le complexe marno-calcaire Barrémien-Aptien.

2.3.1. La série marno-carbonatée du Jurassique-Bériasien

La série jurassique montre la succession classique du bassin subalpin, avec notamment le faciès "Terres noires" du Callovien-Oxfordien inférieur, les alternances marno-calcaires de l'Oxfordien moyen à Kimméridgien inférieur, puis les barres calcaires du Tithonique (Kimméridgien supérieur à Bériasien).

2.3.2. L'assise marneuse du Néocomien-Barrémien basal

L'intervalle Valanginien à Barrémien basal est partout représenté par des formations à dominance marneuse (marnes et calcaires argileux) dont l'épaisseur varie de 500 m au sud à plus de 1200 m au nord. Elles témoignent d'une sédimentation à caractère hémipélagique dans le bassin vocontien relativement profond. L'épaississement de la série vers le nord est lié à une dynamique de bloc basculé, contrôlé par le jeu normal de la faille de Cléry sur la marge du bassin.

2.3.3. Le complexe Barrémien-Aptien

Durant le Barrémien inférieur, une chute importante du niveau marin relatif permet le développement d'une plate-forme carbonatée qui se traduit par l'installation et la progradation de prismes de dépôts calcaires sur les séries marneuses antérieures. Le fonctionnement de cette plate-forme carbonatée intègre deux étapes (figure 7) :

- Au Barrémien inférieur, période de régression maximale, un ensemble complexe de corps carbonatés bioclastiques (formation des calcaires bioclastiques de Glandasse) s'accumule dans un domaine dont le dépôt-centre se situe entre les failles de Menée et de Cléry, c'est-à-dire au niveau de la région étudiée. Au-delà vers le nord, cette unité se biseaute progressivement, tandis qu'au sud de Menée, la série équivalente est exclusivement marneuse. Dans la région d'Archiane, nous verrons que cet ensemble est composé de plusieurs barres calcaires séparées par des unités plus marneuses, avec une organisation géométrique relativement complexe. En effet, le secteur d'Archiane correspond, durant le Barrémien inférieur, à la bordure de la plate-forme carbonatée, c'est-à-dire à la zone de transition et d'interdigitation entre les dépôts calcaires massifs de plate-forme développés au nord et les faciès plus marneux du bassin profond qui s'ouvre vers le sud. Ces passages de faciès entraînent un découpage stratigraphique complexe qui sera détaillé dans le chapitre suivant.

- Au Barrémien supérieur et à l'Aptien, la remontée progressive du niveau marin favorise l'extension vers le nord de la plate-forme carbonatée (transgression) et l'accumulation en domaine interne de l'épaisse série des calcaires urgoniens qui recouvre le plateau du Vercors au nord de la faille de Cléry.

Il est intéressant de noter que ces deux formations carbonatées, les Calcaires bioclastiques de Glandasse et les Calcaires urgoniens, ne présentent pas les mêmes propriétés vis-à-vis de la karstification. Si les calcaires massifs urgoniens se caractérisent par une intense karstification avec un réseau de galeries souterraines particulièrement développé (partie nord du plateau du Vercors), les calcaires bioclastiques de Glandasse, mieux

stratifiés, qui affleurent autour du cirque d'Archiane, ne sont affectés que par une karstification peu évoluée avec un réseau de conduits souterrains très limité.

Du fait de l'érosion, les terrains postérieurs au Crétacé inférieur n'affleurent pas au nord-ouest de la faille de Menée. L'étude de ces formations plus au sud semble toutefois indiquer une permanence marine jusqu'au Turo-nien inférieur. Après cette période, se sont produits plusieurs épisodes d'émersion qui ont pu s'accompagner de phénomènes de karstification comme en témoigne la découverte de microfaune marine du Sénonien dans les karsts affectant les calcaires urgoniens du Vercors près de Grenoble.

2.4. Précisions sédimentologiques sur la série barrémienne

Comme nous l'avons évoqué précédemment, la région d'Archiane présente au Barrémien inférieur les particularités d'un domaine de bordure de plate-forme qui se traduisent de manière générale par la transition entre une série essentiellement carbonatée au nord du cirque à une série plus marneuse au sud, avec des calcaires argileux très carbonatés et susceptibles d'être karstifiés. Dans le détail, illustrant la sensibilité d'un tel système sédimentaire aux variations de la subsidence et du niveau de la mer, le passage plate-forme/bassin s'effectue par l'interdigitation complexe de plusieurs barres calcaires dans des dépôts marneux ou marno-calcaires,

Le détail des relations stratigraphiques complexes entre les formations calcaires et les formations marneuses du Barrémien de la région d'Archiane-Glandasse a été synthétisé sur le tableau de la figure 8 à partir des données de la carte géologique et des différents travaux stratigraphiques du secteur (ARNAUD, 1981 ; JACQUIN et al., 1991).

L'organisation stratigraphique de ce système se trouve parfaitement illustrée sur la coupe géologique qu'offre le versant Est de la vallée d'Archiane (figure 9).

On peut distinguer 7 unités carbonatées composées de biocalcarénite plus ou

moins grossière, séparées ou non par des intervalles marno-calcaires. Ces unités sont regroupées en 3 séquences sédimentaires B1, B2 et B3.

Ces corps carbonatés, qui ont la forme de grands lobes, se caractérisent par leur épaisseur, leur extension (volume) et la géométrie des couches qui les composent.

- * Les unités calcaires n° 1 et 2, à la base de la séquence B1, forment des corps de petite taille, isolés dans des calcaires marneux. Toutefois, sur la bordure NE du plateau de Glandasse, au niveau de la "Tête chevalière", ces corps carbonatés présentent un développement particulièrement important et des connexions avec les unités calcaires sus-jacentes (n° 3).

- * L'unité 3, qui constitue le sommet de la séquence B1, présente une extension limitée vers le sud et passe latéralement à des marnes ou des calcaires argileux. A la base, les couches qui la composent sont disposées en cliniformes pentés de 20°, progradant vers le sud. Vers le haut, les couches deviennent horizontales. Au nord du cirque d'Archiane, cette unité atteint une épaisseur de 150 m et forme la base de l'épaisse série des calcaires de Glandasse. Le toit de cette unité correspond à une surface d'érosion SB2 marquant une exondation de la plate-forme consécutive à la chute du niveau marin relatif. On peut donc envisager que des phénomènes de karstification précoces soient associés à ce type de discontinuité.

- * Séparée du niveau précédent par un intervalle marneux qui disparaît au nord du cirque (marnes de la Fontaine Colombelli), la barre calcaire n° 4 (séquence B2) est peu épaisse et présente aussi une extension limitée vers le sud. Les couches y ont une géométrie tabulaire. Cette unité est limitée au sommet par une discontinuité sédimentaire SB3, également liée à une chute du niveau marin, mais peu susceptible d'être accompagnée de karstification précoce (exondation très partielle de la plate-forme).

- * Les unités 5, 6 et 7 (séquence B3) constituent la majeure partie des falaises entourant la vallée d'Archiane. Elles marquent une brusque progradation des dépôts calcaires vers le sud. L'unité inférieure (n° 5), épaisse de 150 à 250 m, est formée d'une succession de cliniformes progradant inclinés vers le sud. Comme les unités précédentes (1 à 4), celles-ci se biseautent au nord de la faille de Cléry. Le toit de cette

unité est une surface de ravinement sur laquelle se produit la transgression des calcaires urgoniens. Les unités 6 et 7 appartiennent donc déjà à cette formation mais la surface d'érosion actuelle les sépare du reste de l'épaisse série des calcaires urgoniens qui recouvre le plateau du Vercors vers le nord. L'unité 6, qui marque le début de la transgression, renferme des intercalations marneuses (marnes de Fonfroide entre les couches calcaires tabulaires). Ces intercalations confirment l'approfondissement du système. Celui-ci est maximal lors du dépôt, peu épais mais continu, des marnes à hétéroaras qui recouvrent l'unité 6 et sur lesquelles prograde l'unité calcaire n° 7 formant le sommet de la montagne de Glandasse.

Cette organisation géométrique complexe des barres carbonatées dans la vallée d'Archiane se simplifie vers le nord puisque déjà, au niveau du cirque proprement dit, les différentes unités calcaires (n° 1 et 2 exceptées) se superposent directement pour constituer la formation des calcaires bioclastiques de Glandasse dont l'épaisseur atteint localement 700 m (Roc de Peyrole sur la bordure ouest du plateau) et est de l'ordre de 500 m au fond du cirque d'Archiane (Tête du Petit Jardin).

En résumé, si le massif calcaire de la région d'Archiane présente une certaine homogénéité lithologique et structurale, dans le détail il montre une architecture interne complexe, en particulier vers le nord où les barres calcaires inférieures progradantes s'interdigitent et passent latéralement à des faciès plus marneux. De ce fait, plusieurs éléments peuvent avoir influencé l'évolution des processus de karstification du massif :

- la géométrie des corps carbonatés et les relations avec les intervalles imperméables,
- la présence de discontinuités sédimentaires d'émersion au niveau desquelles peuvent se produire des karstifications précoces.

2.5. Géométrie du complexe calcaire-Barrémien

La série barrémienne du cirque d'Archiane est relativement peu déformée, le pendage des couches excédant rarement 15°.

La structure générale est celle d'une ondulation synclinale subméridienne à

grand rayon de courbe, axée sur la vallée d'Archienne et présentant un léger plongement d'ensemble vers le sud. Ainsi, les barres calcaires de la montagne de Glandasse, sur la rive droite de la vallée, montrent un léger pendage vers l'est ou le sud-est, celles du Rancon sur la rive gauche sont pratiquement horizontales, tandis que celles du plateau proprement dit, au nord du cirque, sont inclinées vers le sud de 10 à 20° en moyenne.

L'axe de ce synclinal dessine une légère virgation au niveau du village d'Archiane. Orienté NS au nord du village, il passe à une direction NNW-SSE vers le sud. Une telle virgation a pu engendrer l'ouverture de fractures localisées au niveau du noeud (Archiane) qui sont susceptibles d'influencer les écoulements souterrains.

Ce dispositif tectonique est compliqué par deux réseaux de failles subverticales orientées NE-SW ayant joué en décrochement et en faille normale de faible rejet : la zone faillée de Menée au sud-est, le système de failles de Jasneuf-Cléry au NW. La zone faillée de Menée n'a probablement aucune incidence sur le système hydrogéologique d'Archiane puisqu'elle n'affecte que les formations marno-calcaires correspondant aux équivalents latéraux des calcaires du cirque en aval du système. Ce n'est que dans le secteur isolé du rocher de Combeau (angle SE) qu'elle recoupe et décale les unités calcaires n° 5 et 6 (séqu. B3), déjà fort amincies (fig. 3 et fig. 5, coupe 9).

Dans sa partie septentrionale, le plateau calcaire de Glandasse se rétrécit à une largeur de 2,5 km puis se relie vers le nord au reste du plateau du Vercors. Ce rétrécissement peut être imputé à une intensification des phénomènes d'érosion liés à la présence des failles NE-SW de Jasneuf et Cléry. Ces failles, distantes de 3 km, recoupent la série des calcaires bioclastiques en provoquant chacune un décalage des compartiments nord de 100 à 200 m. Il est assez difficile de prévoir l'influence de la faille de Jasneuf sur les circulations souterraines dans cette partie nord du plateau de Glandasse. Elle semble drainer une partie des écoulements du secteur N.W pour alimenter les résurgences de Rays sur le flanc ouest du plateau. La faille de Cléry, quant à elle, paraît pouvoir constituer la limite septentrionale du système hydrogéologique de Glandasse-Archiane. En effet, une lame de calcaire marneux relativement imperméable, remontée le long de cet accident, sépare les calcaires bioclastiques de Glandasse au sud et les calcaires massifs urgoniens au nord. Ces derniers présentent par ailleurs un

pendage vers le nord-ouest qui doit favoriser les écoulements dans cette direction pour alimenter les sources de la montagne de Bure en aval.

Comme le montrent les cartes et le bloc-diagramme, le massif calcaire qui entoure la vallée d'Archiane est affecté de nombreuses failles subverticales de direction préférentielle EW à NE-SW et, plus rarement, NS à NNE-SSW ou NW-SE. Elles présentent en général un rejet très faible. Seule une étude détaillée de la fracturation de ces plateaux calcaires pourrait apporter des indications plus précises sur l'influence des différents réseaux de fractures sur le développement et la morphologie du karst. Elle devrait alors s'accompagner d'une analyse de la déformation des calcaires marneux sous-jacents, en particulier au droit des failles, à proximité de la résurgence d'Archiane. Il serait ainsi possible de comparer les deux styles de déformation et leur incidence sur les capacités réservoir et les contraintes d'écoulement souterrain qu'offre chacun de ces ensembles.

Afin de mieux apprécier la géométrie de l'aquifère, une coupe géologique passant par la résurgence d'Archiane a été réalisée selon une direction NW-SE (cf. figure 10). Les calcaires hémipélagiques ont une épaisseur d'une centaine de mètres au droit de la source et se prolongent sous la vallée, assurant ainsi une continuité en profondeur du plateau est avec la Montagne de Glandasse.

2.6. Conclusion

Quatre points principaux ressortent de cette étude géologique préliminaire :

1. Les formations calcaires barrémiennes karstifiées qui entourent la vallée d'Archiane constituent une entité géologique relativement homogène et bien isolée :
 - elles reposent partout sur une assise marneuse du Néocomien-Barrémien basal,
 - elles passent latéralement vers le sud à des faciès plus marneux,
 - les limites NE et SW du système correspondent à des limites d'érosion sur les flancs de la structure synclinale qui affecte cette série,
 - vers le nord, le plateau calcaire se rétrécit fortement et les rela-

tions avec la série urgonienne qui se développe au nord sont compliquées par le jeu du système de failles NE-SW de Jasneuf-Cléry.

2. Dans le détail, le massif calcaire présente une architecture relativement complexe où l'on met en évidence la superposition de plusieurs corps carbonatés d'extension et structure interne propres. Ces corps sont séparés par des intervalles plus argileux qui se développent de plus en plus vers le sud tandis qu'ils disparaissent vers le nord. Des discontinuités sédimentaires importantes limitent ces unités. Elles peuvent s'accompagner d'une karstification précoce qui influencera l'évolution ultérieure du karst.
3. La structure tectonique du domaine étudié est simple. Les formations calcaires présentent un pendage très faible vers l'est ou le sud. Elles sont toutefois affectées d'une importante fracturation et de nombreuses failles de direction préférentielle NE-SW et de très faible rejet.
4. L'épaisseur des calcaires hémipélagiques sous la résurgence d'Archiane, dans lesquels pourrait se développer un karst noyé, est d'une centaine de mètres.

Le pendage général de l'édifice vers le sud favorise un écoulement des eaux souterraines dans cette direction, comme l'indique la localisation des principales résurgences dans la région méridionale (Archiane, Combeau). Ces écoulements vers le sud peuvent être barrés par des failles transversales comme cela semble être le cas à Archiane. Une partie des eaux de la partie nord du plateau de Glandasse semblent, quant à elles, drainées par la faille de Jasneuf pour donner naissance aux sources de Rays.

3. COLLECTE DES DONNEES CLIMATOLOGIQUES ET HYDROMETRIQUES

3.1. Aperçu climatologique

Le climat du Vercors est de type montagnard avec de fortes influences océaniques et méditerranéennes pouvant entraîner une grande diversité dans la répartition des précipitations.

3.2. Pluviométrie

Les données pluviométriques sont utilisées à deux fins :

- calcul du bilan hydrique à partir de la lame d'eau précipitée sur le système ;
- fonction d'entrée pour l'analyse corrélatoire et spectrale.

Dans le premier cas, les moyennes annuelles sont suffisantes, alors que dans le second, il est nécessaire de disposer des précipitations journalières.

En raison des difficultés d'accès, aucun relevé météorologique n'est effectué sur le plateau de Glandasse. Celui-ci est entouré par cinq stations de la Météorologie Nationale (cf. figure 11) : Chichilianne, Glandasse, Châtillon-en-Diois, Die et Chamaloc.

L'Agence de Bassin Rhône-Méditerranée-Corse a fourni les précipitations journalières de ces stations sur une période allant de 1970 à 1990. La station de Villard-de-Lans, bien que située beaucoup plus au nord, a aussi été prise en compte car son altitude est plus proche de celle du plateau de Glandasse (les précipitations journalières de cette station ont été obtenues auprès de la Météorologie Nationale).

Par ailleurs, M. ROMEZIN, pisciculteur à Archianne, effectue des relevés journaliers de pluviométrie depuis 1970. Ces données ont été saisies informatiquement sur la période 1971-1978.

Les statistiques annuelles concernant ces différentes stations sont

reportées au tableau 1. Les chroniques des stations de Die et Glandasse comportent des lacunes non négligeables qui interdisent leur exploitation pour l'analyse spectrale et corrélatoire.

Les hauteurs d'eau moyennes mensuelles de la station de Chichiliane, calculées sur la période 1971-1990, sont reportées à la figure 12. Le maximum des précipitations est à l'automne (le mois d'octobre est le plus pluvieux). Le nombre moyen annuel de jours de précipitations avec neige est égal à 57. L'évolution du manteau neigeux sur le massif du Glandasse est la suivante : installation vers les mois de novembre-décembre et départ relativement tardif (avril-mai). L'enneigement joue bien entendu un rôle très important car il retarde, en dehors des périodes de fonte, l'alimentation des aquifères.

Par ailleurs, il faut noter le caractère orageux des précipitations des mois de juillet et août, avec des hauteurs d'eau parfois importantes.

3.3. Températures

Les températures du massif du Vercors varient principalement en fonction de l'altitude, mais aussi de la latitude en raison de l'influence du climat méditerranéen.

Les températures moyennes annuelles aux stations de Villard-de-Lans et Châtillon-en-Diois sont respectivement de 6,9° et 10,4°.

L'insolation est maximale au mois de juillet (272 heures en moyenne sur la période 19772-1976) et minimale au mois de décembre (69 heures sur la même période).

3.4. Hydrométrie

Le SRAE a mis en place en 1970 une station de jaugeage sur l'Archienne, à Menée, 10 km en aval de la résurgence (cf. localisation sur la figure 11).

Les débits moyens journaliers de cette station ont été récupérés auprès de

l'Agence de Bassin Rhône-Méditerranée-Corse, sur la période 1970-1990. Les paramètres statistiques annuels sont reportés au tableau 2. La résurgence d'Archiane ne s'est jamais tarie sur cette période. Le module annuel calculé sur 20 ans (de 1971 à 1990) est égal à $1,570 \text{ m}^3/\text{s}$, avec un minimum de 70 l/s (novembre 1978) et un maximum de $21,4 \text{ m}^3/\text{s}$ enregistré le 02/05/1971. La chronique des débits comporte des lacunes en 1970 et à partir de 1977.

L'analyse de la courbe des débits moyens décennaires sur 20 ans met en évidence un régime avec deux modes d'importance inégale (cf. figure 13) :

- fortes crues au printemps (avril-mai), liées à la fonte des neiges ;
- crues moins importantes aux mois d'octobre et novembre, liées aux précipitations d'automne ;
- étiages en hiver (janvier-février) et au mois d'août.

3.5. Période retenue pour l'analyse des débits et des précipitations

Les mesures journalières de débits et de précipitations disponibles permettent d'envisager une mise en oeuvre confortable des analyses spectrales et corrélatoires. La période retenue pour effectuer les traitements couvre les années 1971 à 1978, soit huit ans. Cette durée est suffisamment longue et comporte un nombre acceptable de données manquantes de débits (43 jours sans mesure). La chronique des débits enregistrés sur cette période est reportée à la figure 14.

Sur les six stations de la Météorologie Nationale considérées, seules celles de Chichiliane et Villard-de-Lans seront retenues, les autres comportant un nombre de lacunes trop important, en particulier sur la période 1976-1978. Par ailleurs, les relevés effectués sur le site d'Archiane feront l'objet d'un traitement pour vérifier leur validité. Les précipitations journalières enregistrées à la station de Chichiliane sur la période 1971-1978 sont reportées à la figure 15.

3.6. Découpage en cycles hydrologiques

L'étude du fonctionnement du système karstique à l'échelle de l'année nécessite un découpage des chroniques en cycles hydrologiques. Le début du

cycle correspond normalement à la première crue qui se produit après la période d'étiage estival, c'est-à-dire vers les mois de septembre ou d'octobre.

Les limites des cycles hydrologiques retenues avec les données pluviométriques et hydrométriques leur correspondant sont récapitulées dans le tableau 3. Leurs principales caractéristiques, définies à partir de l'examen des relevés journaliers, sont récapitulées dans le tableau ci-dessous :

Cycle	Période	Précipitations	Neige
1971	15/09/1970 au 12/10/1971	XX	XX
1972	13/10/1971 au 09/10/1972	XX	XXX
1973	10/10/1972 au 15/09/1973	X	X
1974	16/09/1973 au 29/08/1974	X	XX
1975	30/08/1974 au 27/08/1975	XXX	XXX
1976	28/08/1975 au 23/08/1976	XX	X
1977	24/08/1976 au 04/10/1977	XXXX	XX
1978	05/10/1977 au 06/12/1978	XX	XXXX

- X : déficitaire
- XX : peu déficitaire
- XXX : peu excédentaire
- XXXX : excédentaire

4. HYDROGEOLOGIE

4.1. Phénomènes karstiques

Les reliefs du massif du Glandasse sont recouverts d'éboulis qui leur confèrent un aspect sauvage et désolé. Cette morphologie est liée au litage des calcaires bioclastiques qui, soumis à une intense gélifraction, se décomposent en plaquettes et contrarient ainsi le développement de lapiaz et autres formes karstiques de surface caractéristiques des hauts plateaux du Vercors.

Les principales cavités du plateau ont été répertoriées dans le cadre de l'inventaire spéléologique du Vercors réalisé en 1978. Le gouffre le plus important (Sariat Henri), situé sur le flanc est de Pré Ferré, atteint la cote -130 m, mais aucun autre ne dépasse 50 m de profondeur. Aucun réseau karstique important comportant de grandes longueurs de galeries explorables n'a été découvert à ce jour. Là aussi, la cause est probablement le litage important des calcaires bioclastiques qui ne permet qu'un développement vertical de la karstification à la faveur de la fracturation.

4.2. Les émergences

La source d'Archiane est l'exutoire principal du système karstique du Glandasse. C'est aussi l'une des principales résurgences du Vercors avec un débit d'étiage variant entre 200 et 300 l/s. Les émergences pérennes sont impénétrables mais elles sont surmontées de trois grottes qui fonctionnent comme trop-plein de débordement lors des crues importantes. Parmi celles-ci, la grotte des Tournières a été plongée jusqu'à 30 m de profondeur. Son développement total est de 235 m. D'après les observations des plongeurs, la galerie du siphon, qui a une forme de diaclase, s'est développée aux dépens d'une faille avec rejet visible. Il s'agit probablement de l'accident important, identifié sur la partie est du plateau, qui traverserait la vallée d'Archiane au niveau de la source et constituerait un axe de drainage.

Une série de petites résurgences diffuses et échelonnées alimentent le ruisseau dans la reculée ouest du cirque d'Archiane. Leur débit est toujours nettement inférieur à celui de la source.

A l'ouest et au sud du massif du Glandasse, trois résurgences complètent le drainage du massif :

- la source de Rays qui draine le caisson nord-ouest de la montagne de Glandasse (débit d'étiage de 50 l/s environ). Cette source est captée pour l'alimentation de la ville de Die ;
- les sources de l'Abbaye Valeroissant alimentées par le versant sud-ouest de la montagne de Glandasse (débit d'étiage de 35 l/s environ).
- la source de la Doux qui pourrait être alimentée en partie par l'extrémité sud de la montagne de Glandasse (débit d'étiage de 5 à 10 l/s). Cette source est captée pour l'alimentation de la ville de Châtillon.

Par ailleurs, de nombreuses autres petites résurgences assurent un drainage très localisé des calcaires hémipélagiques. Elles ont été reportées sur la carte de la figure 16. Ces sources sont généralement temporaires et leur débit est faible. Elles peuvent donc être négligées dans le cadre de cette étude.

4.3. Limites de l'impluvium

Les limites retenues pour l'impluvium de la source d'Archiane sont reportées à la figure 16. Aucun traçage n'ayant été effectué à ce jour, elles ont été dressées à partir des résultats de l'étude géologique du massif. Elles sont cohérentes avec la carte hydrogéologique du Vercors réalisée par Ph. ROUSSET (1983).

Les principaux points à retenir sont les suivants :

- la faille de Cléry constitue une limite imperméable qui isole le massif du Glandasse des hauts plateaux du Vercors ;
- la faille de Jasneuf draine probablement les rochers de Plautret pour alimenter la source de Rays. Cette partie a donc été retirée de l'impluvium ;
- la structure synclinale centrée sur la vallée d'Archiane ainsi que le pendage général favorisent le drainage du plateau vers le sud, en direction de la source d'Archiane ;

- compte tenu de cette structure, il est peu probable que l'extrémité sud de la montagne de Glandasse puisse être drainée par la source d'Archiane. Une limite arbitraire a été fixée à ce niveau.

La superficie de l'impluvium est d'environ 43 km².

4.4. Bilan hydrique

4.4.1. Principe du calcul

Le bilan hydrique permet de comparer les entrées et les sorties d'eau d'un système, et donc de vérifier la cohérence des limites de l'impluvium. Il s'appuie sur l'équation suivante :

$$L = P - ETR \pm \Delta R$$

avec : L (mm) : lame d'eau écoulee à l'exutoire
P (mm) : lame d'eau précipitée
ETR (mm) : évapotranspiration réelle calculée
 ΔR (mm) : variations de réserve

Les variations de réserve peuvent être négligées en calculant le bilan sur une période suffisamment longue. Le déficit d'écoulement annuel se réduit alors à l'ETR :

$$L(m) = P(m) - ETR(m)$$

Dans le cas de calculs à l'échelle de l'année, l'ETR est estimée à partir de la formule de TURC qui s'avère être la mieux adaptée :

$$ETR = \frac{P}{\sqrt{0,9 + P^2/L^2}}$$

avec : P (mm) : lame d'eau précipitée
T (°C) : température interannuelle
L : $300 + 25.T + 0.05.T^3$

4.4.2. Vérification de la superficie de l'impluvium

Dans le cas de l'Archiane, la station de jaugeage est située non pas sur la source elle-même, mais 10 km en aval. Il est donc nécessaire de prendre en compte dans le bilan le ruissellement sur le bassin versant de surface drainé par le ruisseau. La superficie de celui-ci est d'environ 15 km².

Le contrôle du bilan va donc consister à comparer le volume moyen annuel écoulé à la station de jaugeage de Menée (Ve) avec la somme du volume annuel infiltré sur l'impluvium (Vi) et du volume qui a ruisselé sur le bassin versant de surface (Vr).

Les différentes valeurs retenues pour le calcul sont les suivantes :

. lame d'eau annuelle précipitée	: P = 1285 mm
. température moyenne sur le plateau	: T = 7°C
. volume moyen annuel de la source d'Archiane	: $\bar{Q} = 1,57 \text{ m}^3/\text{s}$
. coefficient de ruissellement	: r = 60 %
. superficie de l'impluvium	: Sp = 43 km ²
. superficie du bassin versant de surface	: Ss = 15 km ²

Le calcul des différents volumes donne les résultats suivants :

$$\begin{aligned} \cdot Ve &= \bar{Q}(\text{m}^3/\text{s}) \times 31,5 \cdot 10^6 = 49,5 \text{ Mm}^3 \\ \cdot Vi &= (P - \text{ETR}) * Sp = 35,3 \text{ Mm}^3 \\ \cdot Vr &= (P + r) * Ss = 10,4 \text{ Mm}^3 \end{aligned}$$

Les entrées (45,7 Mm³) sont donc inférieures aux sorties de 8 %. Plusieurs raisons peuvent expliquer ce déficit :

- ETR surestimée compte tenu de la faible végétation du plateau ;
- sous-évaluation de la superficie de l'impluvium ;
- apports latéraux, soit par le nord (faille de Cléry), soit par le sud au niveau du bassin de surface.

Seul un calcul plus fin des différents paramètres permettrait de mieux

cerner le bilan. Il serait en particulier intéressant d'évaluer le volume écoulé à la résurgence elle-même.

Dans le cadre de cette étude préliminaire, on peut se satisfaire de cette précision et estimer que les limites de l'impluvium sont cohérentes avec les débits jaugés à Menée.

5. ANALYSE DES COURBES DE RECESSION

5.1. Présentation de la méthode

Cette analyse reprend une méthode couramment utilisée dans le domaine de l'hydrologie de surface pour l'étude des régimes des cours d'eau. Elle consiste à étudier la partie décroissante de l'hydrogramme de crue que l'on nomme récession et qui comprend deux parties distinctes : la décrue et le tarissement.

La méthode repose sur une représentation conceptuelle de l'aquifère. Celui-ci est assimilé à un réservoir qui se vidange au travers d'un bouchon poreux.

Lors du tarissement, la décroissance du débit en fonction du temps suit une loi exponentielle (loi de MAILLET) :

$$Q = Q_{Ro} e^{-\alpha t}$$

avec : Q = débit à l'instant t
 Q_{Ro} = débit au début du tarissement
 α = coefficient de tarissement

Dans le cas des aquifères karstiques, le modèle a été amélioré par MANGIN (1970) pour tenir compte des caractères particuliers de l'infiltration dans ce type de magasin. L'idée est que l'écoulement après la pointe de crue se décompose d'une part en un écoulement lié à l'infiltration (issu de la zone non saturée du karst), et d'autre part en un écoulement de base issu du karst noyé. Cette représentation revient à ajouter au modèle de MAILLET un premier réservoir alimenté par un débit d'infiltration q_i , influençant ainsi la vidange du réservoir principal (cf. figure 17).

Deux parties peuvent alors être distinguées dans les courbes de récession :

- la décrue, durant laquelle l'infiltration (q_i) influence la vidange du réservoir ;

- le tarissement, qui débute à l'instant où le débit d'infiltration (q_1) devient nul, la vidange du réservoir principal obéissant alors uniquement à la loi de MAILLET.

La loi décrivant ces deux phases de la récession prend alors, selon l'approche de MANGIN (1970), la forme suivante :

$$Q = Q_{Ro} e^{-\alpha t} + q$$

Le débit d'infiltration q est décrit par une fonction homographique :

$$Q = Q_0 \frac{1 - \eta' t}{1 + \epsilon t}$$

- avec : Q_0 = débit d'infiltration à la pointe de crue
- η' = coefficient de vitesse d'infiltration
- ϵ = coefficient d'hétérogénéité d'écoulement (caractérise la concavité de la courbe de décrue)

L'étude des récessions permet donc de caractériser le système à l'aide de différents paramètres que l'on rapproche d'une part du fonctionnement de la zone d'infiltration (ϵ et η'), et d'autre part de l'écoulement dans la zone noyée (α).

De plus, elle permet le calcul du volume dynamique qui est le volume du karst noyé participant à l'écoulement et entraînant des variations de débits à l'exutoire (volume souterrain emmagasiné dans l'aquifère qui se vidange au cours de la phase de tarissement). Il s'agit par conséquent d'une estimation minimale du volume d'eau contenu dans la zone noyée, certaines masses d'eau ne participant pas à la dynamique de l'écoulement.

5.2. Analyse des courbes de récession de l'Archiane

Dans un premier temps, vingt courbes de récessions ont été individualisées sur les huit cycles hydrologiques couvrant la période étudiée (1971 à 1978).

Les différents paramètres caractéristiques ont été calculés pour chacune de ces courbes (cf. tableau 4). Les valeurs moyennes et extrêmes sont récapitulées dans le tableau ci-après :

		Minimum	Moyenne	Maximum
α	Coefficient de tarissement	$1,37.10^{-2}$	$2,36.10^{-2}$	$4,70.10^{-2}$
Vd	Volume dynamique	2,2 Mm ³	3,2 Mm ³	4,1 Mm ³
ϵ	Coefficient d'hétérogénéité	0.51	1.54	3.1
η'	Coefficient d'infiltration	0.05	0.10	0.25

Les deux récessions de 1973 ont été retenues comme exemples représentatifs (cf. figures 18 et 19) :

- la première couvre une période où l'enneigement du plateau du Glandasse peut influencer la décrue (10/12/1972 au 29/01/1973).
- la seconde s'étend du 26/07/1972 au 14/09/1972 ; elle correspond à une réponse de l'aquifère en période d'étiage ;

Les paramètres obtenus pour chacune de ces récessions sont les suivants :

		Récession n° 1	Récession n° 2
T	Durée	50 jours	50 jours
t _i	Durée de la phase d'infiltration	20 jours	20 jours
α	Coefficient de tarissement	$1,28.10^{-2}$	$2,40.10^{-2}$
Vd	Volume dynamique	4,1 Mm ³	3,4 Mm ³
ϵ	Coefficient d'hétérogénéité	1,46	1,22
η'	Coefficient d'infiltration	0,050	0,050

Les coefficients d'hétérogénéités élevés et les temps d'infiltration courts traduisent d'une part une karstification importante, d'autre part des infiltrations de courte durée.

5.3. Classification du karst du Glandasse

Cette classification, établie par MANGIN (1975), s'appuie sur le calcul de deux paramètres :

- . k : ce paramètre est égal au rapport entre le volume dynamique maximum obtenu sur une grande période et le volume de transit interannuel sur la même période. Il traduit l'aptitude de la zone noyée du karst à stocker les précipitations et à les restituer progressivement dans le temps. Plus le pouvoir régulateur de l'aquifère est élevé, plus ce rapport tend vers 1. C'est le cas des aquifères poreux où le volume dynamique est pratiquement égal au volume en transit. Dans les aquifères karstiques, k est en général inférieur à 0,5. Une faible valeur traduit des réserves peu importantes.
- . i : ce paramètre traduit les retards à l'infiltration. Il est égal à la valeur de la fonction homographique décrivant l'infiltration à deux jours de la pointe de crue (MANGIN (1973) montre que c'est pour ce temps de deux jours que l'on a la meilleure image de la décrue). Une forte valeur de i traduit une infiltration lente ou complexe contribuant à une meilleure régulation de l'écoulement, alors qu'à l'inverse une faible valeur est le signe d'un transit rapide des eaux vers la zone noyée. Ce paramètre varie entre 0 et 1.

Les valeurs obtenues pour le karst du Glandasse sont les suivantes :

$$k = \frac{4,1 \text{ Mm}^3}{49,5 \text{ Mm}^3} = 0,08 \quad \text{et} \quad i = \frac{1 - 2\eta'}{1 + 2\epsilon} = 0,24$$

Elles sont caractéristiques d'un système de faible régulation, et d'un transit rapide des eaux vers la zone noyée. Le paramètre i confirme l'influence de la neige qui déplace et concentre l'alimentation du système au printemps, contribuant au comportement inertiel du système.

Le report de ces paramètres sur le diagramme de classification proposé par

MANGIN permet de comparer le karst de Glandasse avec d'autres systèmes karstiques (cf. figure 20). Il se situe dans une zone à faible pouvoir régulateur et de forte karstification. Le karst noyé est donc sensible aux variations saisonnières de l'alimentation. Ceci explique les différences observées pour le volume dynamique en fonction des cycles (2.3 Mm³ en 1972 à 4.1 Mm³ en 1973).

6. PRINCIPES DE L'ANALYSE CORRELATOIRE ET SPECTRALE

6.1. Approche systémique du karst

Devant la difficulté d'appréhension de la structure du karst, cette méthode a été proposée par MANGIN (1989) pour déduire la structure de l'aquifère à partir de son fonctionnement.

Le karst est assimilé à un système de type boîte noire qui modifie, par l'intermédiaire d'une fonction de transfert, un signal d'entrée (la pluie sur le bassin) en un signal de sortie (le débit à l'exutoire).

La pluie et le débit sont représentés sous forme de séries chronologiques (variation d'un paramètre au cours du temps) qui possèdent une part structurée (tendance et période) et une part aléatoire (bruit de fond).

Pour employer les Analyses Corrélatoire et Spectrale, il est nécessaire de disposer de données à un pas de temps (k) journalier. De plus, si la chronique possède n valeurs, l'analyse est arrêtée à une valeur m, nommée troncature, qui doit être inférieure au tiers de la chronique. Ces valeurs k et m définissent la fenêtre d'observation.

Il n'est pas possible d'étudier des phénomènes supérieurs ou inférieurs à la fenêtre d'observation. Aussi, pour l'étude des phénomènes pluriannuels, on utilise une fenêtre à long terme (k = 10 jours, et m = 1250 jours) et une fenêtre à court terme pour les phénomènes saisonniers (k = 1 jour, et m = 125 jours).

Deux types d'analyse sont employés : l'analyse simple pour la description des chroniques, et l'analyse croisée pour l'étude des relations existant entre elles.

6.2. Analyse simple

Elle permet de décrire une chronique et d'en identifier les composantes.

Elle repose sur l'analyse du corrélogramme qui traduit la dépendance dans le temps des événements affectant la chronique, et cela selon des intervalles de temps de plus en plus grands. Plus cette dépendance est grande, et plus le système a de la "mémoire". Dans le cas d'une chronique de débit, cet effet mémoire traduit l'inertie de l'aquifère et la présence de réserves.

Le deuxième outil utilisé est le spectre de densité de variance. Celui-ci permet l'identification des événements périodiques par la détermination de leur fréquence ou de leur période. Dans le cas d'une chronique de débit, il fournit le temps de régulation qui représente la durée de l'influence d'événements pluvieux sur le système, ainsi que la mesure de la fréquence de coupures qui est la durée minimale que doit avoir une pluie pour influencer sur le système.

6.3. L'analyse croisée

Cette analyse permet l'étude de la relation pluie-débit et fournit une bonne image de la réponse impulsionnelle du système par le corrélogramme croisé. Celui-ci est précisé par quatre fonctions dans le domaine fréquentiel :

- la fonction d'amplitude croisée fournit la plage de fréquence pour laquelle la relation pluie-débit s'établit ;
- la fonction de phase indique le déphasage entre l'entrée et la sortie ;
- la fonction de gain montre si le système atténue ou amplifie l'information contenue dans la chronique des pluies ;
- la fonction de cohérence mesure la linéarité du système, permettant ainsi de savoir si la pluie est bien responsable de l'intégralité du débit.

7. ANALYSE DU FONCTIONNEMENT DU SYSTEME

7.1. Choix de la station pluviométrique de référence

Les précipitations journalières relevées sur les stations d'Archiane, Chichiliane et Villard-de-Lans ont fait l'objet d'analyses corrélatoire et spectrale afin d'apprécier leur structure. Celle-ci a été effectuée sur les huit années de la période de référence avec une fenêtre d'observation de 1250 jours et un pas décadaire.

Les corrélogrammes obtenus révèlent la même information, à savoir un caractère structuré sur deux à trois jours et un caractère aléatoire au-delà (cf. figure 21). Le spectre des précipitations d'Archiane présente un effet d'aliasing qui correspond à une structure inférieure à 2 jours. Celle-ci, probablement due à un biais introduit dans les relevés, interdit l'utilisation de cette chronique pour étudier les relations pluie-débit. Les spectres de Villard-de-Lans et Chichiliane ont la même structure. Cette dernière station est retenue pour les différentes analyses qui seront effectuées en raison de sa proximité du site d'Archiane.

7.2. Analyse globale à long terme

7.2.1. Traitements des chroniques par moyennes mobiles

Le filtrage des chroniques par moyenne mobile d'amplitude annuelle revient à les lisser en les pondérant par les valeurs des six mois précédant et suivant chaque valeur de la série. Ce traitement, appliqué aux chroniques de pluies et de débits, permet de mieux appréhender les variations annuelles et pluriannuelles.

La chronique issue du filtrage par moyenne mobile (cf. figure 22) met nettement en évidence le caractère déficitaire des cycles 1971, 1972, 1973, 1974 et 1976, alors que les cycles 1977 et 1978 sont excédentaires, les deux extrêmes correspondant respectivement aux années 1973 et 1978.

La chronique filtrée des débits a une structure globalement analogue à celle des précipitations : on retrouve les mêmes variations par cycle. C'est ainsi que le cycle 1976, déficitaire en pluie, l'est aussi en débit, alors que le cycle 1975 était, lui, excédentaire en pluie. Il n'y a donc pas eu de stockage de réserves en 1975 qui auraient soutenu le cycle 1976. Ce résultat laisse supposer que le système karstique de Glandasse est un système peu régulateur à l'échelle pluriannuelle, les débits étant peu influencés par les précipitations antérieures.

7.2.3. Analyse spectrale et corrélatoire à long terme

L'objectif est d'appréhender la tendance générale des chroniques sur les huit années étudiées. On utilise pour cela une fenêtre d'observation de 1250 jours avec un pas décadaire.

L'analyse spectrale et corrélatoire de la pluie ne révèle aucune périodicité particulière (figure 23). La chronique des précipitations de la station de Chichiliane est quasi-aléatoire et peut être utilisée comme fonction d'entrée pour des analyses croisées.

Les résultats de l'analyse spectrale et corrélatoire à long terme effectués sur les débits sont reportés à la figure 24. Le corrélogramme comporte deux périodes imbriquées s'individualisant nettement : l'une de 365 jours (cycle annuel) et l'autre à 180 jours liée au régime nival (deux périodes de hautes et basses eaux par cycle). Le spectre ne révèle pas d'autre fréquence significative.

7.2.4. Conclusions de l'analyse à long terme

Le système de Glandasse, comme de nombreux aquifères, joue un rôle de régulation annuelle dans la mesure où il restitue de la même façon chaque année les volumes d'eau infiltrée, quelle que soit la répartition saisonnière des pluies. Cependant, il semblerait que cette régulation ne s'effectue pas à l'échelle pluriannuelle puisque les variations de débits dépendent uniquement de la pluviométrie du cycle en cours.

7.3. Analyse globale à court terme

Cette analyse est réalisée sur la totalité de la période 1971-1978 en prenant une fenêtre d'observation de 125 jours et un pas journalier pour l'analyse spectrale et corrélatoire. Ce traitement débouche sur l'identification de la réponse impulsionnelle représentative du comportement "moyen" du système sur une longue période, ce qui a pour effet de lisser les spécificités de chaque cycle.

7.3.1. Analyse simple

Le corrélogramme et le spectre de la pluie traduisent la même information que pour l'analyse à court terme, à savoir un caractère structuré sur deux à trois jours, et aléatoire au-delà (cf. figure 25). On note cependant une légère tendance supérieure à la fenêtre d'observation, probablement due à la présence de cycles excédentaires à la fin de la période retenue.

Les graphiques de l'analyse simple à court terme des débits sont reportés à la figure 26. Le corrélogramme présente une décroissance lente traduisant une inertie du système : l'effet mémoire de 34 jours (valeur de k pour $r = 0,20$) traduit la présence d'une réserve. On retrouve dans le spectre des débits certaines fréquences identifiées sur celui de la pluie. La fréquence de coupure est basse (0,15), ce qui signifie que les événements inférieurs à 7 jours n'influencent pas le système. Le temps de régulation, obtenu à partir de la valeur maximale du spectre (assimilée à la bande passante), est égal à 29 jours. L'ensemble de ces paramètres est représentatif d'un comportement inertiel, significatif de la présence de réserves.

7.3.2. Analyse croisée

Les graphes de l'analyse croisée pluies-débits sont reportés à la figure 27.

L'analyse simple de la pluviométrie ayant montré que celle-ci avait bien un comportement aléatoire, le corrélogramme croisé constitue la réponse impulsionnelle du système. Il montre une réponse bimodale révélant un double comportement du karst :

- le pic bien prononcé est le signe d'une fonction transmissive (correspondant au drainage) bien développée ;
- la lente décroissance qui la suit est, elle, significative d'un comportement capacitif.

Au-delà de 15 jours, le corrélogramme croisé garde une valeur positive assimilable à un bruit de fond probablement dû à l'influence de la neige.

Plusieurs observations peuvent être faites sur les autres graphiques :

- la fonction d'amplitude montre que la relation s'établit principalement à long terme ;
- la mauvaise cohérence, notamment à long terme, indique une mauvaise linéarité du système : il n'y aurait pas de relation directe entre les fortes pluies et les crues ;
- enfin, le gain révèle une amplification à long terme, alors qu'à court terme l'information est plus atténuée.

L'ensemble de ces observations (bruit de fond du corrélogramme au-delà de 15 jours, amplitude forte, mauvaise cohérence et amplification à long terme) est à rapprocher de l'influence de la neige que diffère dans le temps l'infiltration dans l'aquifère. La relation pluie-débit n'explique pas intégralement le fonctionnement du système.

7.3.3. Conclusion

Deux grandes idées sont à retenir de cette analyse :

- le système a un comportement inertiel montrant la présence de réserves,
- la neige perturbe la relation pluie-débit en amplifiant la relation à long terme.

La question se pose alors de savoir si la réserve révélée correspond à un stockage réel dans le système karstique ou au stockage en surface sous forme de neige. Pour répondre à cette question, une analyse par cycle a été effectuée.

7.4. Analyse par cycles

L'ensemble des huit cycles ont été analysés avec une fenêtre à court terme de 125 jours et un pas journalier.

Le but est d'étudier la variation de réponse du système en fonction des caractéristiques hydrologiques des différents cycles.

7.4.1. Analyse simple

Les corrélogrammes simples à court terme des débits des 8 cycles sont représentés à la figure 28. On remarque une grande dispersion des courbes avec un effet mémoire qui s'étale de 10,5 à 39,5 jours.

Le cycle 1973, qui est déficitaire en pluie et en neige, présente l'effet mémoire le plus faible. A l'inverse, le cycle 1978, moyennement pluvieux mais très neigeux, présente un fort effet mémoire (35 jours), tout comme 1972 (39,5 jours) et 1975 (34 jours).

Les spectres expriment la même information au travers des fréquences de coupure et les temps de régulation. Le tableau ci-dessous récapitule pour chacun des cycles les principaux paramètres issus de l'analyse spectrale simple (cf. détail des résultats au tableau 5) :

Cycle	Effet mémoire	Fréquence de coupure	Temps de régulation
1971	34 jours	0.21	29,5 jours
1972	39 jours	0.15	32,0 jours
1973	10 jours	0.28	12,5 jours
1974	26 jours	0.15	26,5 jours
1975	34 jours	0.12	32,5 jours
1976	20 jours	0.25	21,5 jours
1977	33 jours	0.22	25,5 jours
1978	35 jours	0.09	38,5 jours

Pour 1973, cycle peu neigeux, la fréquence de coupure est très haute (0,28), ce qui signifie qu'un événement de 3,5 jours est suffisant pour influencer le système. De même, le temps de régulation est faible (12,5 jours).

Par contre, pour 1978, le temps de régulation est de 38,5 jours, et la fréquence de coupure est de 0,09 ; seuls les événements supérieurs à 10,5 jours influencent le système. Les mêmes observations sont faites pour les cycles 1972 et 1975 caractérisés eux aussi par des précipitations neigeuses importantes.

Le cycle 1973 peut donc être considéré comme le plus représentatif d'un comportement non influencé par la neige de l'aquifère karstique de Glandasse.

7.4.2. Analyse croisée

Tout comme les corrélogrammes simples, les corrélogrammes croisés présentent une grande diversité de réponse. Ceux des cycles 1972 et 1975, reportés respectivement aux figures 29 et 30, sont très altérés par un bruit de fond important. Les fonctions d'amplitude traduisent une relation à long terme. Ceci est confirmé par la mauvaise cohérence qui met en évidence l'influence de la neige.

Le corrélogramme croisé de 1978 (cf. figure 31) montre une traîne neigeuse importante qui est liée à une très forte valeur de la fonction d'amplitude à long terme, ainsi qu'à une mauvaise cohérence et une très forte amplification pour les basses fréquences.

A contrario, le cycle 1973 (cf. figure 32) est caractérisé par une réponse impulsionnelle bien individualisée, une fonction d'amplitude forte à court terme, et surtout une excellente cohérence pour les hautes fréquences. Ce cycle est donc le plus représentatif du fonctionnement non influencé du système. On retrouve la même structure que pour l'analyse sur l'ensemble des huit cycles avec une fonction capacitive et une fonction transmissive très marquées. Ce double comportement se retrouve sur la fonction de gain où le court terme est atténué (filtrage par la fonction capacitive) et le long terme amplifié (drainage rapide et bien organisé).

7.5. Conclusions de l'analyse systémique

L'analyse systémique a montré que le système de Glandasse possède un double comportement, à la fois transmissif et capacitif. L'exemple des cycles déficitaires en pluie et en neige montre qu'il ne possède que peu de réserves, ceci laissant penser que la fonction capacitive est de faible ampleur.

Toutefois, lors des années neigeuses, l'enneigement du plateau augmente considérablement l'inertie du système, lui conférant un pouvoir régulateur plus important.

La fonction transmissive est due à la karstification du système qui permet un transit rapide des précipitations grâce à un drainage organisé.

8. CONCLUSIONS GENERALES

8.1. Rappel des objectifs de l'étude

L'objectif de cette étude était d'appréhender la structure et le fonctionnement du karst du massif du Glandasse afin de déterminer si celui-ci contient des ressources qui pourraient être exploitées lors des périodes d'étiage.

Ce diagnostic constitue une étape préliminaire à l'évaluation quantitative des réserves et à un éventuel aménagement pour les exploiter.

Cette étude s'est appuyée sur différentes méthodes dont certaines sont spécifiques à l'hydrogéologie karstique :

- étude géologique afin de définir la géométrie de l'aquifère et les limites de l'impluvium ;
- analyse des courbes de récession (décrues) pour évaluer le volume dynamique du système ;
- analyse spectrale et corrélatoire afin de déterminer l'importance des fonctions transmissivité (drainage) et capacitives (réserves).

8.2. Géométrie du système

Le système est constitué de deux formations différentes du complexe barrémo-bédoulien qui reposent sur une assise marneuse imperméable :

- des calcaires bioclastiques massifs qui constituent les falaises du cirque d'Archiane ;
- des calcaires hémipélagiques plus marneux à la base qui constituent le fond de la vallée.

La faille de Cléry, au nord, constitue une limite imperméable qui isole le massif de Glandasse des hauts plateaux du Vercors. Les limites est et ouest sont constituées par les rebords du plateau. Les limites sud, quant à elles, ne peuvent pas être définies avec précision.

La structure synclinale du massif favorise l'écoulement des eaux souterraines vers la résurgence d'Archiane qui est l'exutoire principal.

8.3. Fonctionnement du système

Les différentes analyses effectuées (courbes de récession, moyennes mobiles, analyse corrélatoire et spectrale) sont cohérentes. Elles mettent en évidence :

- une infiltration rapide sur les plateaux grâce à une karstification principalement "verticale" des calcaires bioclastiques, qui conduit directement les précipitations vers la zone saturée ;
- une karstification importante de l'ensemble du système, y compris des calcaires hémipélagiques, qui assure un transfert rapide des précipitations vers l'exutoire ;
- un effet capacitif qui traduit la présence de réserves. Celles-ci semblent cependant relativement peu importantes. Le volume dynamique est estimé à environ 4 Mm^3 ;
- un faible pouvoir régulateur du système sans recharge interannuelle (la quantité d'eau exploitable dépendrait donc uniquement des précipitations du cycle).

Il faut noter que les analyses portant sur les débits ont été fortement perturbées par les précipitations neigeuses qui constituent un retard à l'infiltration pouvant jouer le même rôle qu'une réserve. Les traitements effectués par cycle hydrologique ont cependant montré que l'enneigement du massif se traduisait principalement par un bruit de fond au niveau de la réponse impulsionnelle du système. C'est ainsi que la fonction capacitive apparaît le plus nettement sur le cycle le moins neigeux (1973). Elle peut donc être attribuée au système karstique.

Si cette étude préliminaire met en évidence la présence de réserves, elle ne permet pas de les localiser. D'autres méthodes devront être mises en oeuvre pour préciser si les calcaires hémipélagiques sont karstifiés sous la résurgence et s'il existe une zone noyée importante qui se poursuivrait jusqu'aux assises marneuses.

8.4. Etudes complémentaires

Pour compléter l'étude réalisée et évaluer qualitativement et quantitativement les ressources, il faut envisager le recours à d'autres méthodes, couramment utilisées dans la caractérisation des aquifères karstiques :

- **Etude géochimique sur les eaux de l'exutoire.** Celle-ci permettrait, grâce à l'association de moyens analytiques puissants (analyse en composantes principales), de déterminer de nombreux paramètres :

- . origine spatiale de l'eau ;
- . degré de karstification ;
- . temps de séjour des eaux ;
- . vitesse de transit entre le lieu de stockage et l'exutoire ;
- . caractéristiques de l'infiltration et activité biologique du sol.

Une telle étude impose la prise d'échantillons d'eau en période de crues (pas de temps semi-journalier) et sur l'intégralité d'un cycle hydrologique (pas de temps hebdomadaire).

- **Etude des débits classés et campagne d'observation de la mise en fonction des trop-pleins lors des crues,** pour connaître l'organisation de la zone noyée à proximité de l'exutoire.

- **Installation d'une station de jaugeage à l'exutoire** pour différencier les écoulements spécifiques du système du ruissellement sur le bassin versant imperméable.

La mise en oeuvre de traçages ne sera pas envisagée compte tenu de l'absence de regards sur la zone noyée à l'amont du système.

* *

*

BIBLIOGRAPHIE

1. Géologie et hydrogéologie du massif de Glandasse

ARNAUD, H. (1978)

Principales données structurales et lithologiques influant sur les circulations souterraines et les phénomènes karstiques du Vercors. Tome 1. Grottes et Scialets du Vercors. CDS Isère.

ARNAUD, H. (1981)

De la plate-forme urgonienne au bassin vocontien - Thèse Université de Grenoble - Géologie alpine, Mém. n° 12, 804 p.

ARNAUD-VANNEAU, A., et ARNAUD, H. (1991)

Sédimentation et variations relatives du niveau de la mer sur les plates-formes carbonatées du Bériasien-Valanginien inférieur et du Barrémien dans les massifs subalpins septentrionaux et le Jura (Suc'-Est de la France) - Bull. Soc. Géol. France, 1991, t. 162, n° 3, pp. 535-545.

CARTE GEOLOGIQUE DE LA FRANCE AU 1/50 000

Feuilles de Mens et de la Chapelle-en-Vercors (BRGM).

CORBEL, J. (1956)

Le karst du Vercors. Revue de Géographie de Lyon. T 31.

DELANNOY, J.J. (1982)

Les variations spatio-temporelles de la corrosion karstique dans un massif de moyenne montagne : Le Vercors R.G.A., Grenoble n° 3.

JACQUIN, T., ARNAUD-VANNEAU, A., ARNAUD, H., RAVENNE, C. et VAIL, P.R (1991)

Systems tracts and depositional sequences in a carbonate setting : a study of continuous outcrops from platform to basin at the scale of seismic lines - Marine and Petroleum Geology, 1991, Vol. 8, May, pp. 122-139.

LISMONDE, B. (1978-1979)

Grottes et scialets du Vercors. Tome 1 & 2. CDS. Isère.

MARNEZY, A. (1980)

Le Vercors méridional. Etude de géomorphologie karstique et glaciaire. Thèse. Grenoble.

ROUSSET, Ph. (1983)

Carte hydrogéologique du Vercors. Thèse. Grenoble.

2. Analyses corrélatoires et spectrales, courbes de récession

BARBUT, M., et FOURGEAUD, C. (1971)

Eléments d'analyse mathématique des chroniques. Hachette Université, 207 p.

BOX, G.E.P., et JENKINS, G.M. (1976)

Time series analysis, forecasting and control. Revised Edition Holden Day, San Francisco, 575 p.

DELHOMME, J.P. (1976)

Application de la théorie de variables régionalisées dans les sciences de l'eau. Thèse Docteur-Ingénieur, Université Paris VI, 160 p.

JENKINS, G.M. et WATTS, O.G. (1968)

Spectral analysis and its applications. Holden Day, San Francisco, 525 p.

MANGIN, A. (1970)

Contribution à l'étude d'aquifères karstiques à partir de l'analyse de courbes de décrue et de tarissement. Ann. Spéléo., t 25, 3, pp. 581-609.

MANGIN, A. (1970)

Méthode d'analyse des courbes de décrue et de tarissement dans les aquifères karstiques. Cr. Acad. Sc., Paris, t 270, pp. 1295-1297.

MANGIN, A. (1981)

Utilisation des analyses corrélatoires et spectrales dans l'approche des systèmes hydrologiques. C.R.Ac.Sc., Paris, Série III, p. 401-404.

MANGIN, A. (1981)

Apports des analyses corrélatoires et spectrales croisées dans la connaissance des systèmes hydrologiques. C.R.Ac.Sc, Paris, Série III, p. 1011-1014.

MANGIN, A. (1982)

Mise en évidence de l'originalité et de la diversité des aquifères karstiques. An.Sc. de l'Université de Besançon, 3ème Colloque d'Hydrologie sur les pays calcaires, Géol. Mém. n° 1, p. 159-172.

MANGIN, A. (1984)

Pour une meilleure connaissance des systèmes hydrologiques à partir des analyses corrélatoires et spectrales. Journal of Hydrology, 67, p. 25-43.

T A B L E A U X

STATISTIQUES ANNUELLES SUR LES STATIONS PLUVIOMETRIQUES

STATION DE CHICHILIANNE

Année	Lacunes mesures	Maximum annuel	Hauteur totale	Hauteur neige
1971	0	62.2	1132.1	434.4
1972	0	87.7	1135.4	347.8
1973	1	70.8	923.6	316.2
1974	0	48.8	1210.1	582.6
1975	0	102.7	1239.3	343.4
1976	0	57.0	1173.6	372.5
1977	0	47.2	1475.3	446.4
1978	0	45.8	1047.3	489.1
1979	0	70.7	1343.7	409.9
1980	4	52.8	1010.8	337.6
1981	1	46.5	1449.8	605.9
1982	0	93.8	1277.8	305.6
1983	1	73.5	1187.3	348.4
1984	0	42.9	1152.2	461.1
1985	2	47.8	989.3	445.8
1986	4	37.6	1144.8	505.9
1987	4	66.4	1361.7	198.0
1988	5	40.5	1035.0	392.9
1989	0	52.3	683.0	286.9
1990	0	92.8	1215.8	418.3

STATION DE CHATILLON

Année	Lacunes mesures	Maximum annuel	Hauteur totale	Hauteur neige
1971	0	61.0	803.0	48.0
1972	4	75.4	760.2	81.4
1973	36	39.4	567.6	93.3
1974	2	45.4	935.3	107.4
1975	7	70.0	1021.3	120.6
1976	5	48.3	926.0	129.7
1977	1	44.1	1231.0	77.5
1978	3	36.3	735.1	136.9
1979	1	56.8	1062.1	111.3
1980	0	37.9	850.3	97.4
1981	0	45.1	1151.4	220.1
1982	0	83.3	975.0	58.6
1983	0	47.2	853.6	76.1
1984	2	46.7	905.2	90.9
1985	0	41.9	812.0	158.0
1986	0	35.0	872.5	157.5
1987	5	51.4	968.4	88.9
1988	4	54.3	922.6	108.0
1989	0	43.8	566.0	62.4
1990	7	46.8	763.6	73.4

STATION DE DIE

Année	Lacunes mesures	Maximum annuel	Hauteur totale	Hauteur neige
1971	5	72.8	849.2	46.6
1972	0	64.0	855.8	33.1
1973	1	48.0	703.2	78.7
1974	7	46.4	876.7	63.1
1975	5	96.0	1044.2	74.8
1976	3	60.0	855.9	74.1
1977	14	70.0	1177.5	24.2
1978	23	30.0	563.1	74.1
1979	5	62.0	818.2	63.6
1980	9	43.8	741.6	63.8
1981	2	49.5	1017.6	169.0
1982	4	74.3	1001.0	45.2
1983	1	67.0	735.6	53.5
1984	8	43.8	834.0	43.4
1985	5	32.5	815.5	108.7
1986	3	67.5	902.7	139.6
1987	2	36.6	898.9	40.9
1988	2	43.8	949.5	93.4
1989	0	47.0	616.3	20.2
1990	46	46.5	755.1	51.5

STATION DE GLANDAGE

Année	Lacunes mesures	Maximum annuel	Hauteur totale	Hauteur neige
1971	0	72.5	879.3	288.9
1972	0	80.0	1018.7	232.1
1973	0	36.2	754.1	199.7
1974	5	42.0	798.8	300.8
1975	4	50.0	968.8	241.0
1976	12	45.0	928.7	248.9
1977	39	60.0	1095.2	192.5
1978	14	45.0	800.6	317.6
1979	16	53.0	923.8	166.9
1980	10	42.0	824.9	179.2
1981	0	58.0	1325.0	448.3
1982	34	51.0	836.3	122.4
1983	33	64.5	711.7	145.8
1984	6	48.2	1037.8	262.3
1985	10	42.7	771.9	343.1
1986	17	49.5	800.1	266.2
1987	11	85.0	1133.9	127.4
1988	38	66.8	672.3	148.2
1989	0	53.0	656.4	194.9
1990	0	53.8	818.1	187.8

STATION DE VILLAR-DE-LANS

Année	Lacunes mesures	Maximum annuel	Hauteur totale	Hauteur neige
1971	2	49.2	1139.8	368.1
1972	0	63.5	1140.3	309.9
1973	5	50.5	1166.8	411.1
1974	7	94.8	1323.9	435.6
1975	3	69.2	1293.9	385.5
1976	0	52.7	1167.4	370.8
1977	0	60.3	1690.6	508.7
1978	0	64.3	1377.2	699.1
1979	0	61.7	1449.4	394.2
1980	0	58.7	1223.5	489.4
1981	0	66.2	1454.4	584.1
1982	0	122.3	1397.9	368.0
1983	0	89.9	1418.5	489.8
1984	3	58.4	1263.0	488.5
1985	1	44.3	985.0	476.8
1986	0	48.5	1276.7	566.0
1987	0	48.3	1374.2	318.4
1988	0	55.5	1467.8	489.4
1989	0	50.3	784.6	267.8
1990	0	107.2	1312.4	444.5

STATISTIQUES MENSUELLES SUR LES STATIONS PLUVIOMETRIQUES

STATION DE CHICHILIANNE

Mois	PRECIPITATIONS MENSUELLES		
	Moyenne	Maximum	Neige
Janvier	102.7	212.2	82.7
Février	108.7	273.3	76.3
Mars	102.0	201.2	76.7
Avril	92.3	245.3	35.4
Mai	104.4	199.9	11.5
Juin	84.7	159.0	2.1
Juillet	81.5	285.9	0.0
Août	69.6	133.4	0.0
Septembre	81.5	241.7	0.2
Octobre	126.9	248.0	6.7
Novembre	98.7	247.0	48.2
Décembre	106.4	299.0	62.7
TOTAL	1159.4	299.0	

STATION DE CHATILLON

Mois	PRECIPITATIONS MENSUELLES		
	Moyenne	Maximum	Neige
Janvier	66.5	142.5	23.1
Février	79.5	166.1	20.4
Mars	82.0	153.0	24.3
Avril	78.7	175.6	13.2
Mai	91.2	193.3	0.6
Juin	85.4	152.0	0.0
Juillet	40.6	173.4	0.0
Août	54.0	108.0	0.0
Septembre	69.6	170.1	0.0
Octobre	94.7	218.8	0.0
Novembre	73.2	184.9	7.0
Décembre	70.4	249.4	11.8
TOTAL	885.8	249.4	

STATION DE DIE

Mois	PRECIPITATIONS MENSUELLES		
	Moyenne	Maximum	Neige
Janvier	53.9	117.2	12.6
Février	88.4	273.3	47.5
Mars	86.7	201.2	45.0
Avril	81.3	245.3	19.9
Mai	102.6	231.7	5.6
Juin	85.5	181.9	1.0
Juillet	65.6	285.9	0.0
Août	61.7	133.4	0.0
Septembre	78.2	252.3	0.1
Octobre	113.9	248.0	3.2
Novembre	80.5	247.0	26.7
Décembre	85.3	299.0	36.7
TOTAL	983.4	299.0	

STATION DE GLANDAGE

Mois	PRECIPITATIONS MENSUELLES		
	Moyenne	Maximum	Neige
Janvier	64.3	153.5	46.0
Février	84.0	273.3	48.5
Mars	83.7	201.2	46.5
Avril	82.8	249.4	20.8
Mai	99.5	231.7	5.9
Juin	86.0	181.9	0.7
Juillet	62.3	285.9	0.0
Août	59.5	133.4	0.0
Septembre	72.6	252.3	0.1
Octobre	109.3	289.4	2.9
Novembre	77.4	247.0	25.4
Décembre	84.7	358.6	36.5
TOTAL	966.1	358.6	

STATION DE VILLARD-DE-LANS

Mois	PRECIPITATIONS MENSUELLES		
	Moyenne	Maximum	Neige
Janvier	107.4	240.6	90.0
Février	90.9	300.6	55.8
Mars	91.6	246.2	56.5
Avril	88.0	249.4	28.2
Mai	105.3	258.5	9.0
Juin	91.7	190.9	1.2
Juillet	67.2	285.9	0.0
Août	68.7	162.7	0.0
Septembre	78.3	252.3	0.4
Octobre	113.2	289.4	4.4
Novembre	84.9	270.3	30.1
Décembre	89.6	358.6	42.4
TOTAL	1076.9	358.6	

STATISTIQUES ANNUELLES SUR LES DEBITS DE L'ARCHIANE

Année	Lacunes	Débit minimum (m ³ /s)	Débit maximum (m ³ /s)	Débit moyen (m ³ /s)
1970	39	0.213	14.300	1.506
1971	0	0.160	21.400	1.563
1972	0	0.310	14.900	1.573
1973	0	0.285	15.000	1.243
1974	6	0.255	8.100	1.448
1975	7	0.300	8.350	1.582
1976	6	0.290	7.750	1.556
1977	17	0.420	8.650	2.032
1978	7	0.072	9.150	1.500
1979	13	0.321	8.600	1.608
1980	7	0.260	8.950	1.726
1981	7	0.220	8.450	1.630
1982	12	0.360	7.050	1.800
1983	17	0.253	8.450	1.506
1984	20	0.247	9.400	1.753
1985	5	0.165	9.850	1.577
1986	22	0.165	10.000	1.109
1987	13	0.421	8.300	1.827
1988	7	0.310	10.000	1.755
1989	7	0.132	8.750	1.030
1990	46	0.132	7.100	1.210

STATISTIQUES HYDROMETRIQUES ET PLUVIOMETRIQUES PAR CYCLE HYDROLOGIQUE

CYCLE	PERIODE	PLUVIOMETRIE			D E B I T S			
		Maximum (mm)	Moyenne (mm)	Variance	Maximum (m3/s)	Mimimum (m3/s)	Moyenne (m3/s)	Variance
1971	15.09.70 au 12.10.71	62.2	3.38	75.77	21.4	0.16	1.63	6.31
1972	13.10.71 au 09.10.72	55.4	2.89	56.63	14.9	0.16	1.39	2.71
1973	10.10.72 au 15.09.73	87.7	2.83	71.56	15.0	0.28	1.36	3.83
1974	16.09.73 au 29.08.74	38.7	2.71	38.06	8.1	0.26	1.42	2.51
1975	30.08.74 au 27.08.75	48.8	3.52	62.43	8.35	0.25	1.56	2.93
1976	28.08.75 au 23.08.76	102.7	2.76	69.15	6.8	0.29	1.35	1.44
1977	24.08.76 au 04.10.77	47.2	4.27	72.40	8.65	0.43	2.17	2.46
1978	05.10.77 au 06.12.78	45.8	3.16	49.40	9.15	0.07	1.67	4.39
71/78	15.09.70 au 06.12.78	102.7	3457.8	62.10	21.4	0.07	1.58	3.39

Tableau 4

PARAMETRES DES COURBES DE RECESSION

CYCLE	PERIODE	DUREE jours	q0 m3/s	qR0 m3/s	t1 jours	q0 m3/s	α	Vd Mm3	ϵ	n	k	i
1971	10.10.70 - 13.11.70	35	10.70	0.60	16	0.41	0.024	2.191	3.105	0.063	0.045	0.121
1971	01.12.70 - 18.01.71	48	3.05	1.15	10	0.79	0.037	2.650	2.054	0.100	0.054	0.157
1971	27.06.71 - 18.07.71	21	10.80	1.84	8	1.26	0.047	3.372	2.431	0.125	0.069	0.125
1971	20.07.71 - 12.10.71	84	2.68	0.80	10	0.67	0.017	3.937	1.485	0.100	0.080	0.202
1972	10.11.71 - 03.02.72	85	2.48	0.71	7	0.63	0.016	3.693	2.436	0.143	0.081	0.122
1972	26.07.72 - 27.08.72	32	5.15	0.65	14	0.46	0.024	2.326	2.646	0.071	0.047	0.136
1973	10.12.72 - 29.01.73	50	5.85	0.73	20	0.56	0.013	4.100	1.458	0.059	0.077	0.213
1973	26.07.73 - 15.09.73	50	8.60	0.90	20	0.59	0.021	3.686	1.191	0.053	0.084	0.281
1974	16.11.73 - 06.01.74	51	5.50	0.61	16	0.49	0.014	3.897	1.984	0.063	0.080	0.176
1974	01.07.74 - 28.08.74	58	4.34	0.83	14	0.61	0.022	3.221	1.108	0.071	0.066	0.266
1975	30.11.74 - 27.12.74	27	4.12	1.49	12	0.93	0.039	3.280	0.785	0.083	0.067	0.324
1975	31.12.74 - 26.01.75	26	1.58	0.94	4	0.81	0.037	2.159	0.514	0.250	0.044	0.247
1975	30.01.75 - 27.03.75	56	2.45	1.08	9	0.80	0.033	2.810	0.842	0.111	0.057	0.290
1975	06.07.75 - 27.08.75	52	3.03	0.77	16	0.51	0.021	3.203	0.590	0.053	0.065	0.410
1976	18.12.75 - 11.02.76	55	3.97	0.92	11	0.74	0.020	4.048	1.179	0.091	0.083	0.244
1976	20.07.76 - 23.08.76	34	3.84	0.74	17	0.56	0.016	3.880	1.157	0.059	0.079	0.266
1977	03.01.77 - 21.01.77	18	1.94	1.19	6	0.91	0.045	2.268	3.072	0.167	0.046	0.093
1977	03.09.77 - 04.10.77	31	2.28	0.88	12	0.65	0.025	3.041	0.906	0.083	0.062	0.296
1978	29.12.77 - 17.02.78	50	2.16	1.08	9	0.82	0.031	3.038	0.707	0.111	0.062	0.322
1978	06.07.78 - 07.08.78	32	3.38	1.19	9	0.79	0.042	2.468	1.293	0.100	0.050	0.223

Valeurs MOYENNES	47	4.40	0.99	12	0.66	0.024	3.185	1.547	0.098	0.065	0.226
VALEURS MAXIMALES	99	10.80	1.84	19	1.26	0.047	3.897	3.105	0.250	0.081	0.410
VALEURS MINIMALES	18	1.58	0.60	4	0.41	0.014	1.326	0.514	0.053	0.044	0.093

RESULTATS DE L'ANALYSE CORRELATOIRE SPECTRALE ET PAR CYCLE

CYCLE	PERIODE	DUREE (jours)	HAUTEUR TOTALE (mm)	HAUTEUR NEIGE (mm)	RAPPORT Hn/Hp	EFFET MEMOIRE (jours)	FREQUENCE COUPURE	TEMPS DE REGULATION (jours)	Cx,y
1971	15.09.70 au 12.10.71	393	1329.8	406.2	0.31	34	0.21	29.5	0.445
1972	13.10.71 au 09.10.72	363	1048.5	482.6	0.46	39	0.15	32.0	0.160
1973	10.10.72 au 15.09.73	340	965.2	282.2	0.30	10	0.28	12.5	0.369
1974	16.09.73 au 29.08.74	348	943.5	385.8	0.41	26	0.15	26.5	0.157
1975	30.08.74 au 27.08.75	363	1278.9	498.6	0.39	34	0.12	32.5	0.165
1976	28.08.75 au 23.08.76	362	1000.9	300.8	0.30	20	0.25	21.5	0.216
1977	24.08.76 au 04.10.77	407	1738.0	465.5	0.28	33	0.22	25.5	0.302
1978	05.10.77 au 06.12.78	428	1352.0	609.1	0.45	35	0.09	38.5	0.208
71/78	15.09.70 au 06.12.78	3005	9656.8	3457.8	0.358	34	0.152	29.5	0.227

FIGURES

SITUATION GEOGRAPHIQUE DU KARST DE GLANDASSE



Echelle 1/250 000

BLOC-DIAGRAMME TOPOGRAPHIQUE DU CIRQUE D'ARCHIANE

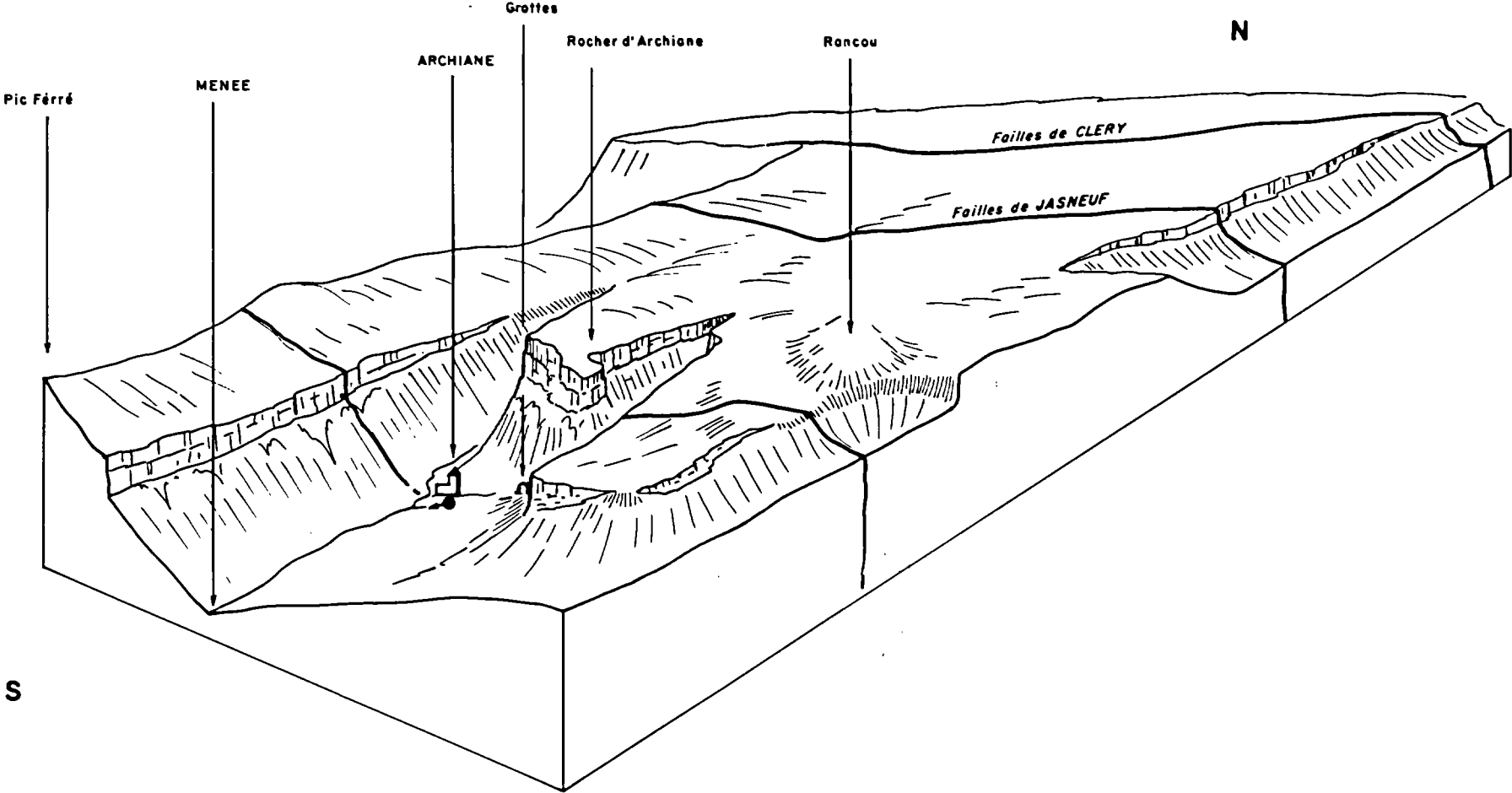
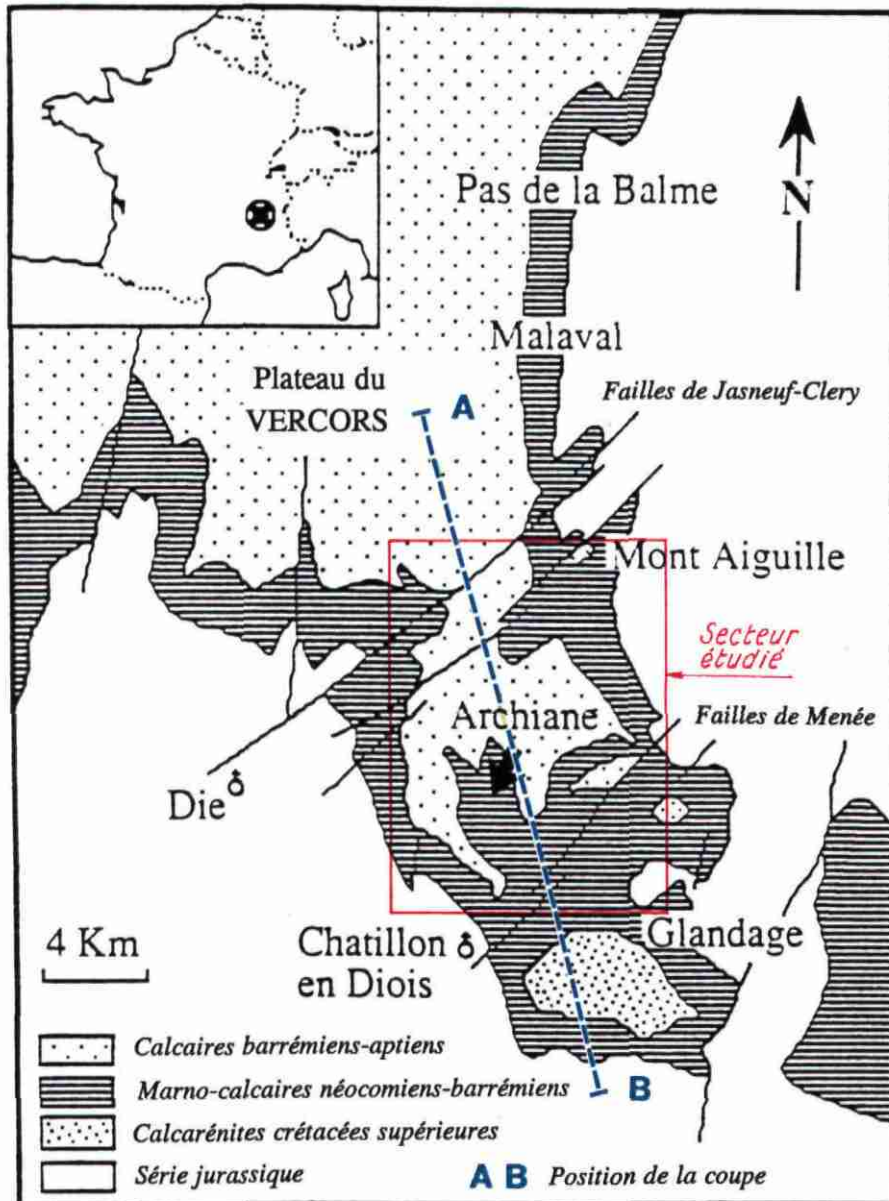


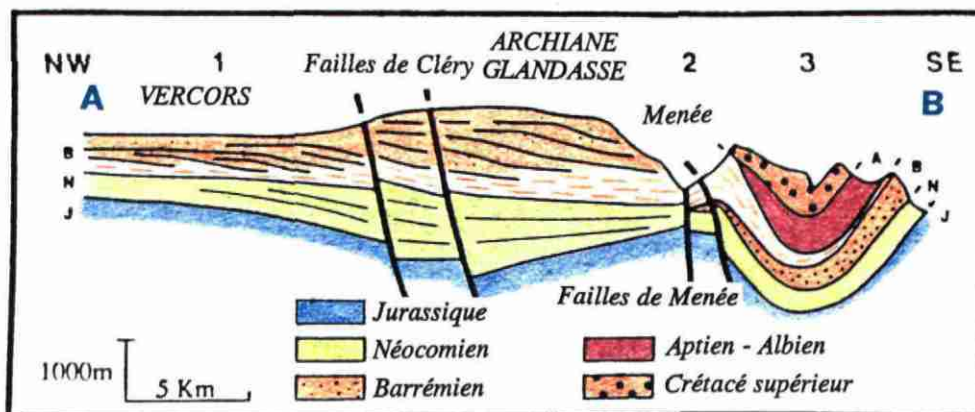
Figure 2

CADRE GEOLOGIQUE DE LA ZONE ETUDIEE



CARTE GEOLOGIQUE SCHEMATIQUE

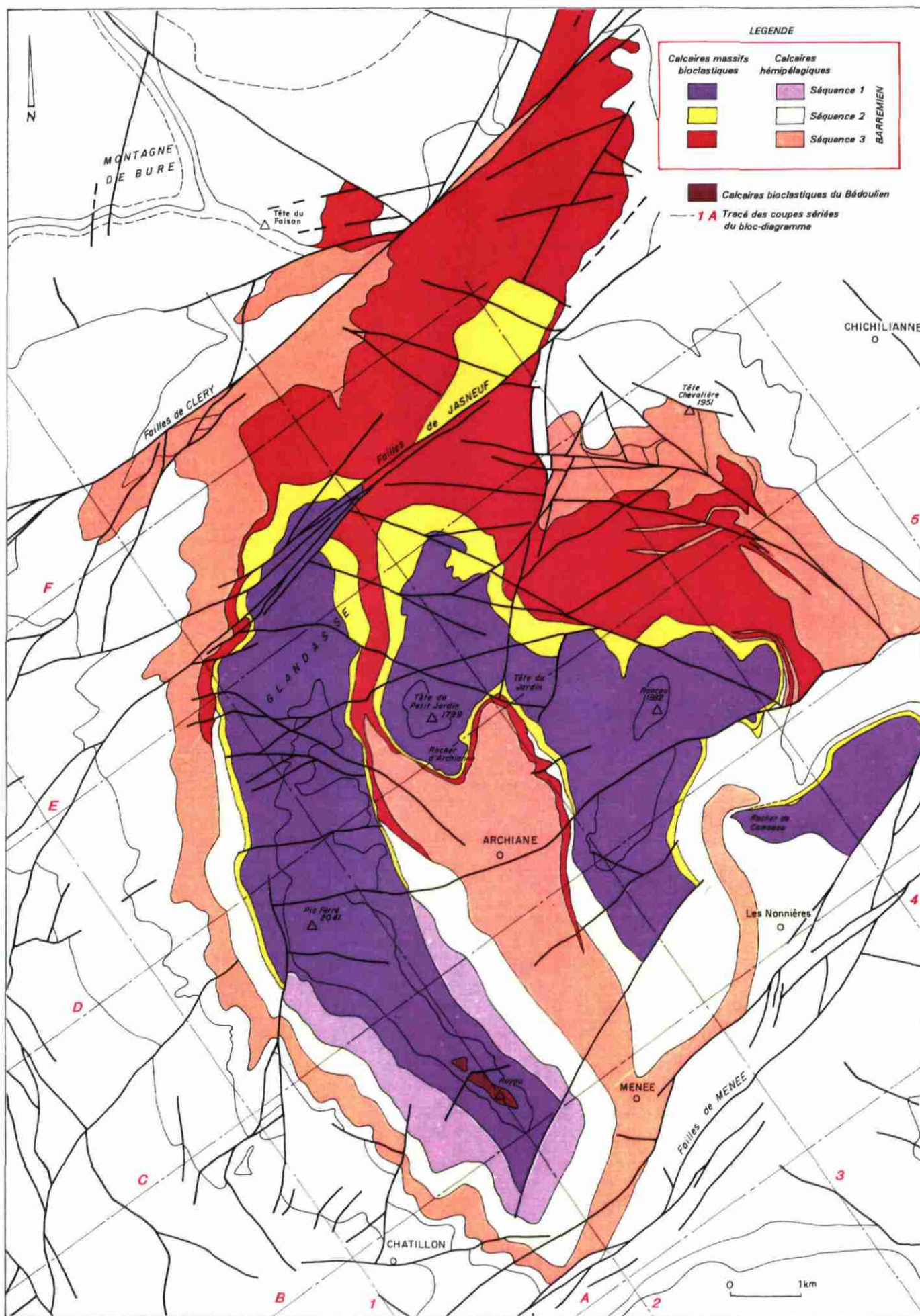
COUPE GEOLOGIQUE A B



(d'après Jacquin et al , 1991)

Figure 4

CARTE GEOLOGIQUE DE LA REGION D'ARCHIANE



LEGENDE DU BLOC-DIAGRAMME



Crétacé supérieur



*Calcaires bioclastiques
Calcaires argileux*

BEDOULIEN



Calcaires argileux

Séquences H6 , B1 , 2 , et 3 indifférenciées

Formations karstifiées (Unités 3, 4, 5, 6, 7)



*Calcaires bioclastiques
Calcaires argileux*

Séquence 3 BARREMIEN SUP.



*Calcaires bioclastiques
Calcaires argileux*

Séquence 2

BARREMIEN INF



*Calcaires bioclastiques
Calcaires argileux et calcarénites (turbidités)*

Séquence 1



Calcaires argileux

Séquence H6

BARREMIEN BASAL



Assise marno-calcaire

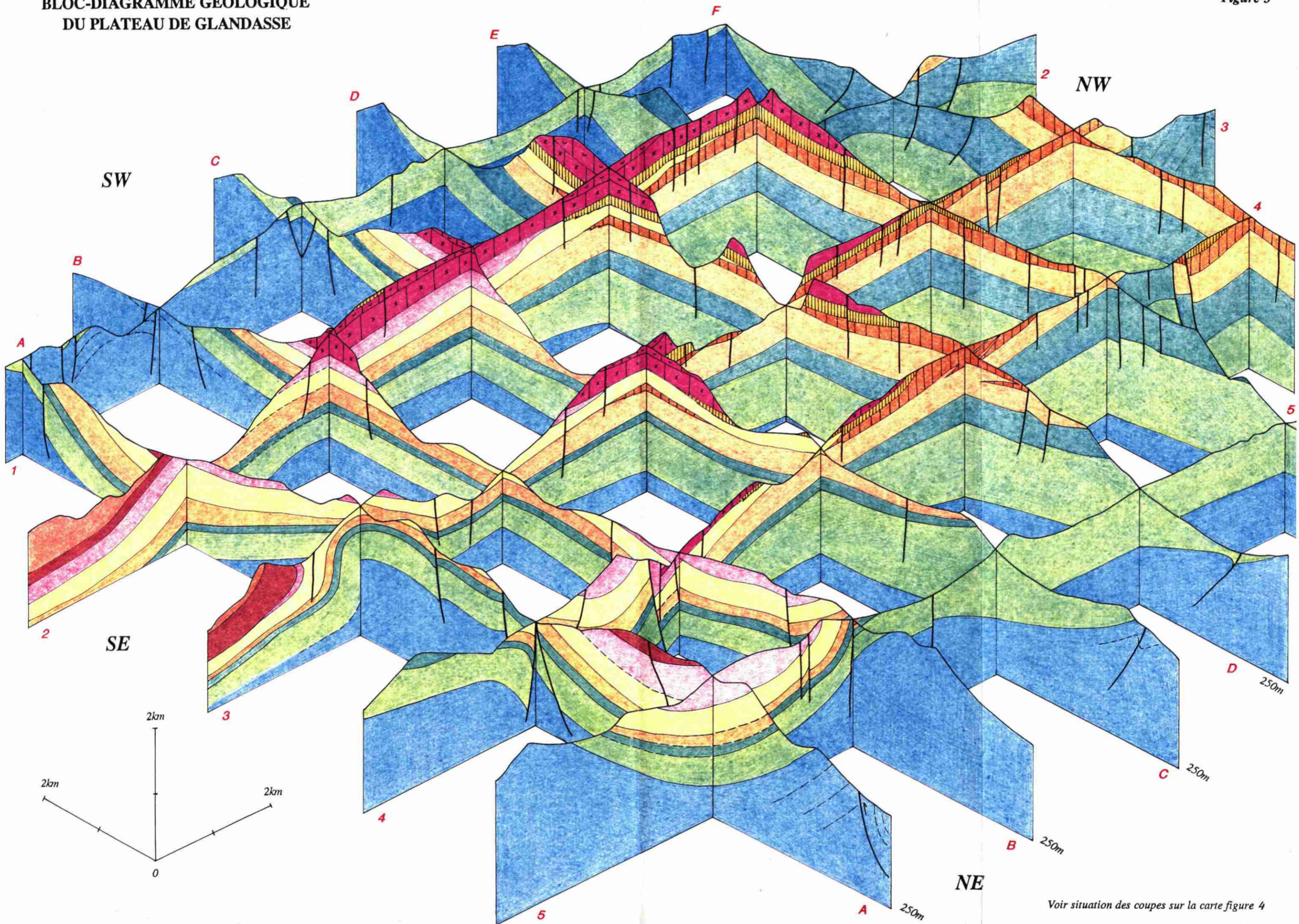
NEOCOMIEN



Calcaire et marne du Jurassique

**BLOC-DIAGRAMME GEOLOGIQUE
DU PLATEAU DE GLANDASSE**

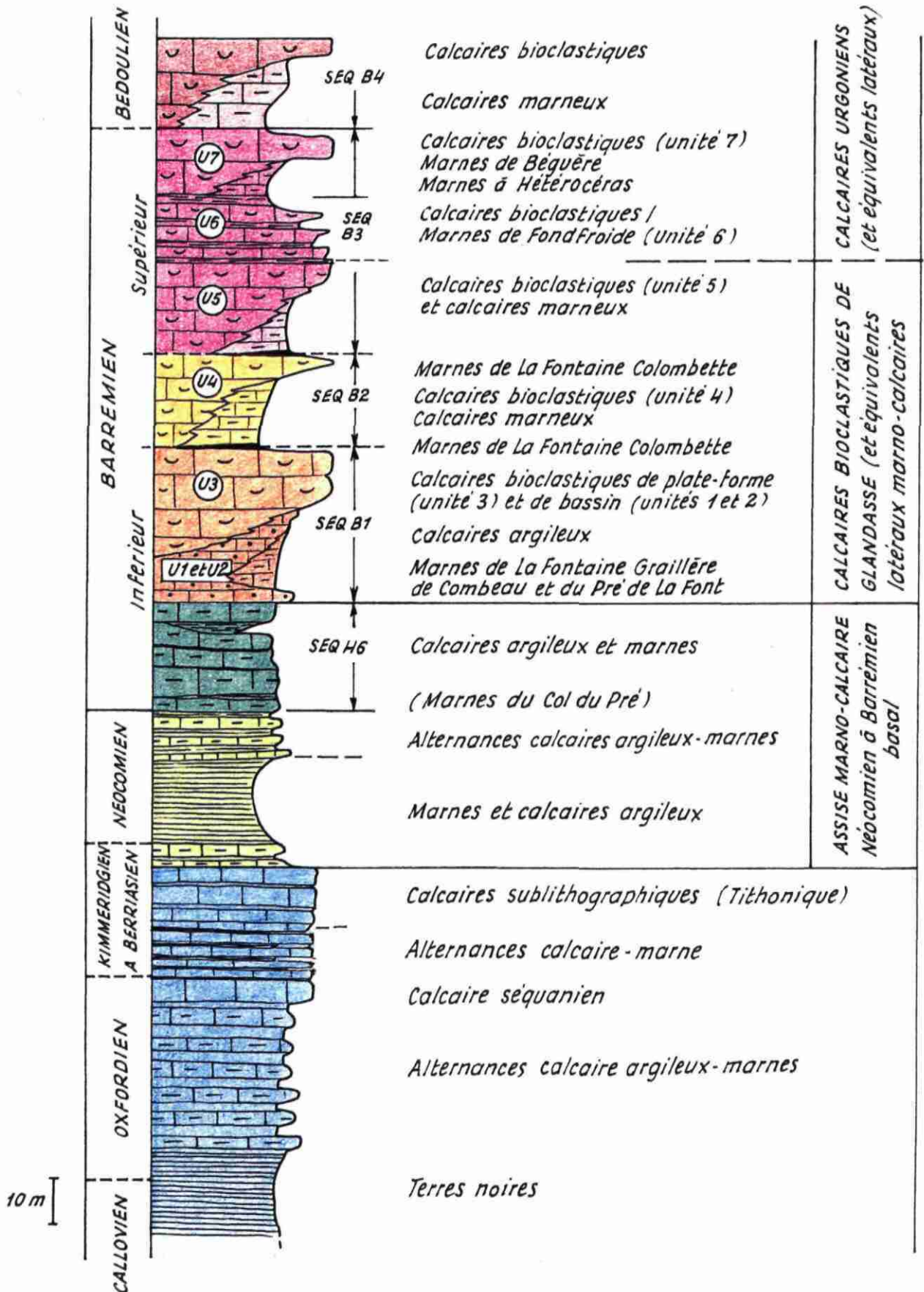
Figure 5



Voir situation des coupes sur la carte figure 4

Figure 6

**LOG STRATIGRAPHIQUE DE LA SERIE
JURASSIQUE /CRETACE INFERIEUR
DE LA REGION D'ARCHIANE - GLANDASSE**

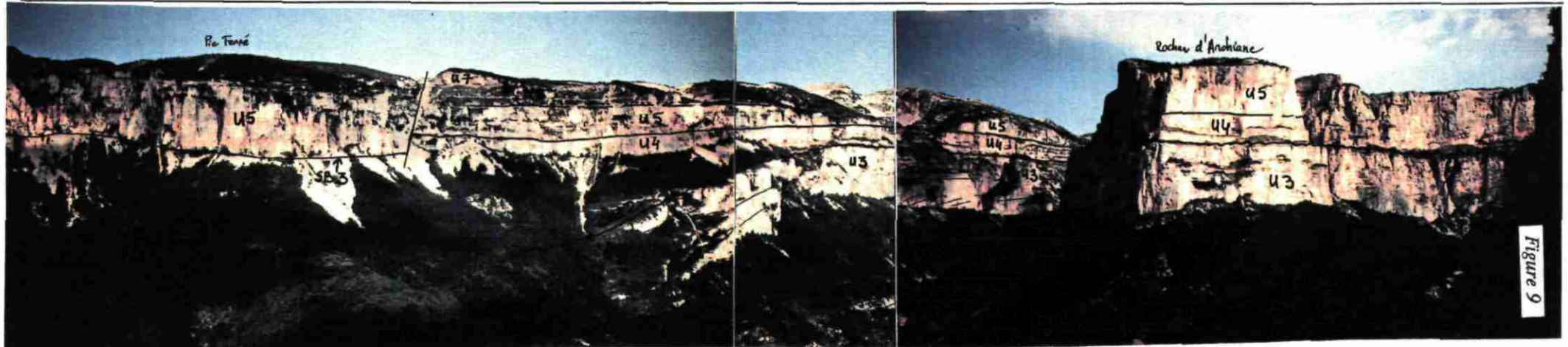
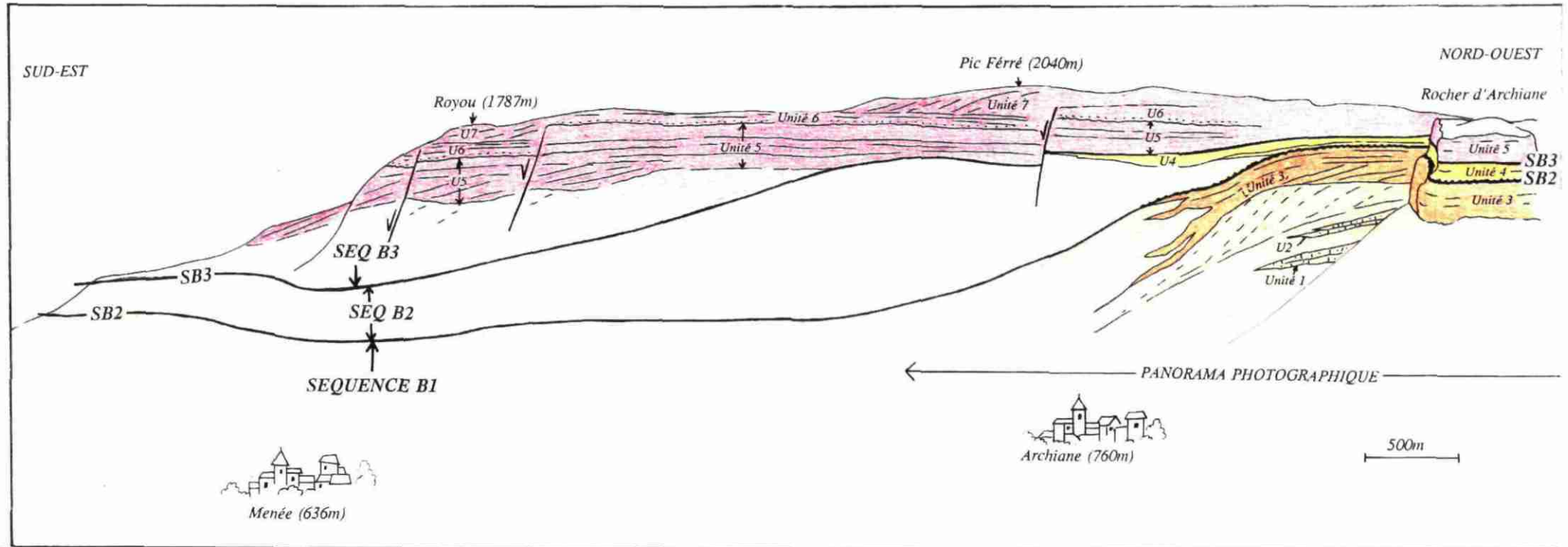


**TABLEAU SYNTHETIQUE DES DIFFERENTES UNITES STRATIGRAPHIQUES DU BARREMIEN
DANS LA REGION D'ARCHIANE**

AGE	SEQUENCE	FORMATIONS CALCAIRES			FORMATIONS MARNEUSES		
		Unités sédimentologiques	Unités lithostratigraphiques	Unités cartographiques	Unités lithostratigraphiques	Unités cartographiques	
BEDOULIEN	B4			N5B			
BARREMIEN	SUPERIEUR	7	Calcaires urgoniens	N4bB	Marnes de Bèguère Vire à Hétérocéras Marnes de Plainée	N4bA	
		6					
		5		N4a3b			
	INFERIEUR	Supérieur	4	Calcaires bioclastiques de Glandasse	N4a2B	Marnes de la Fontaine Colombette (partie sup.)	N4a2E
			3			Marnes de la Fontaine Colombette (partie inf.) Marnes de la Fontaine Graillère (partie sup.) Marnes de Combeau et de Fontaine Graillère (partie inf.) Marnes du Pré de la Font	N4a2 A,B,C,D
		Moyen	1 et 2	Calcaires bioclastiques de la Tête Chevalière	N4a1B	Marnes du col du Pré	N4a1 (p.p)
Basal	H6				Marnes du col de la Pouterle	N4a1 (p.p)	

Figure 8

GEOMETRIE DES UNITES CARBONATEES BARREMIENNES SUR LE VERSANT EST DE LA VALLEE D'ARCHIANE



COUPE GEOLOGIQUE NW-SE PASSANT PAR LA SOURCE D'ARCHIANE

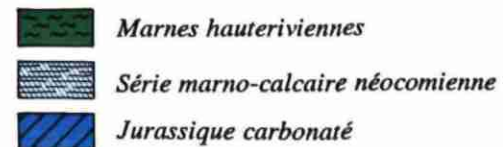
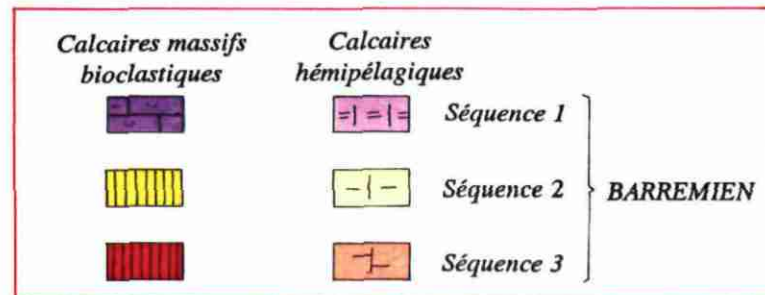
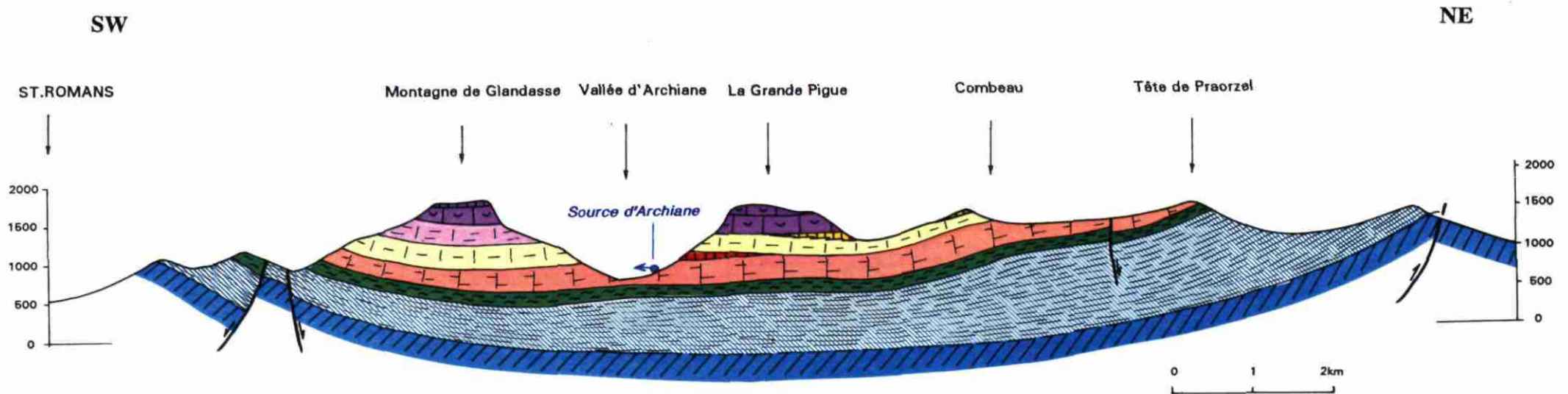
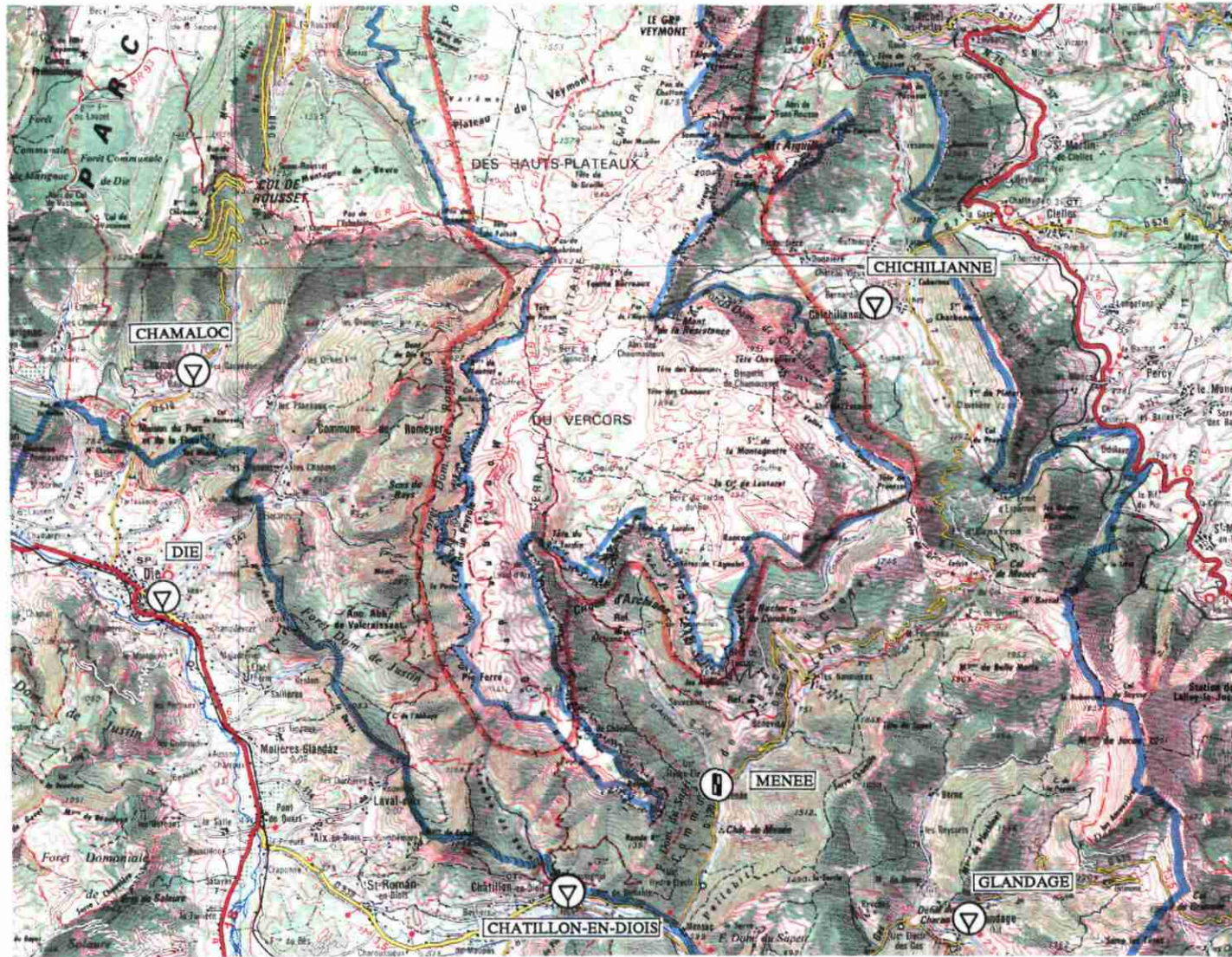


Figure 10

SITUATION DES STATIONS METEOROLOGIQUES ET DES STATIONS DE JAUGEAGE





-  Station météo
-  Station de jaugeage

Figure 11

PRECIPITATIONS MOYENNES MENSUELLES A CHICHILIANNE
(calculées sur la période 1971 - 1990)

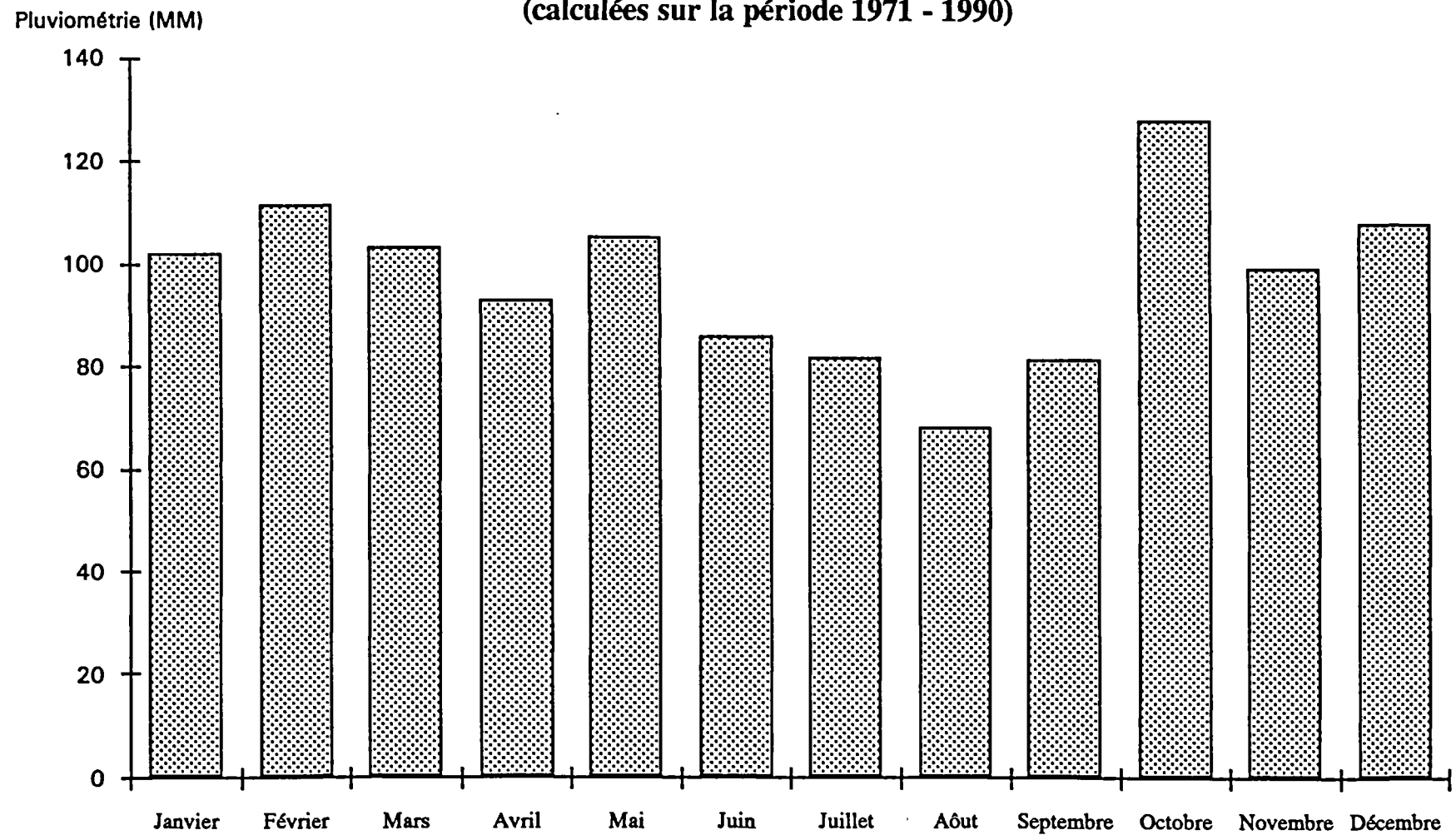
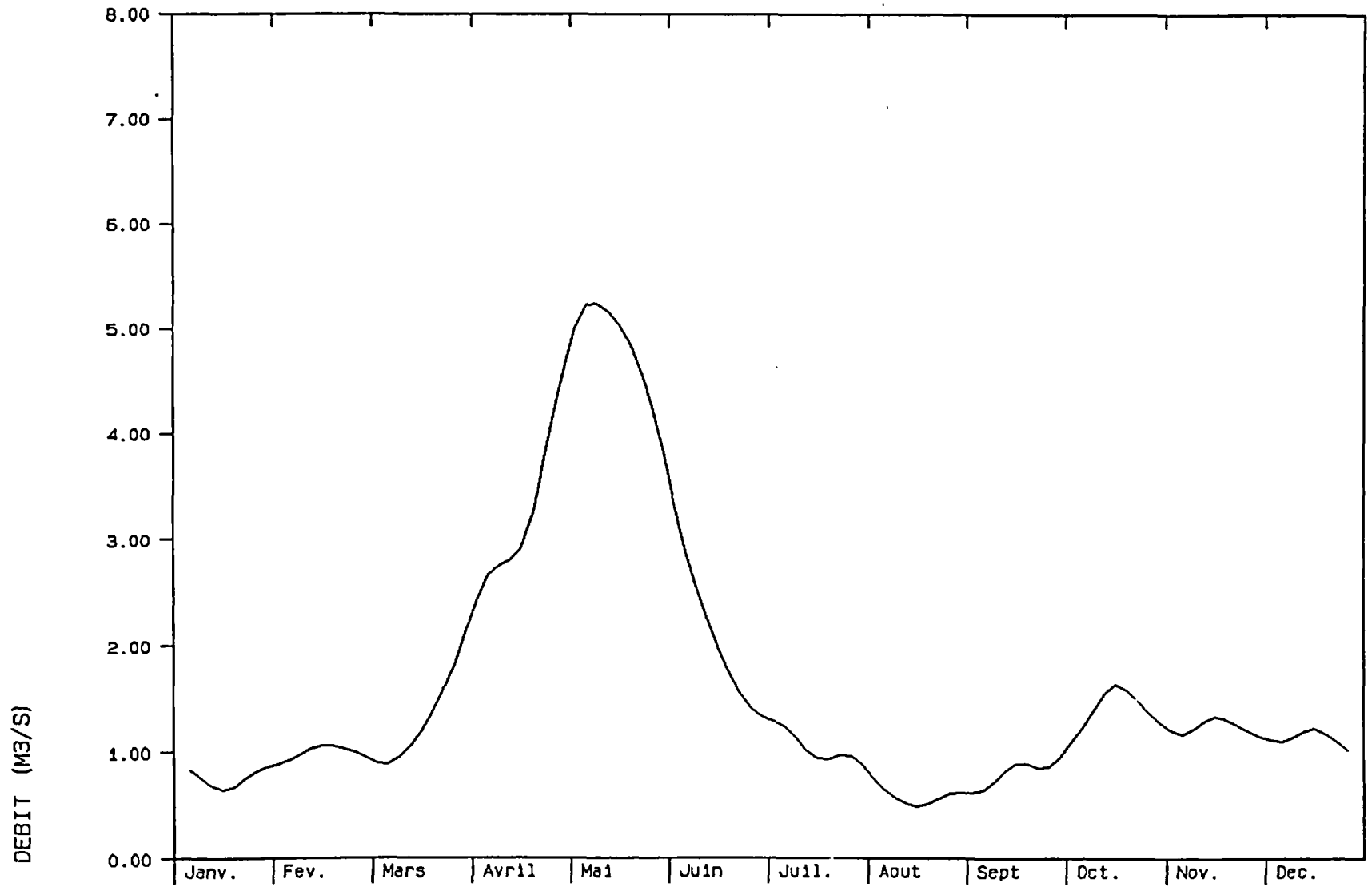


Figure 12

Nom de la station : ARCHIANE

Periode : 1971 1990

Calcul : decadaire

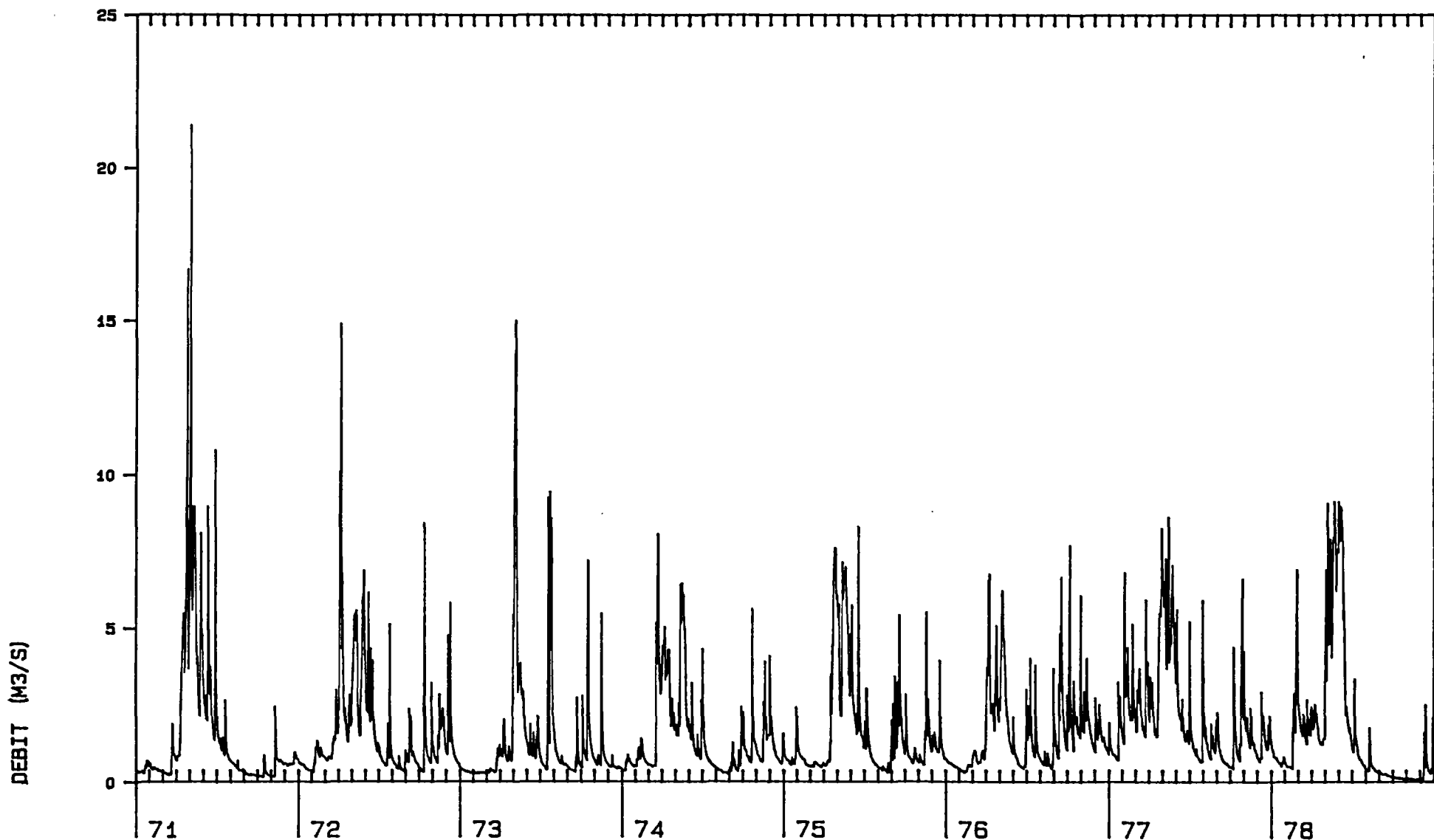


DEBITS MOYENS DECADAIRES DE L'ARCHIANE

Nom de la station : ARCHIANE

Minimum : 0.07 le 18/11/1978

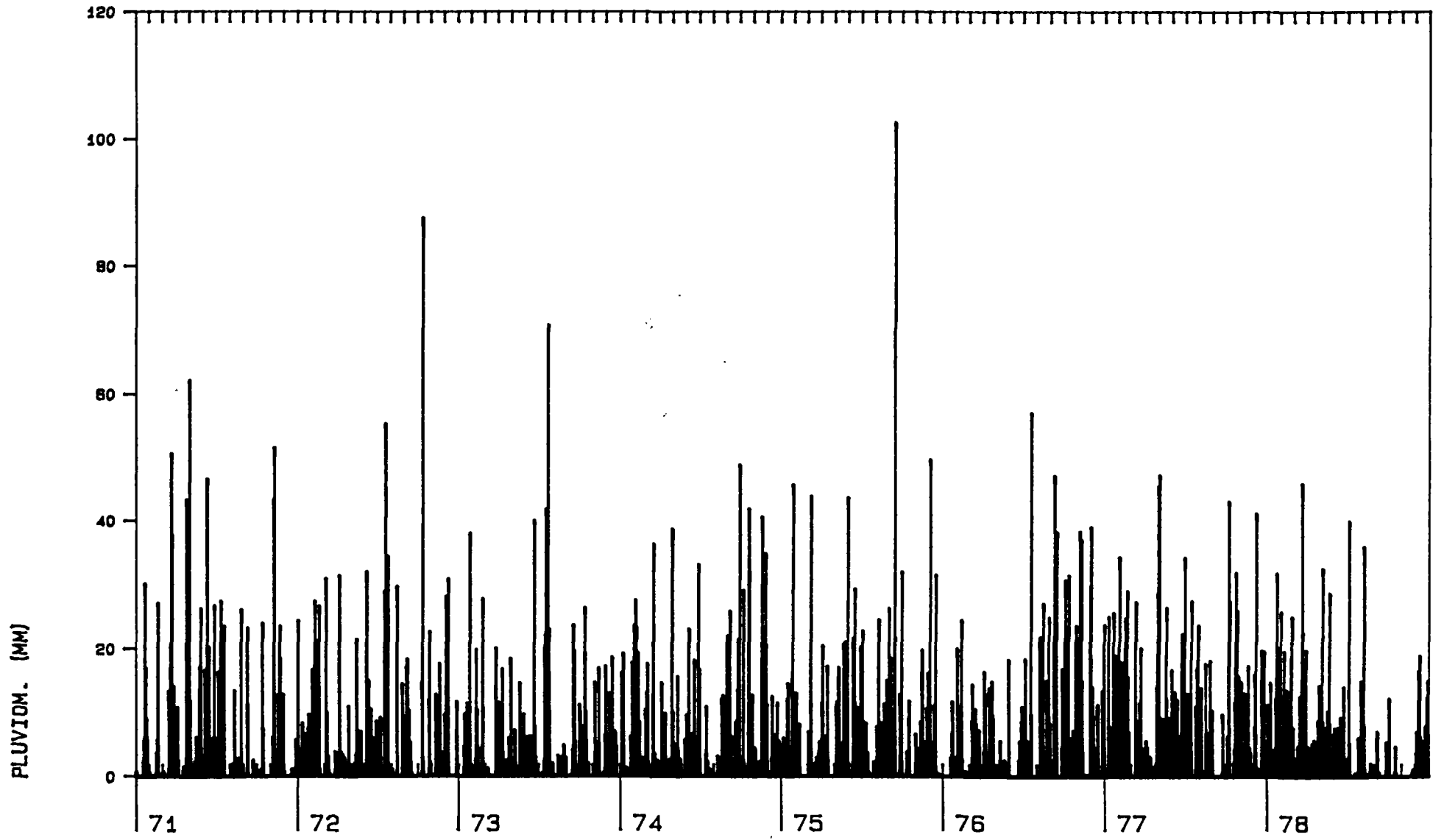
Maximum : 21.40 le 02/05/1971



CHRONIQUE DES DEBITS JOURNALIERS DE L'ARCHIANE DE 1971 A 1978

Nom de la station : CHICHILIANE

Maximum : 102.70 le 14/09/1975

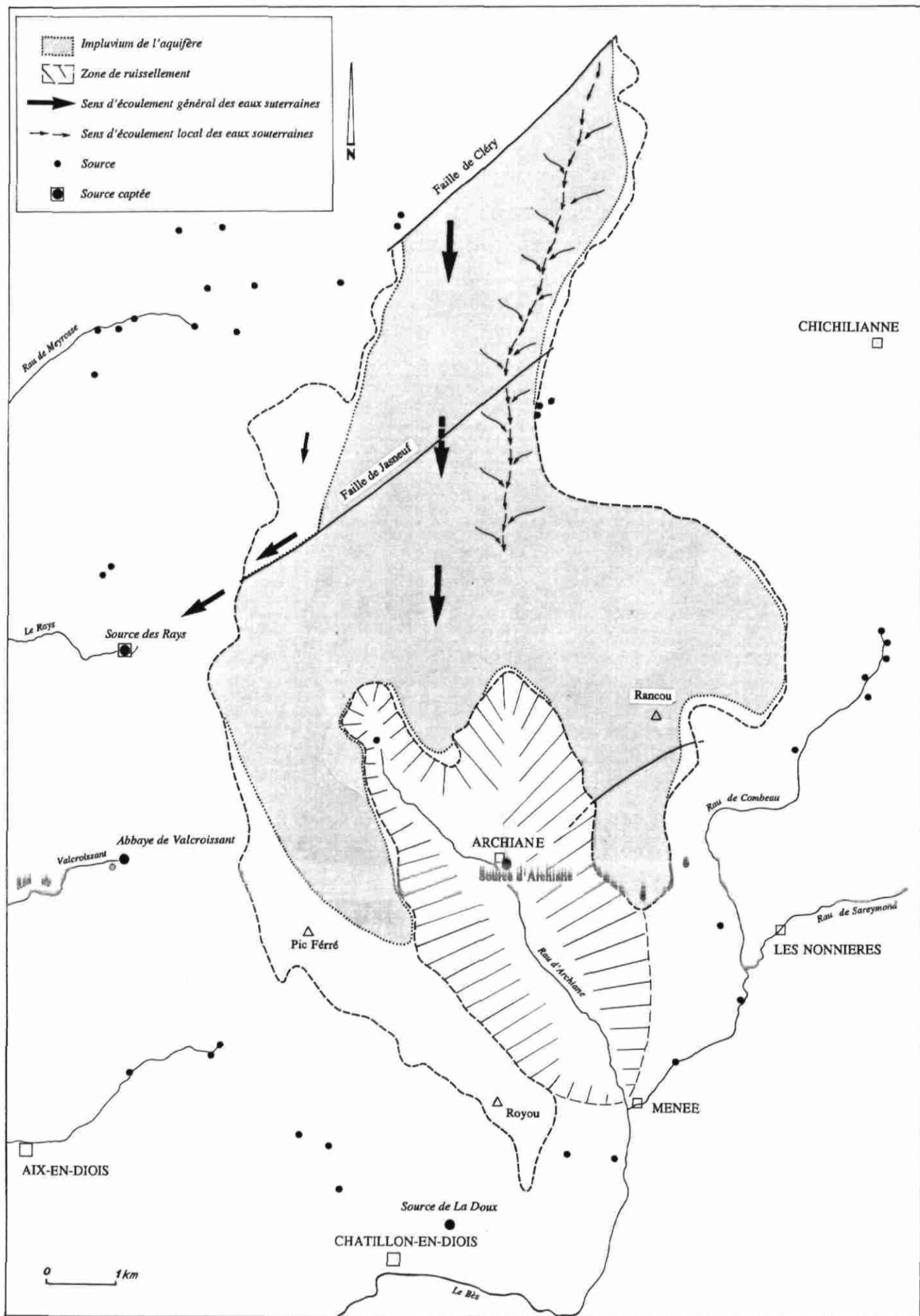


PRECIPITATIONS JOURNALIERES A CHICHILIANNE DE 1971 A 1978

Figure 15

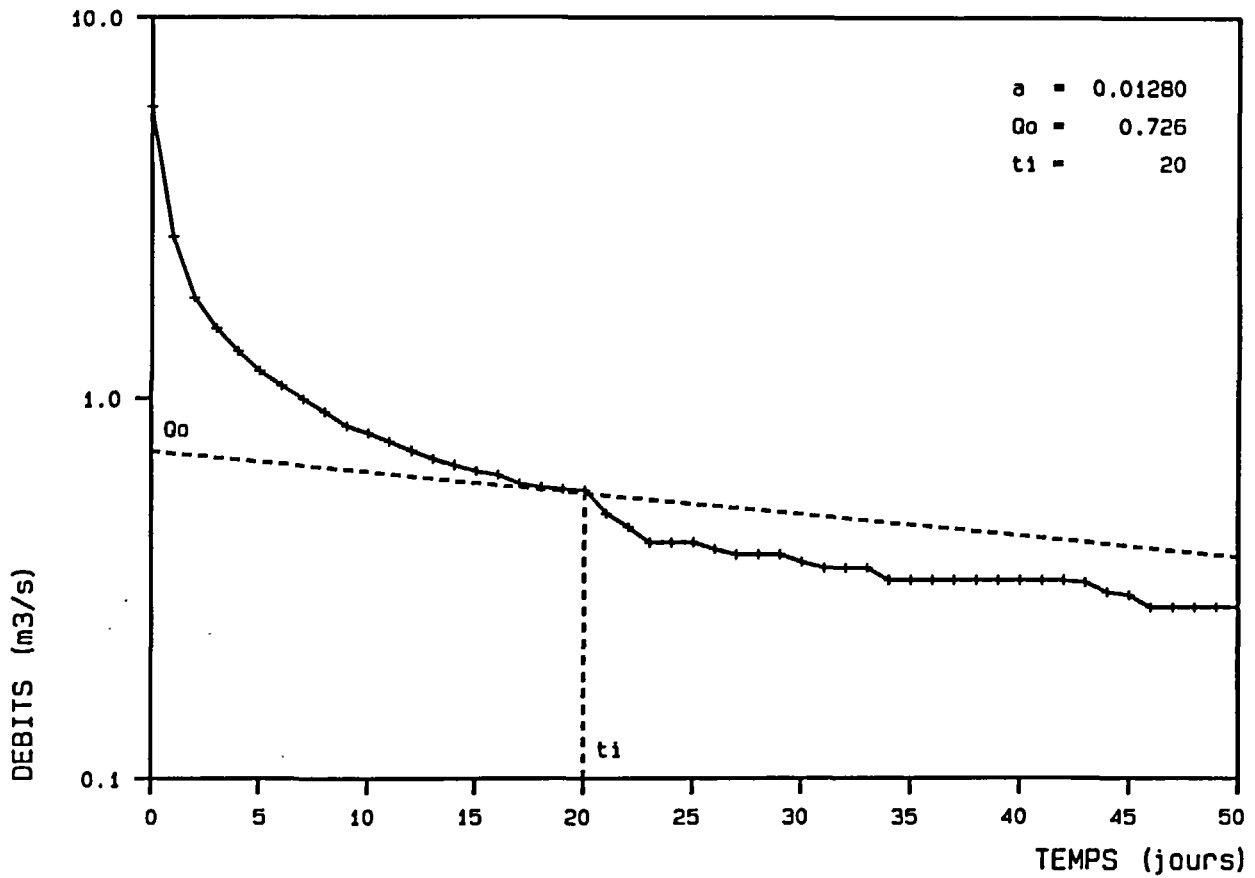
KARST D'ARCHIANE : LIMITES DE L'IMPLUVIUM ET LOCALISATION DES SOURCES

Figure 16

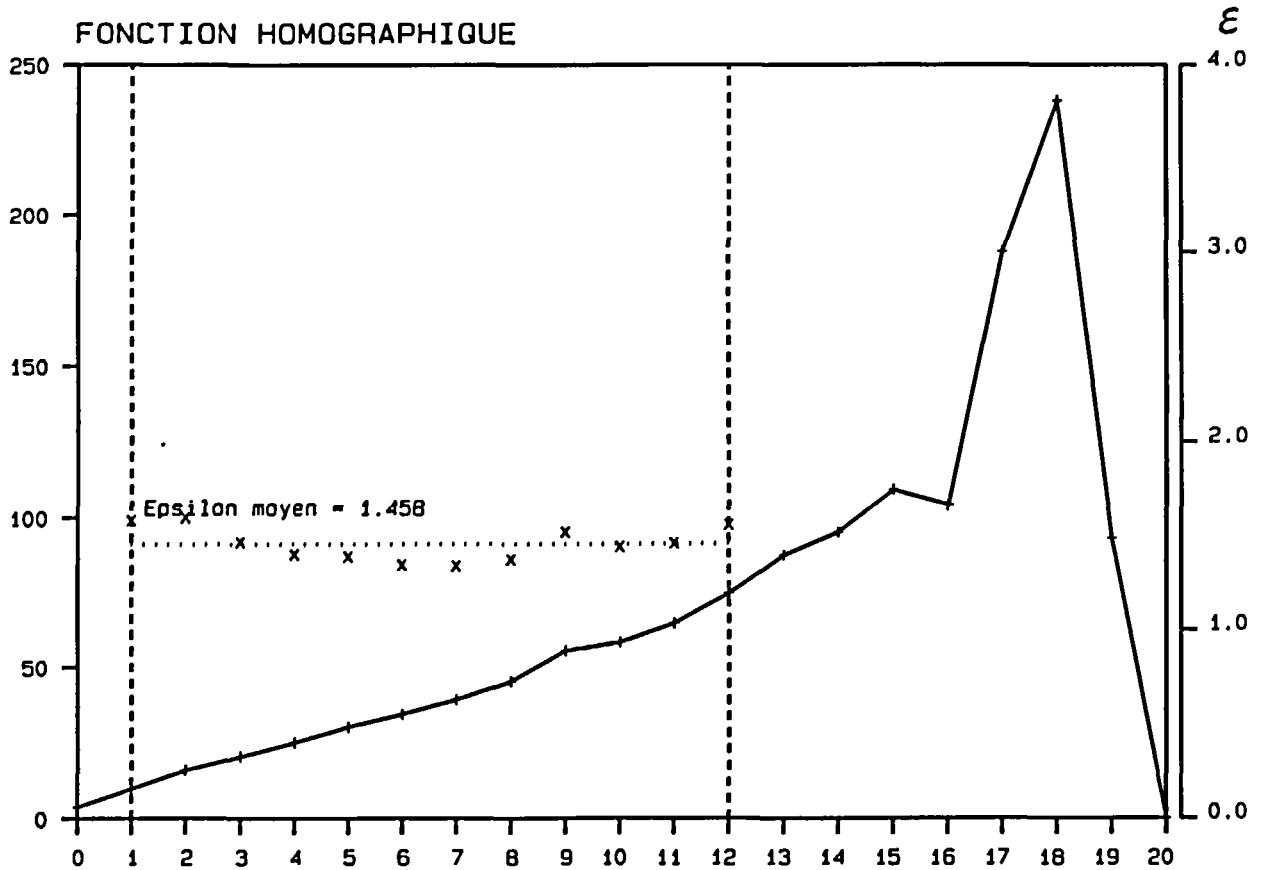


ETUDE DE LA COURBE DE RECESSION NIVALE DU CYLE 73

AJUSTEMENT LOI DE MAILLET

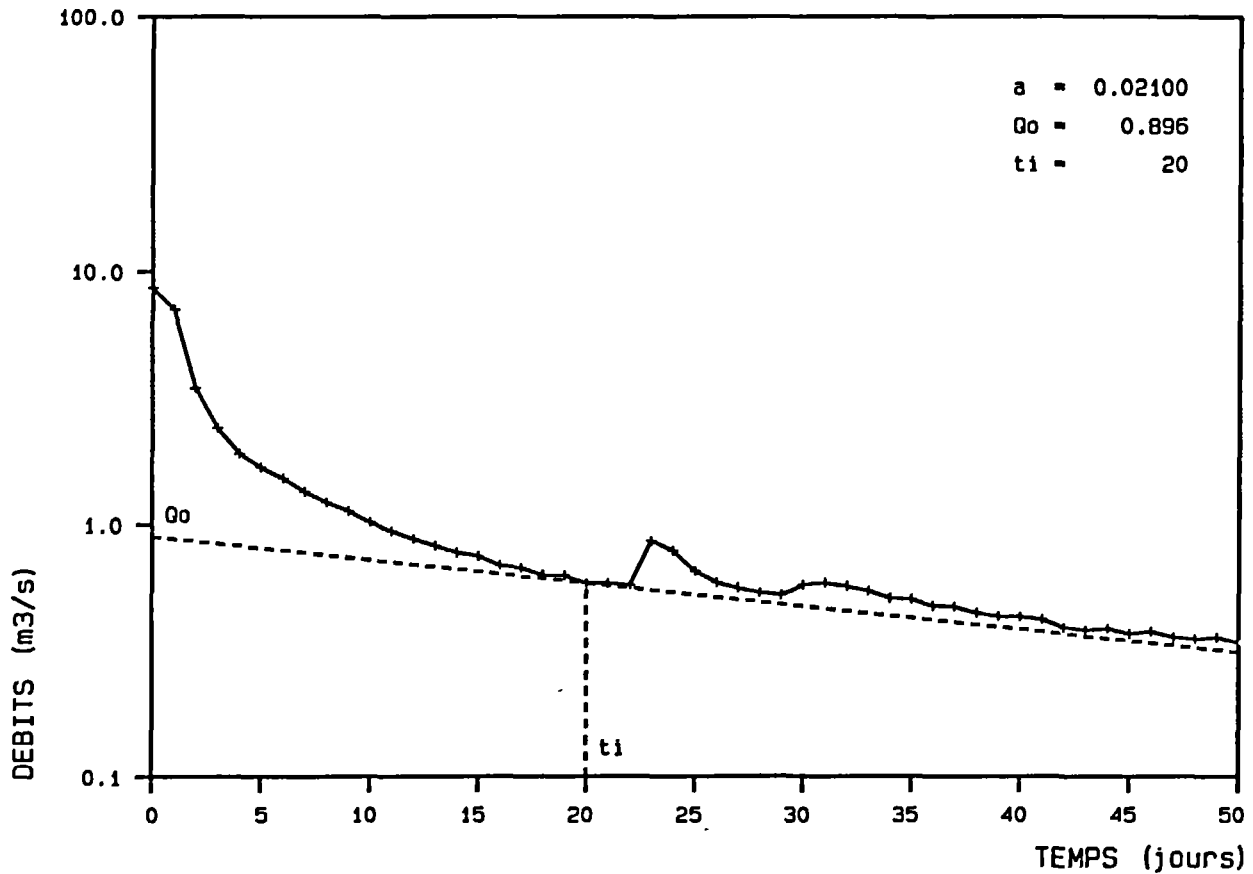


FONCTION HOMOGRAPHIQUE

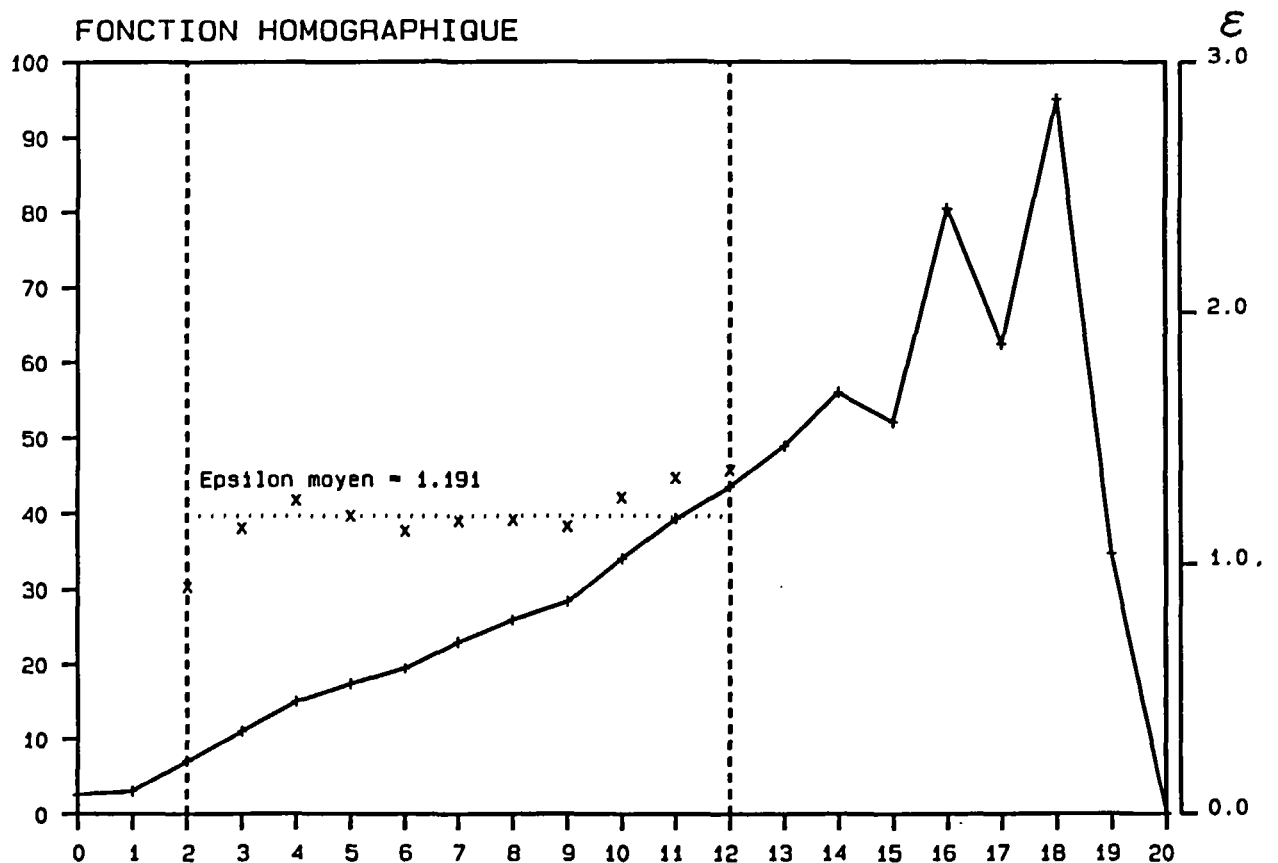


ETUDE DE LA COURBE DE RECESSION ESTIVALE DU CYCLE 73

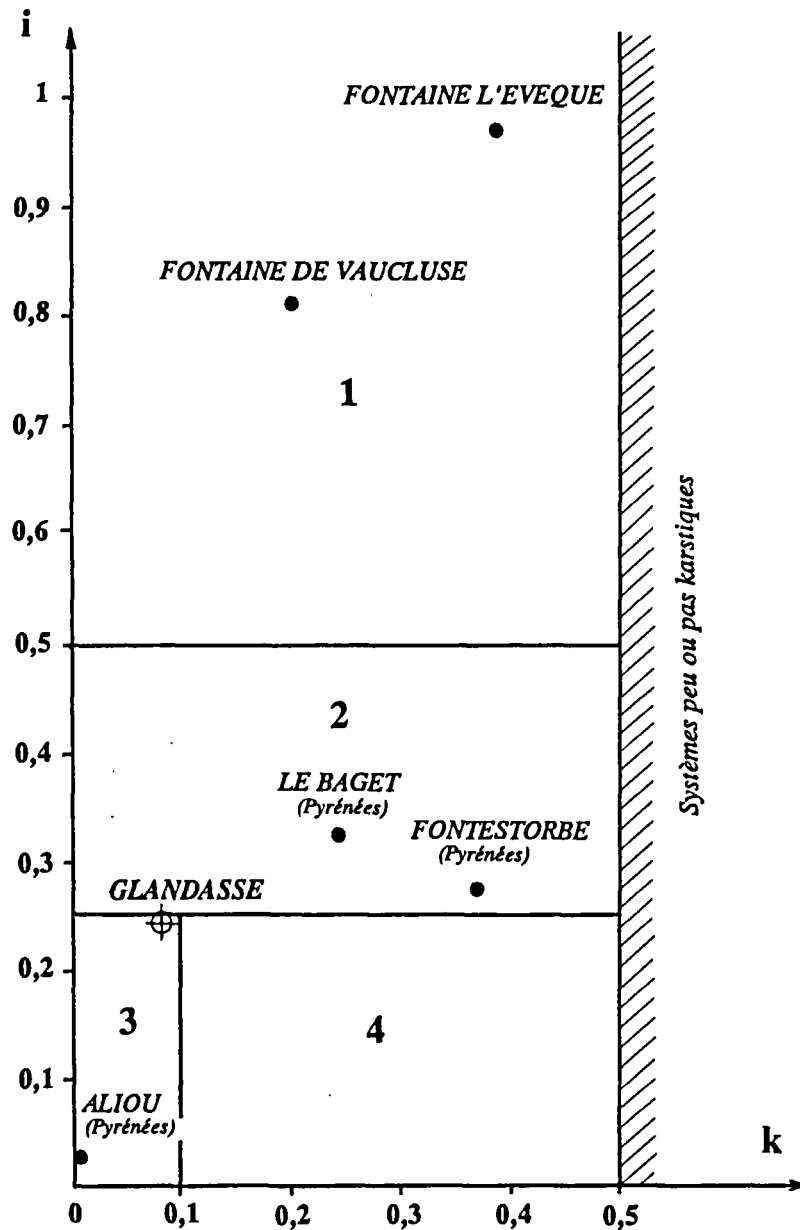
AJUSTEMENT LOI DE MAILLET



FONCTION HOMOGRAPHIQUE

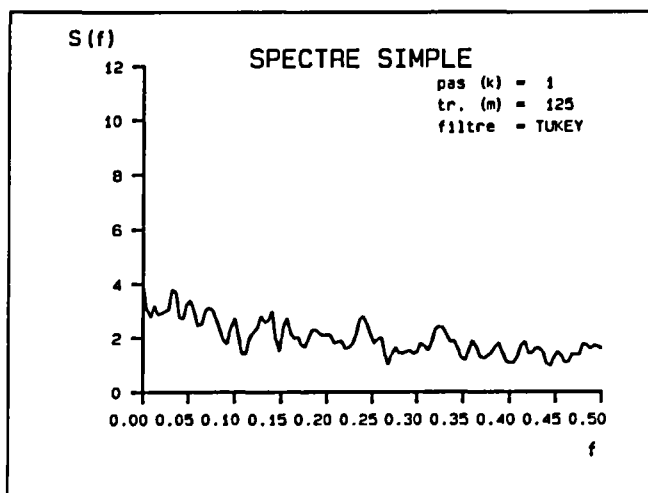
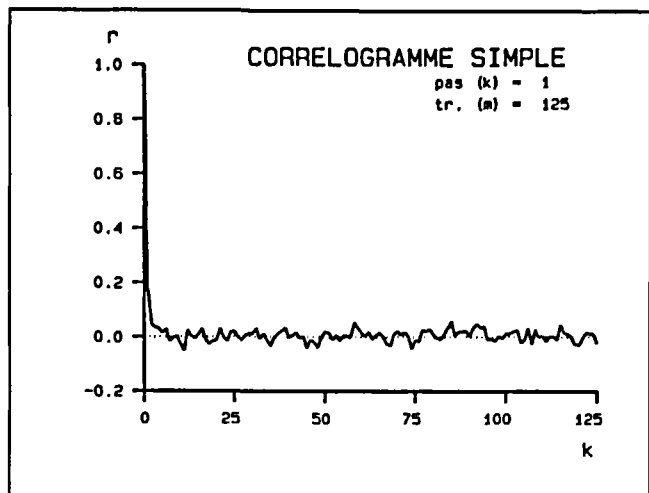


POSITION DU SYSTEME KARSTIQUE DE GLANDASSE DANS LA CLASSIFICATION DE A.MANGIN

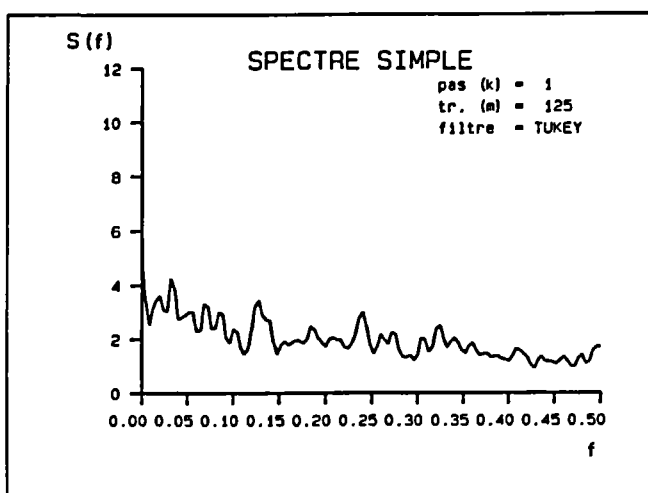
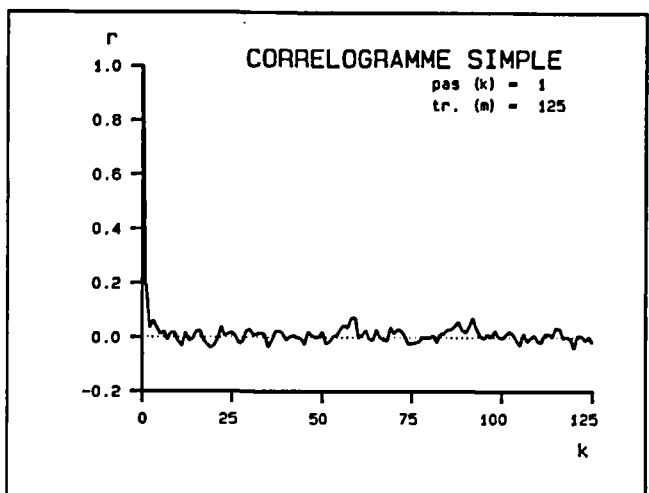


1. Systèmes complexes
2. Systèmes plus karstifiés en amont qu'en aval avec des retards dans l'alimentation dus, soit à des terrains non karstiques, soit à une couverture neigeuse importante.
3. Systèmes très karstifiés en aval, domaine des réseaux spéléologiques très développés.
4. Réseaux spéléologiques bien développés débouchant en aval sur un important karst noyé.

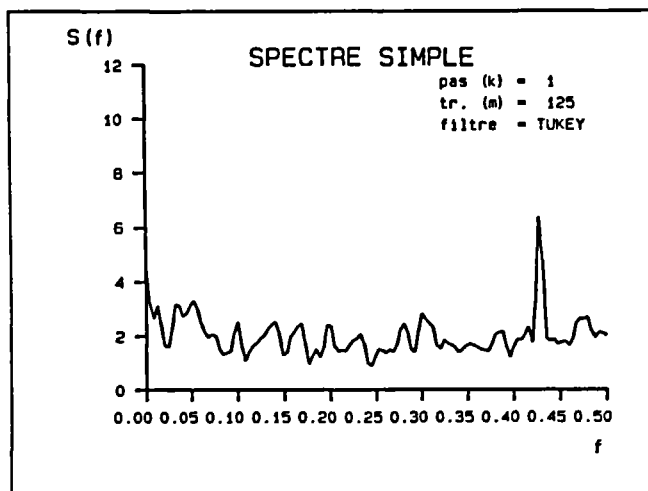
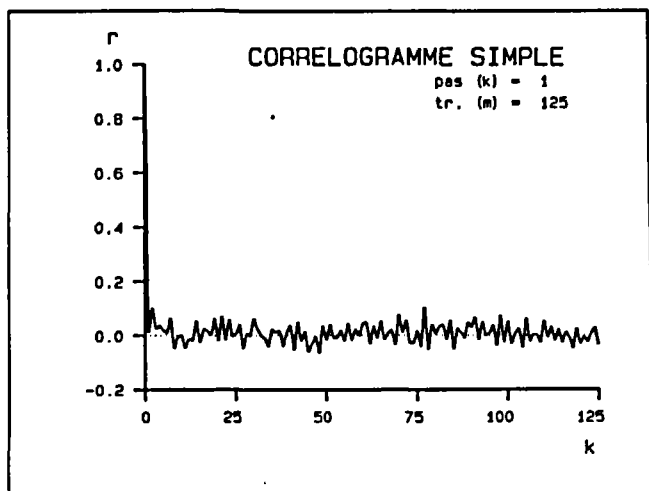
ANALYSE DE LA PLUVIOMETRIE DES STATIONS DE CHICHILIANNE , VILLARD ET ARCHIANE



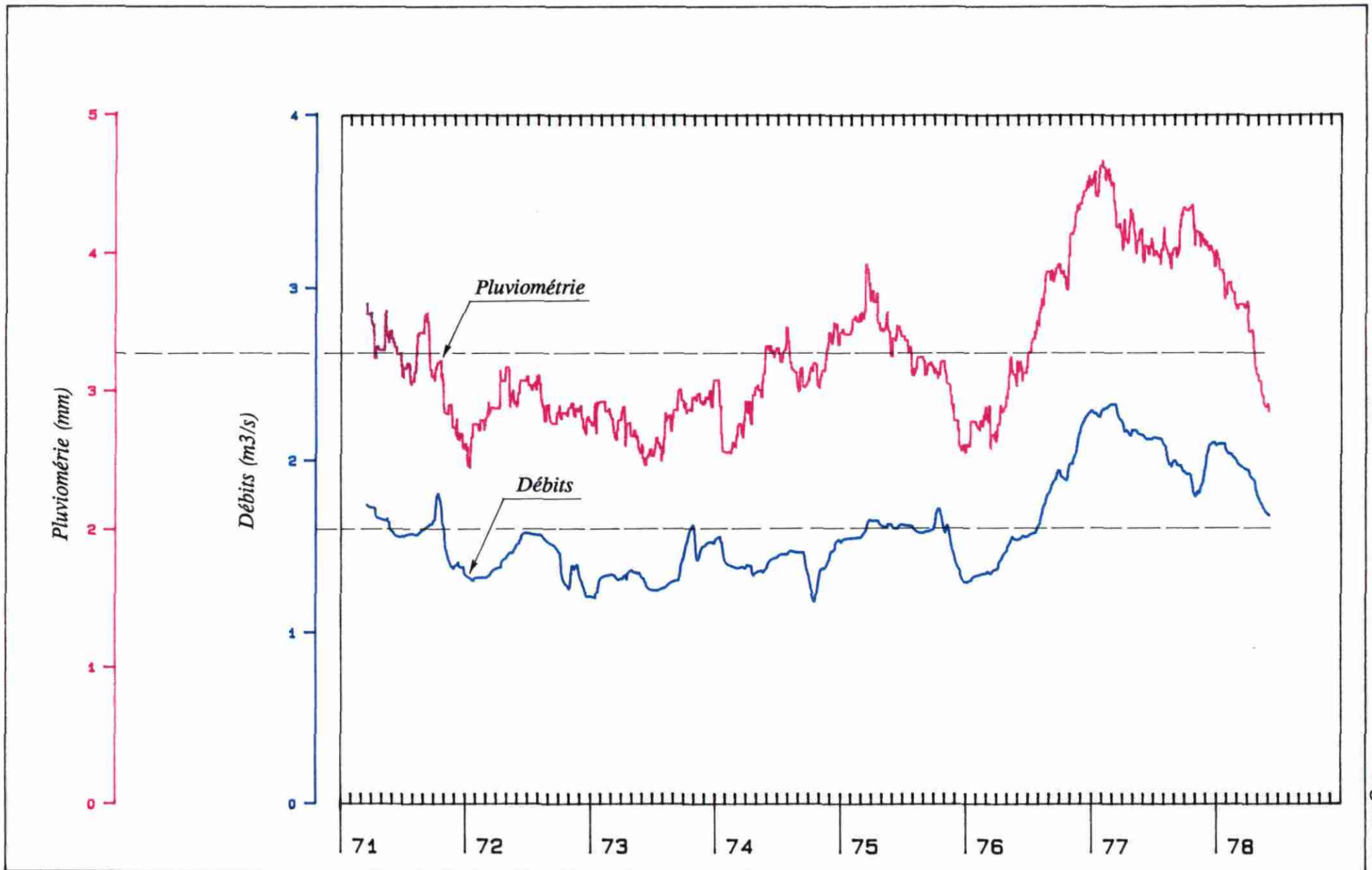
STATION DE CHICHILIANNE



STATION DE VILLARD

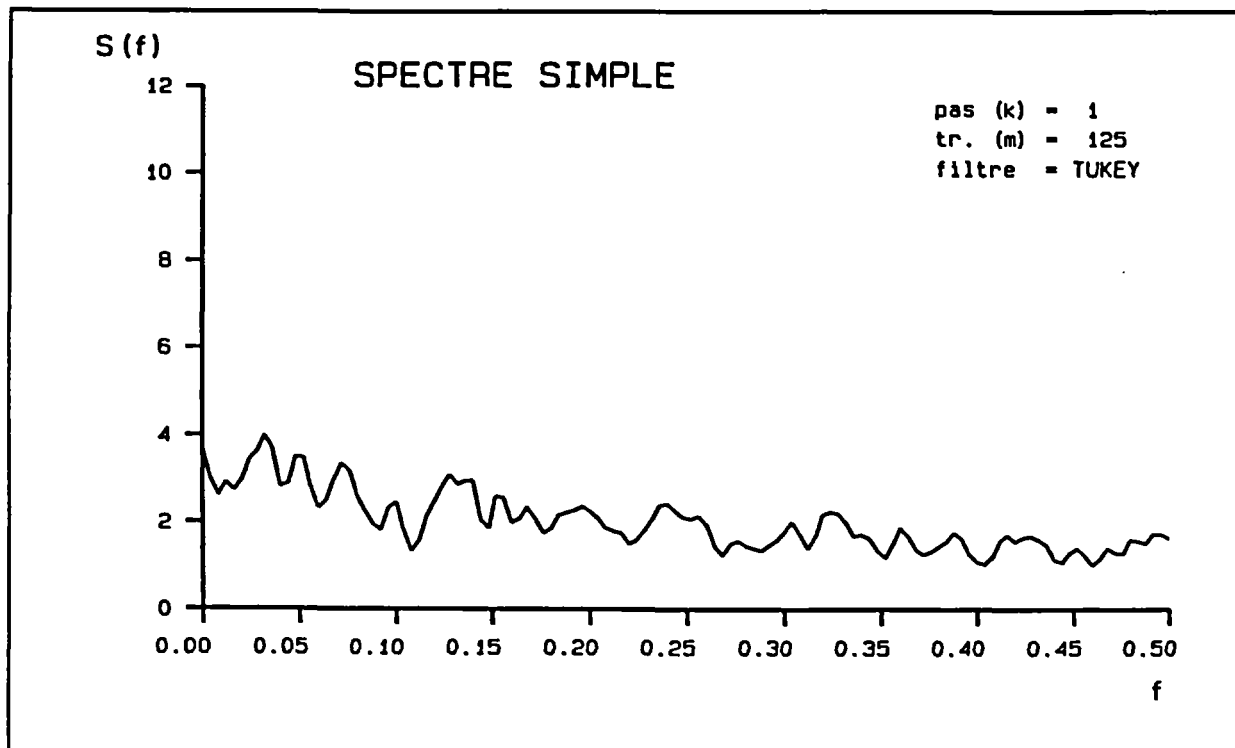
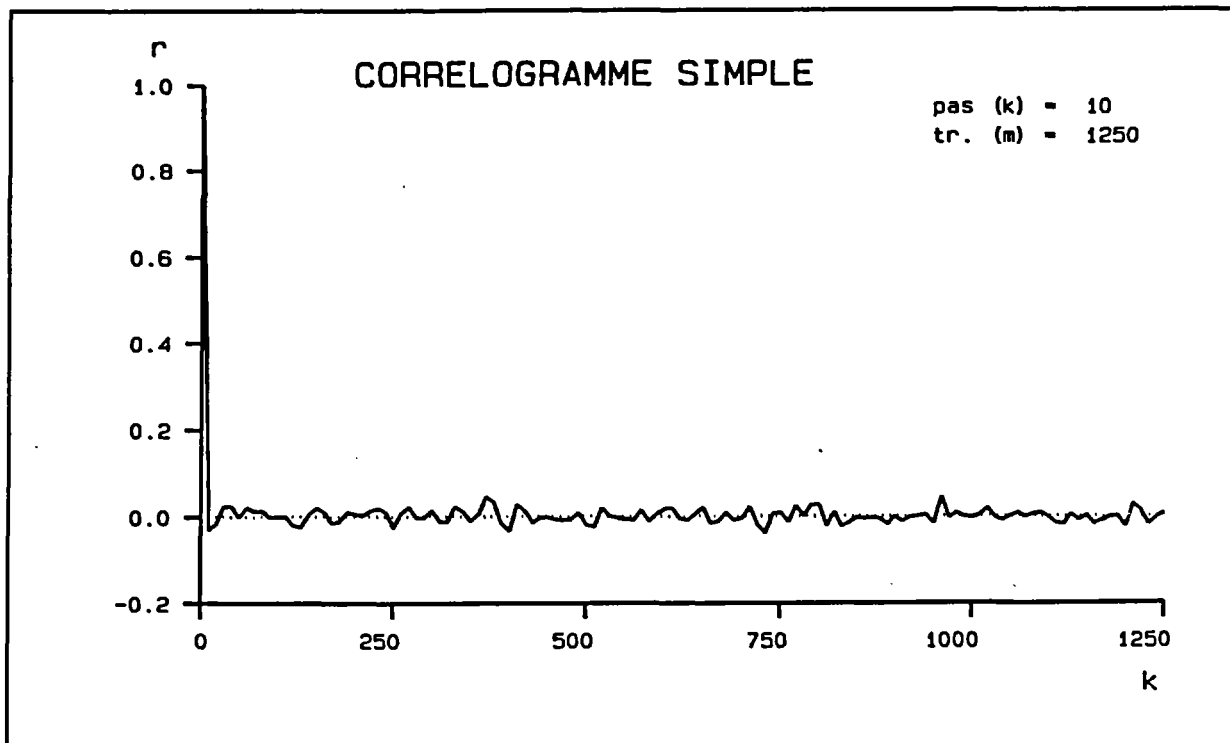


STATION D'ARCHIANE

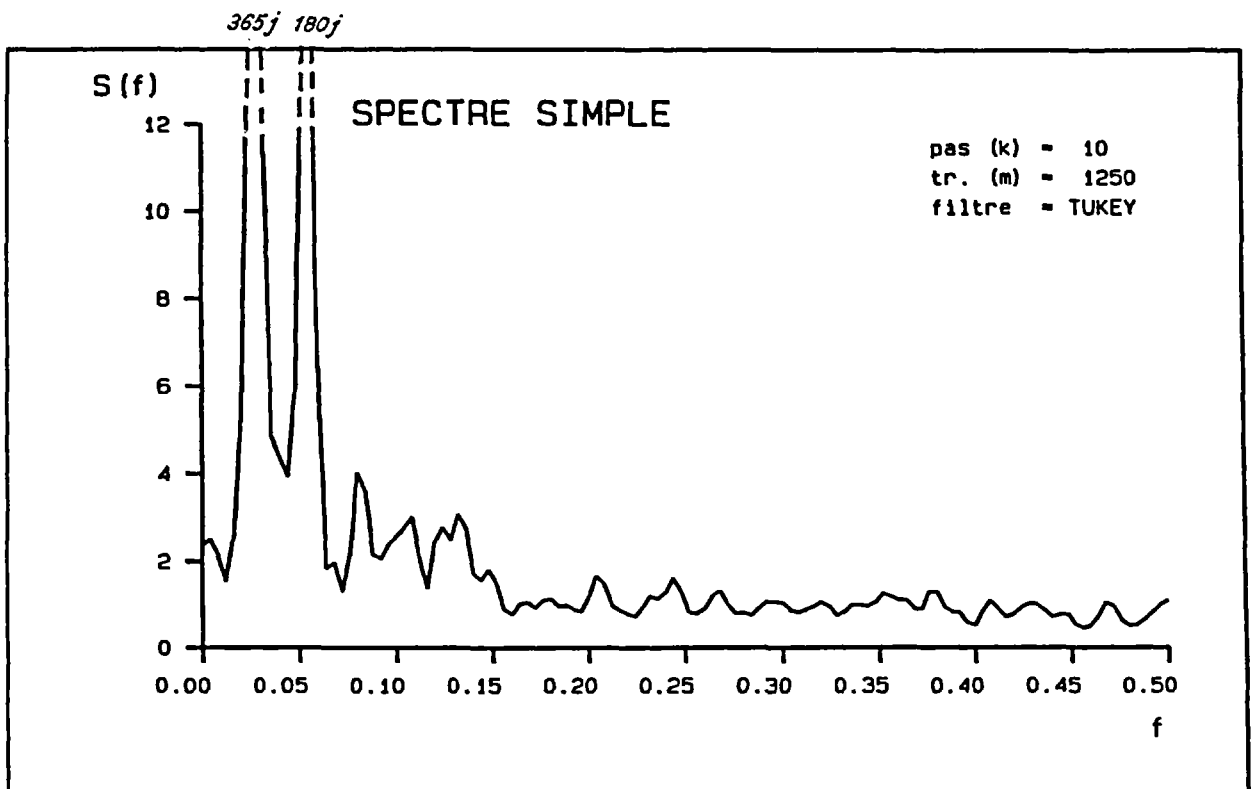
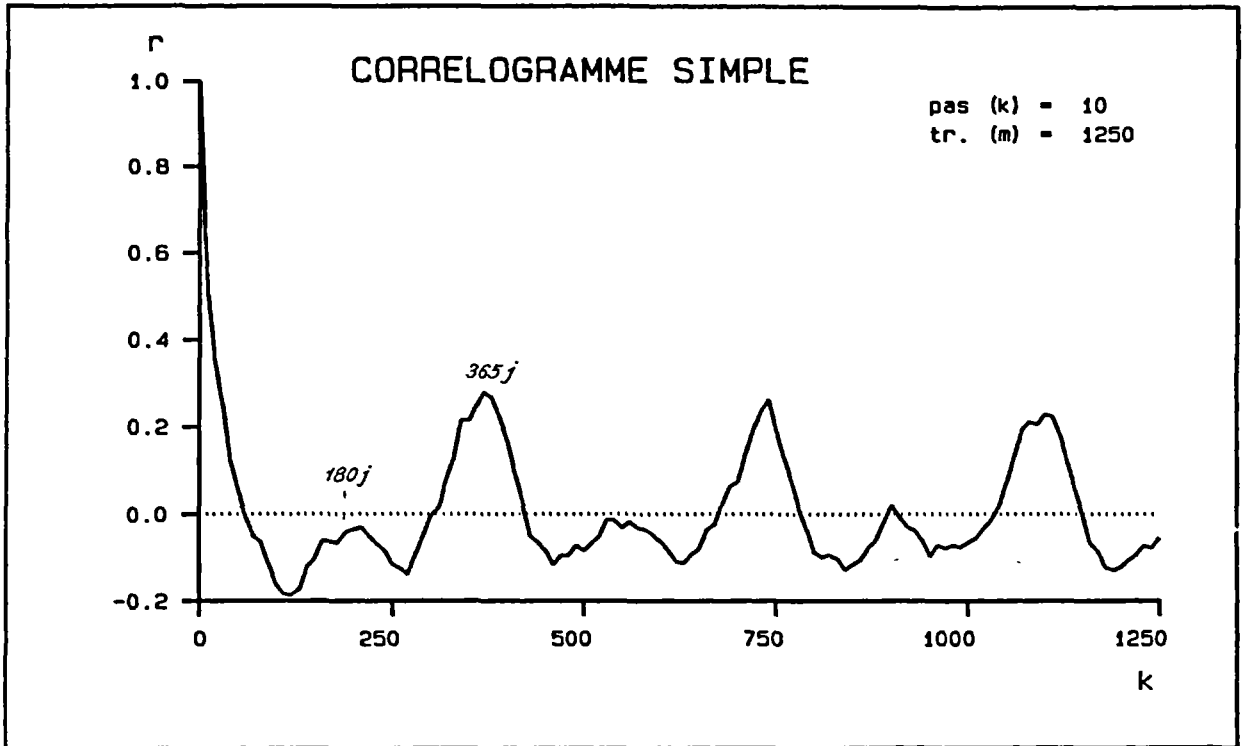


MOYENNES MOBILES DE LA PLUIE A CHICHILIANNE ET DES DEBITS A ARCHIANE

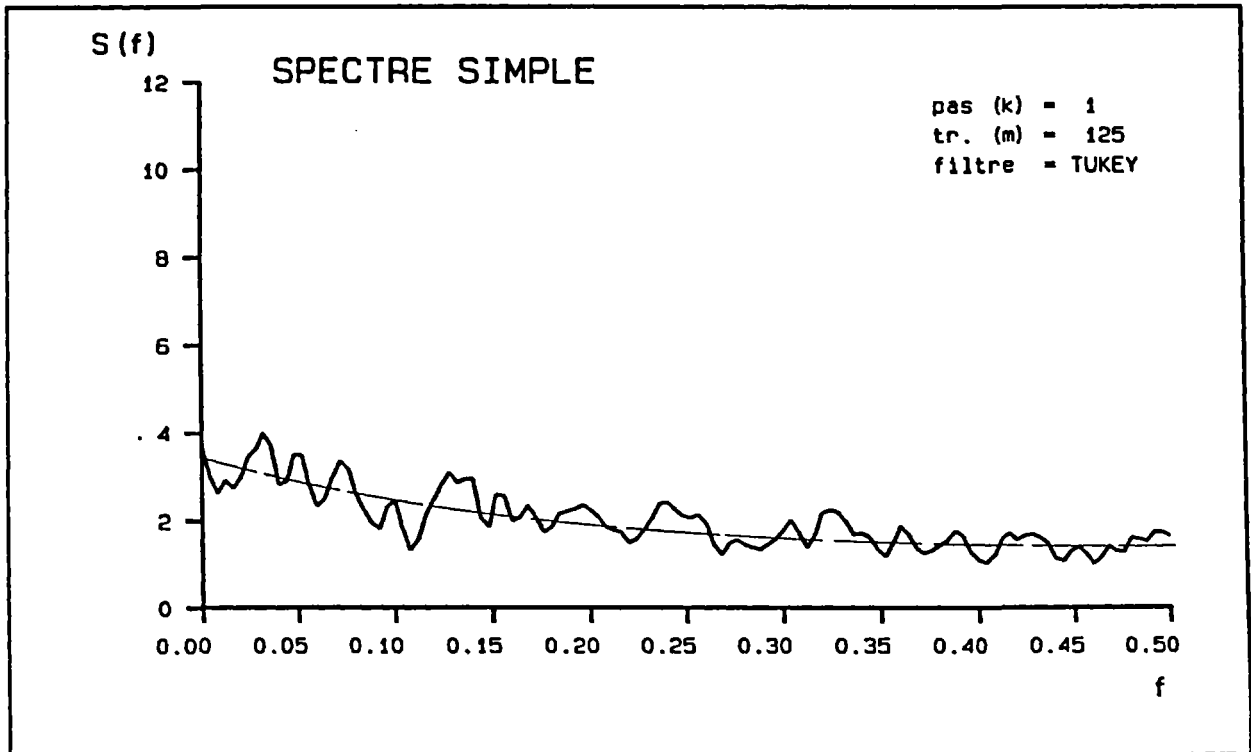
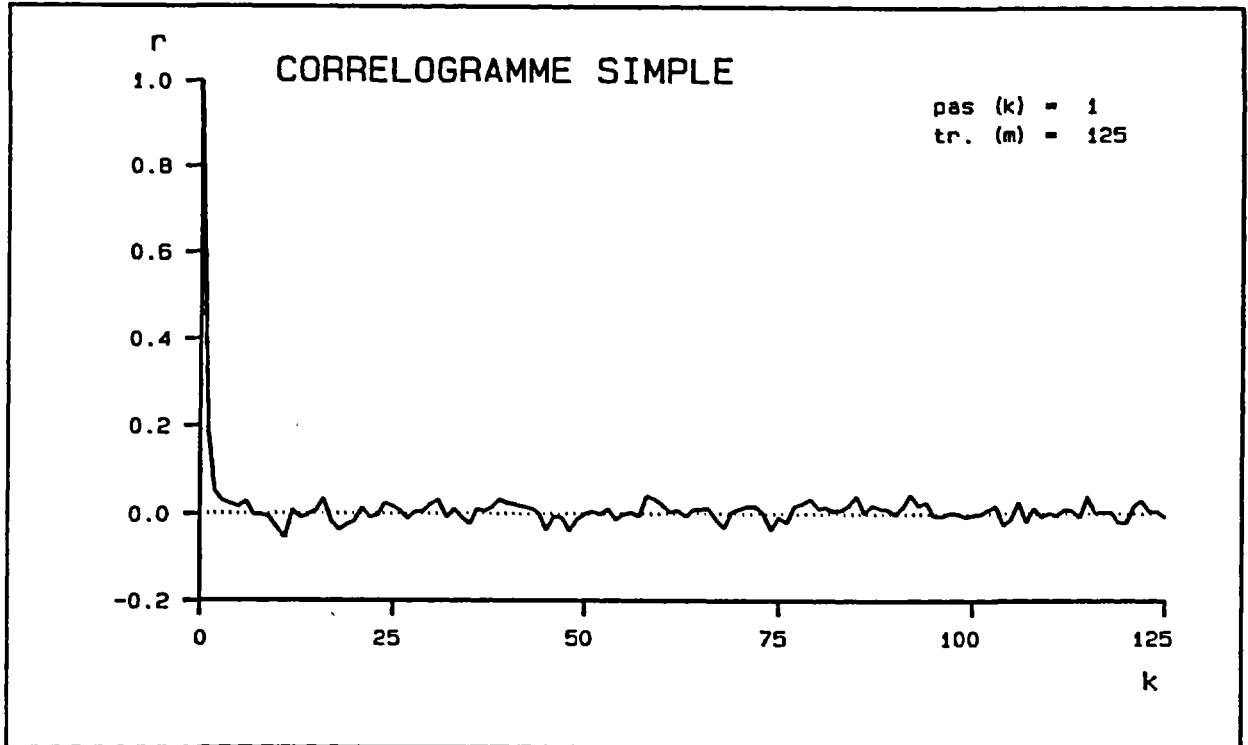
ANALYSE A LONG TERME DE LA PLUIE A CHICHILIANNE



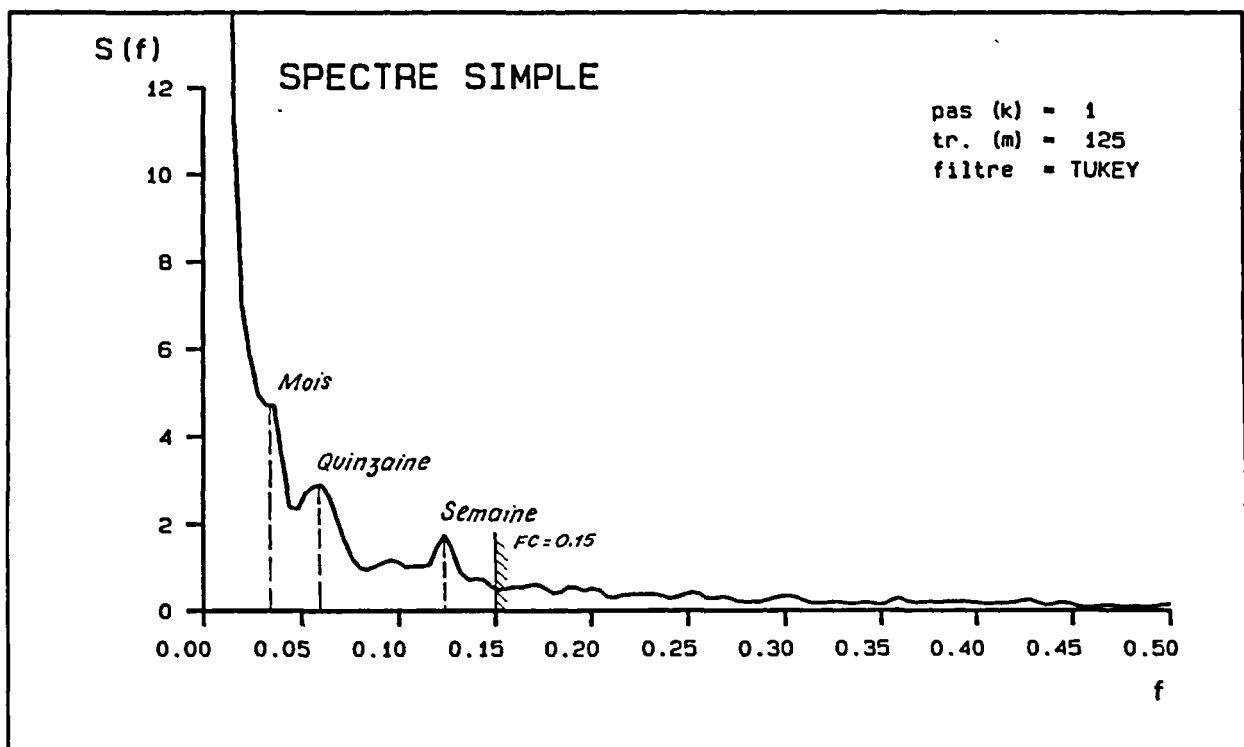
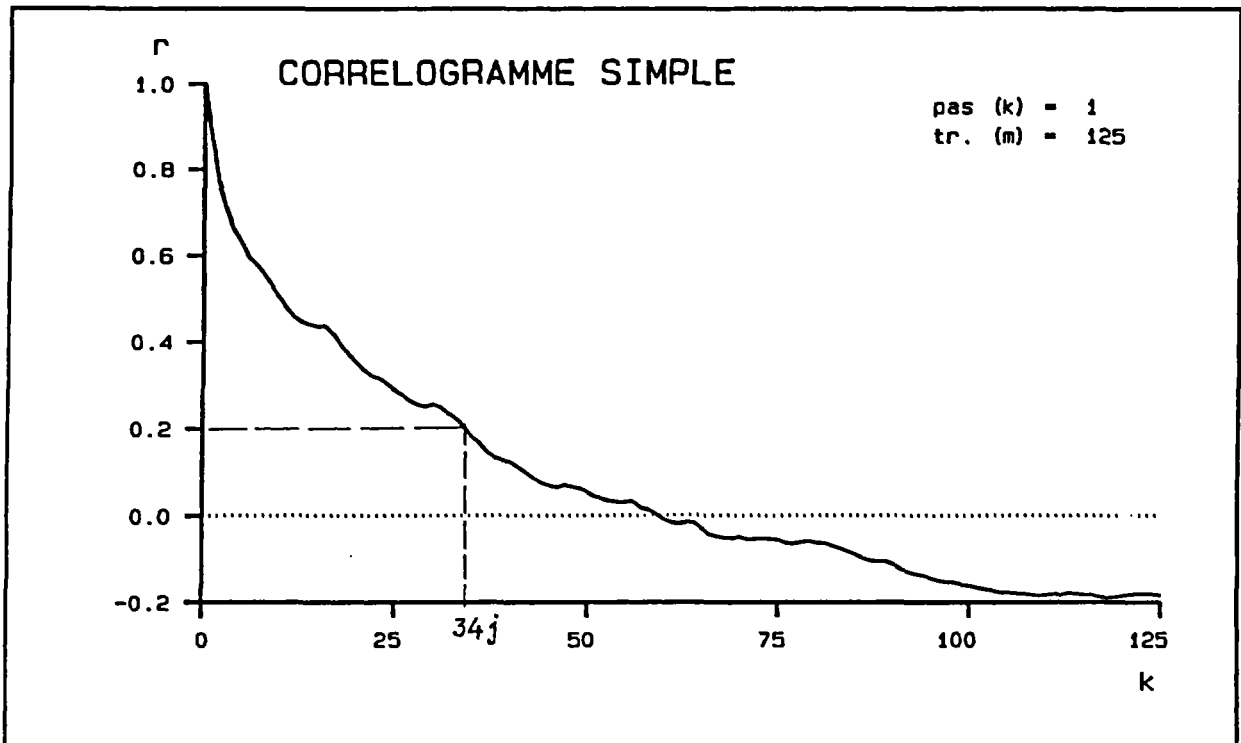
ANALYSE A LONG TERME DES DEBITS DE L'ARCHIANE



ANALYSE A COURT TERME DE LA PLUIE A CHICHILIANNE



ANALYSE A COURT TERME DES DEBITS DE L'ARCHIANE



ANALYSE CROISEE PLUIE - DEBITS SUR HUIT CYCLES

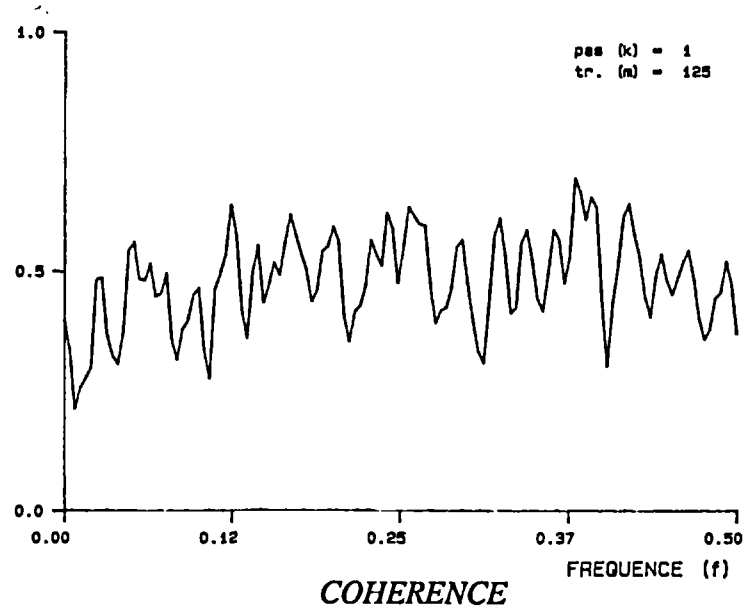
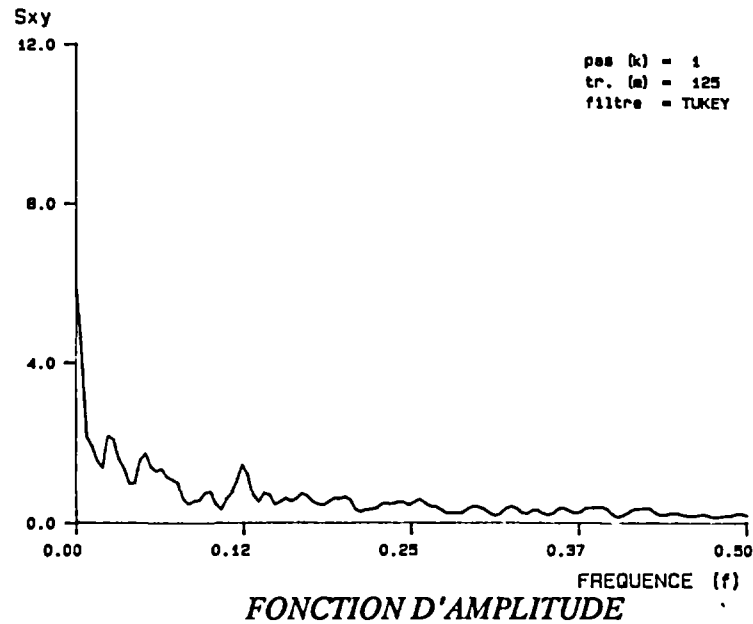
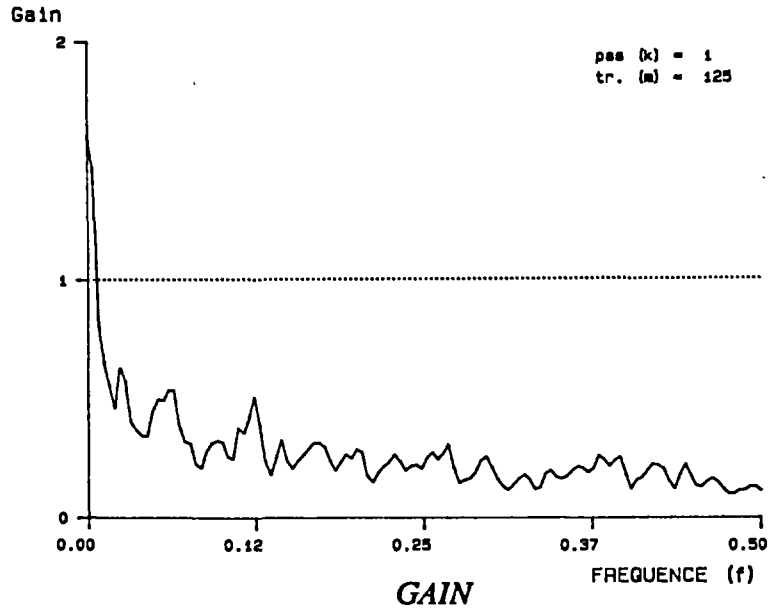
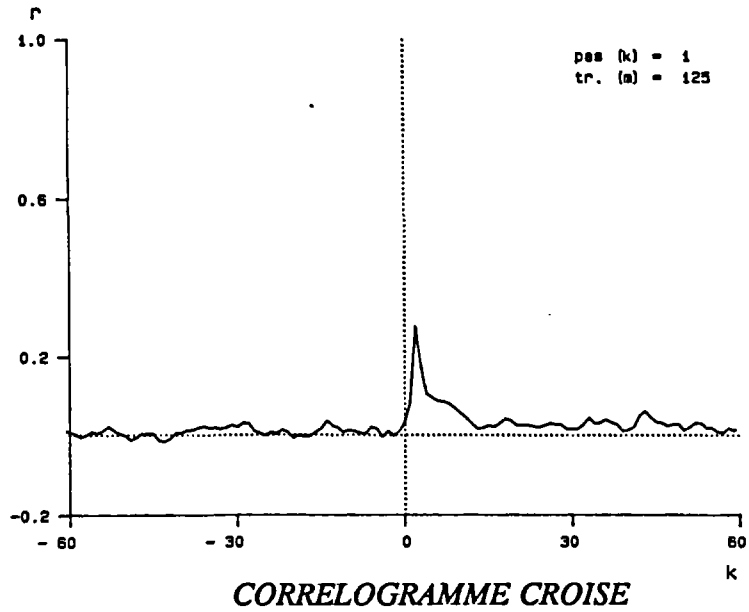


Figure 27

CORRELOGRAMME SIMPLE DES DEBITS PAR CYCLE

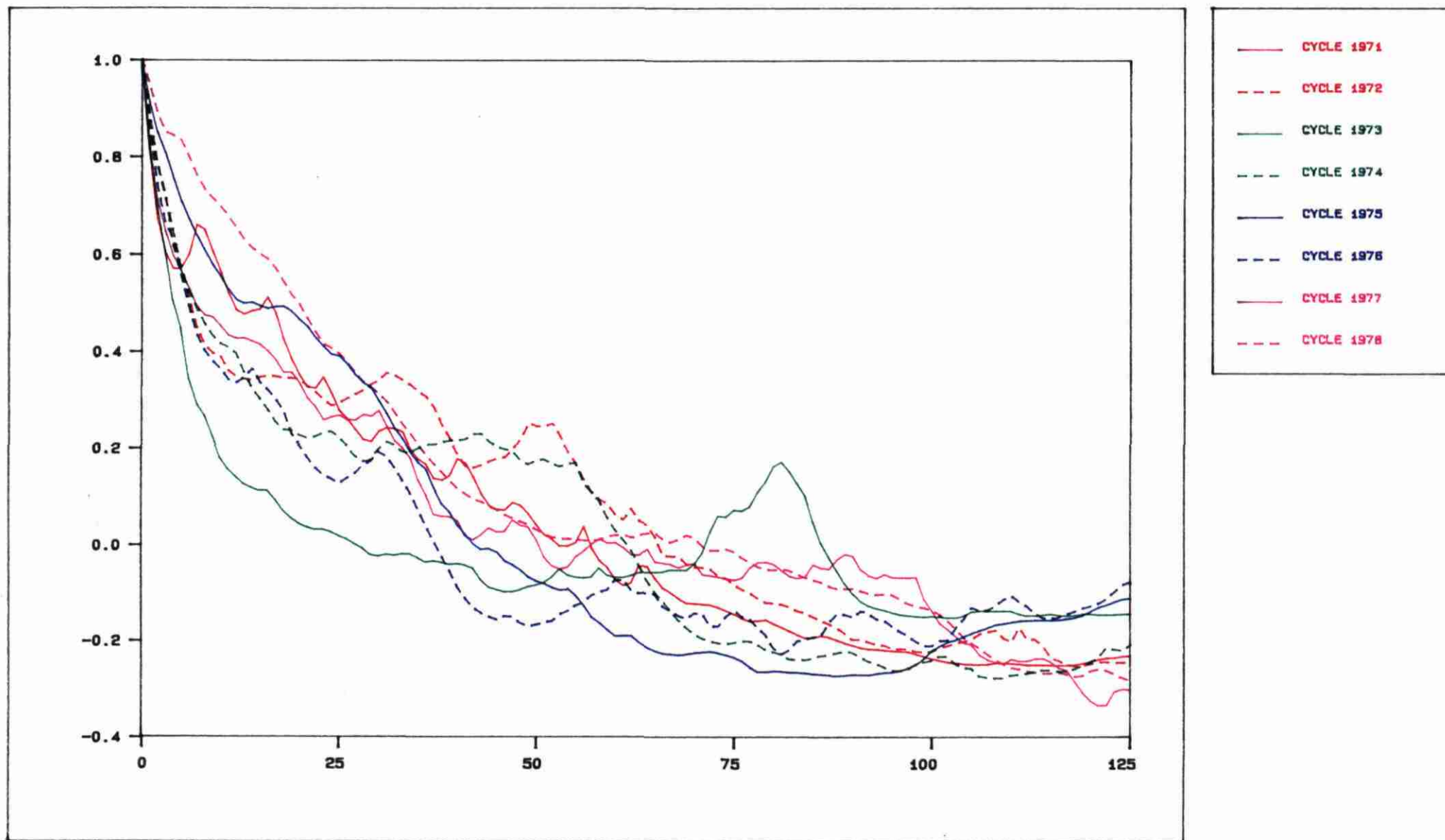


Figure 28

ANALYSE CROISEE PLUIE - DEBITS POUR LE CYCLE 1972

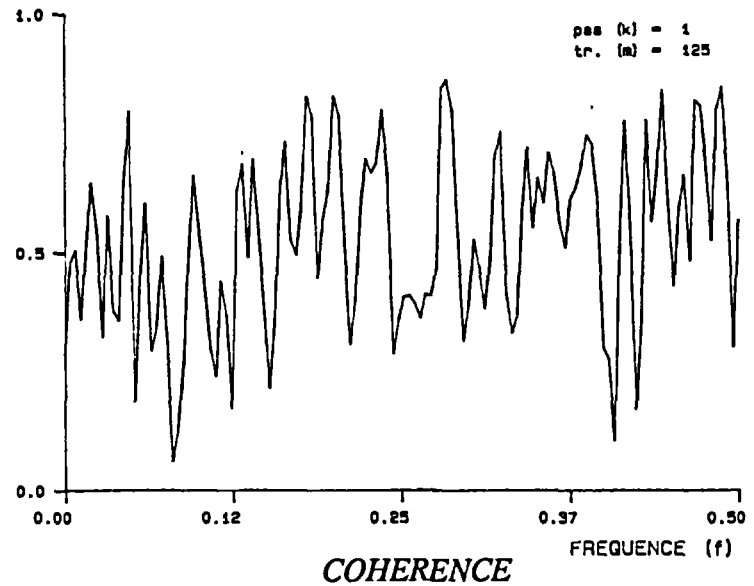
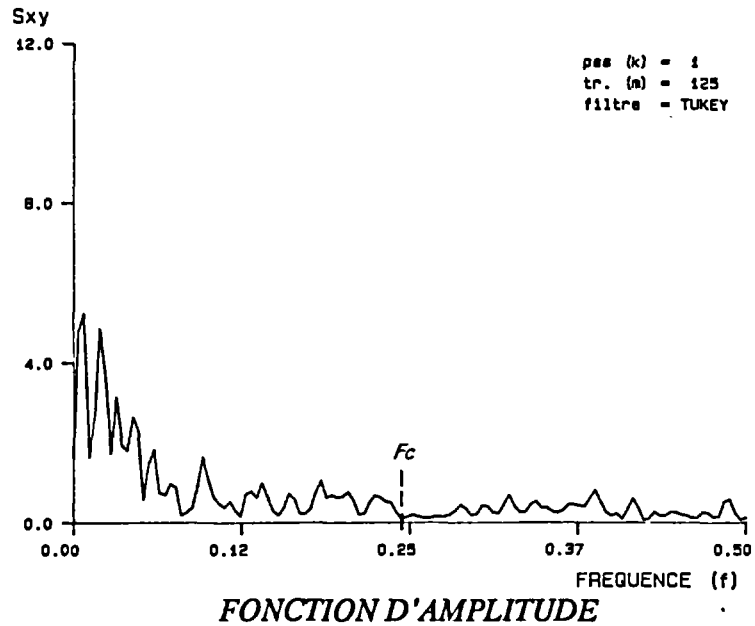
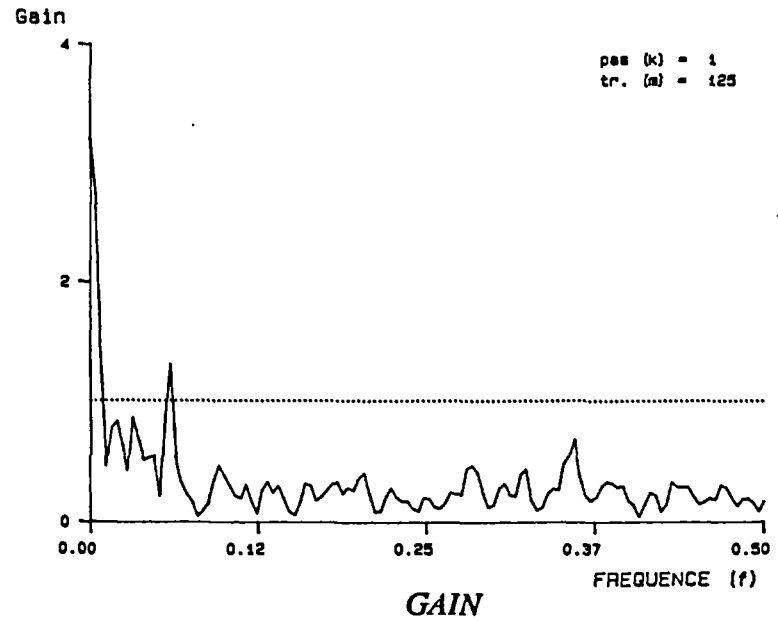
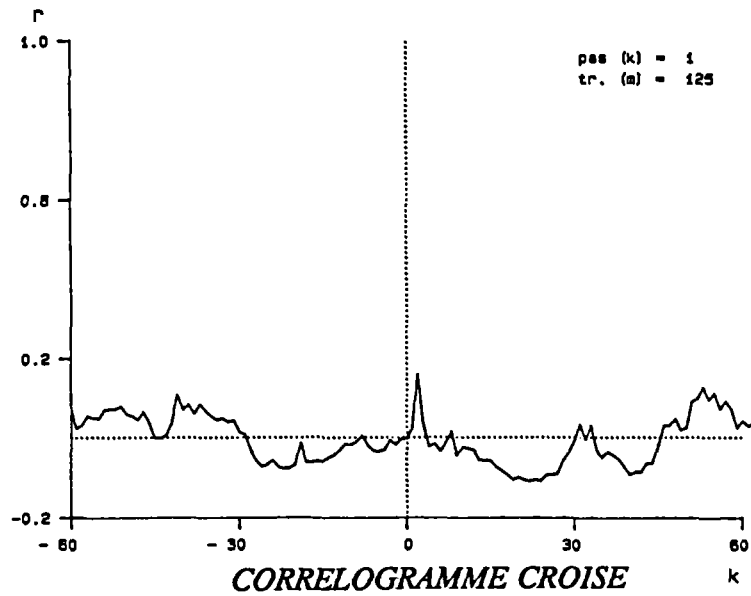
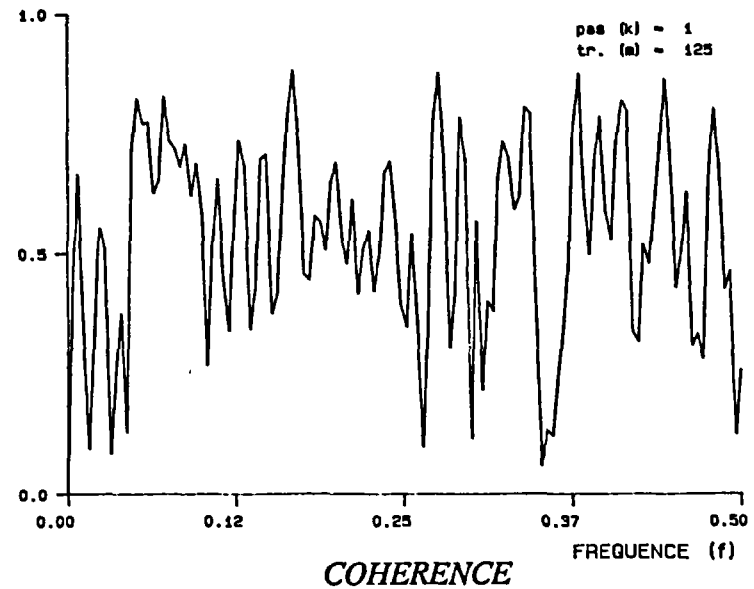
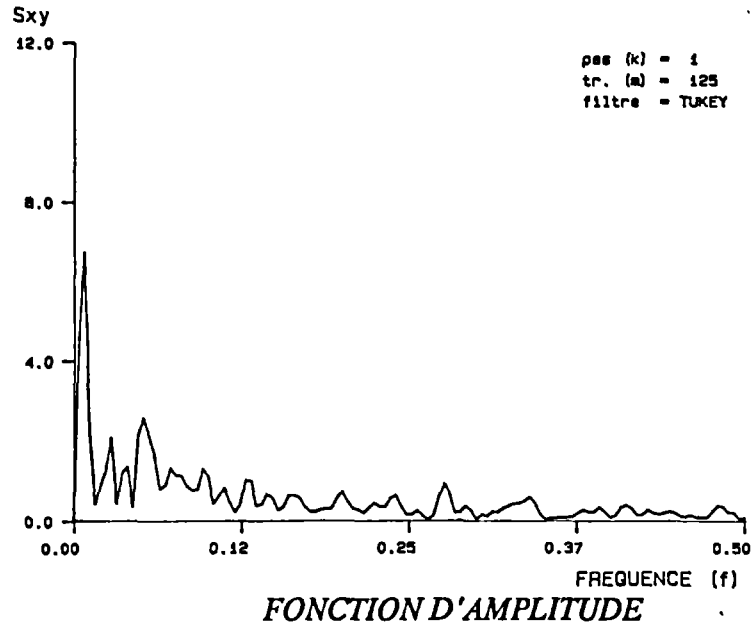
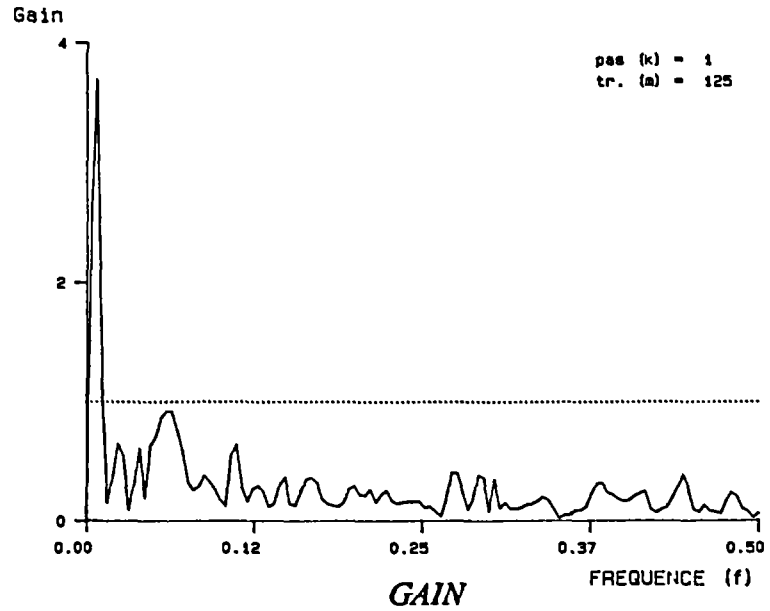
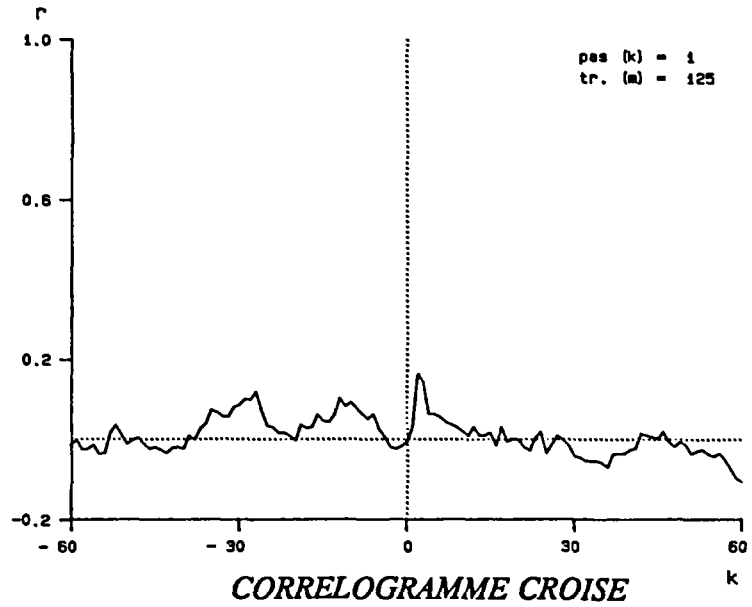


Figure 29

ANALYSE CROISEE PLUIE - DEBITS POUR LE CYCLE 1975



ANALYSE CROISEE PLUIE - DEBITS POUR LE CYCLE 1978

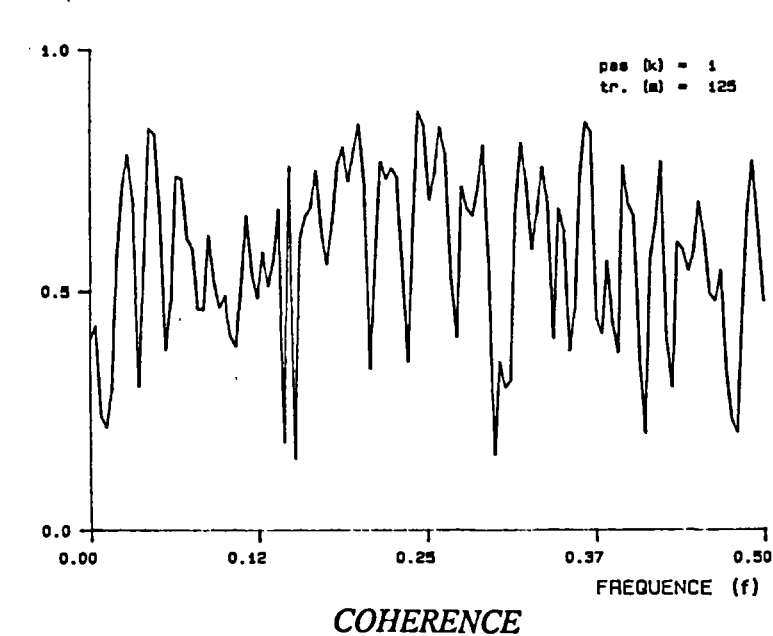
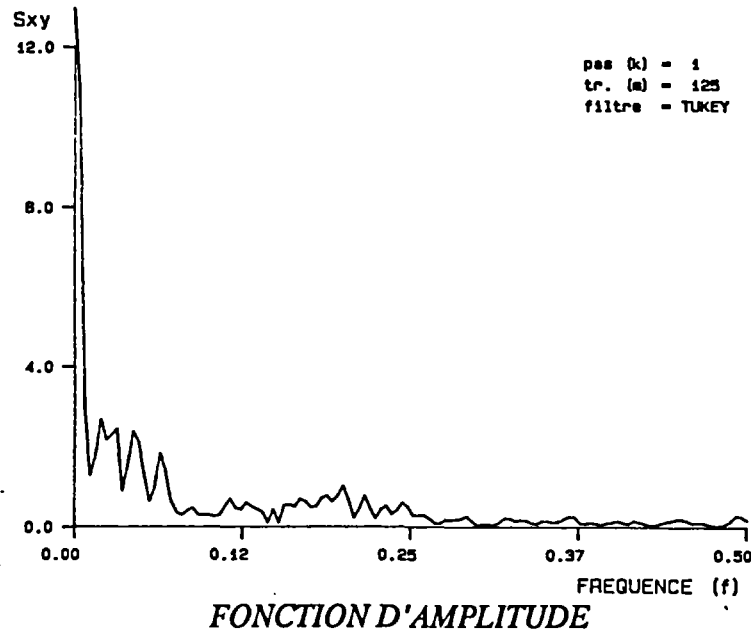
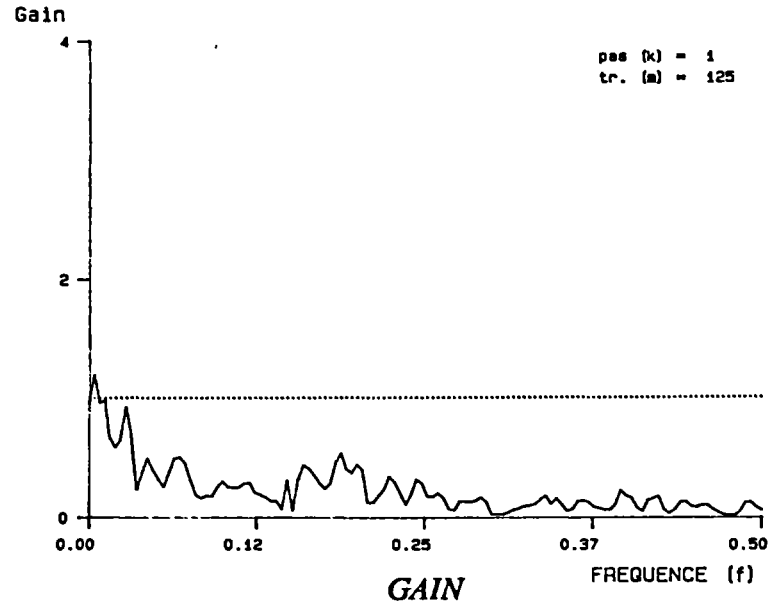
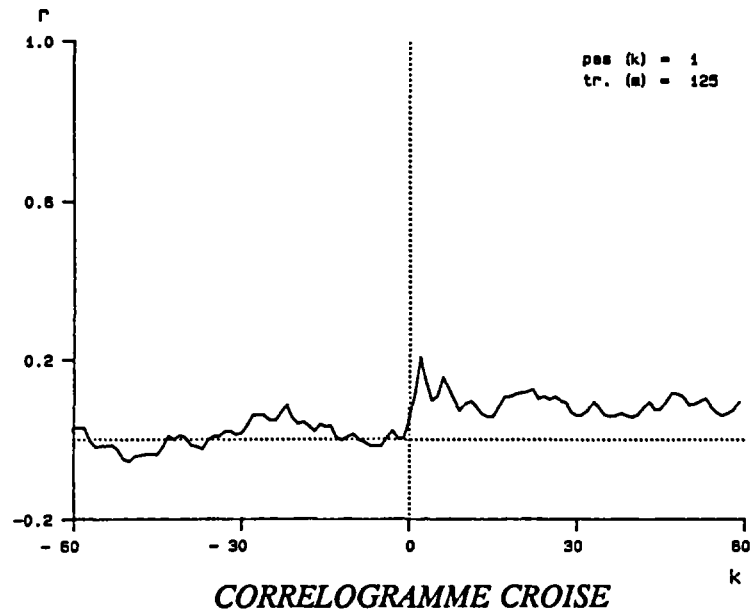


Figure 31

ANALYSE CROISEE PLUIE - DEBITS POUR LE CYCLE 1973

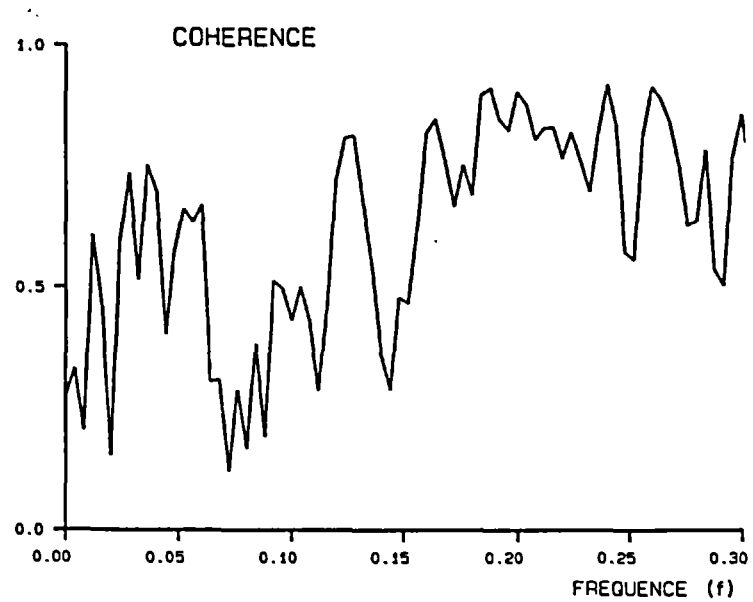
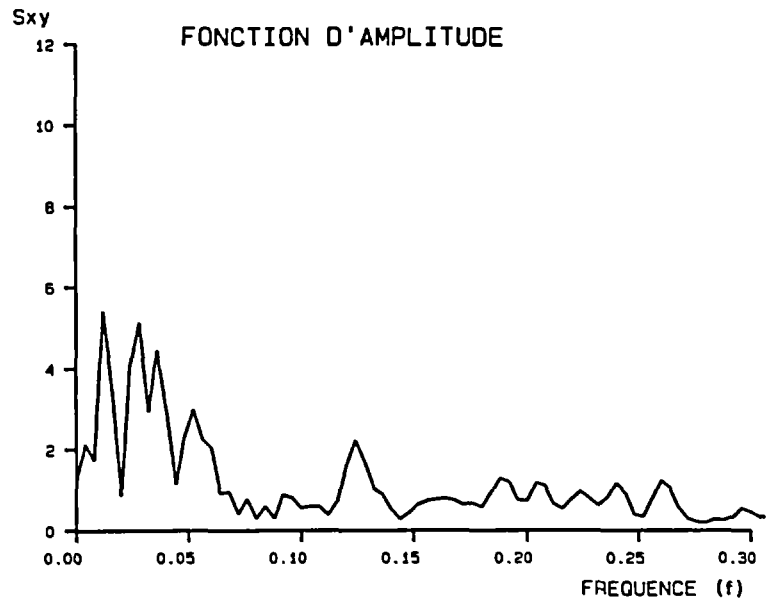
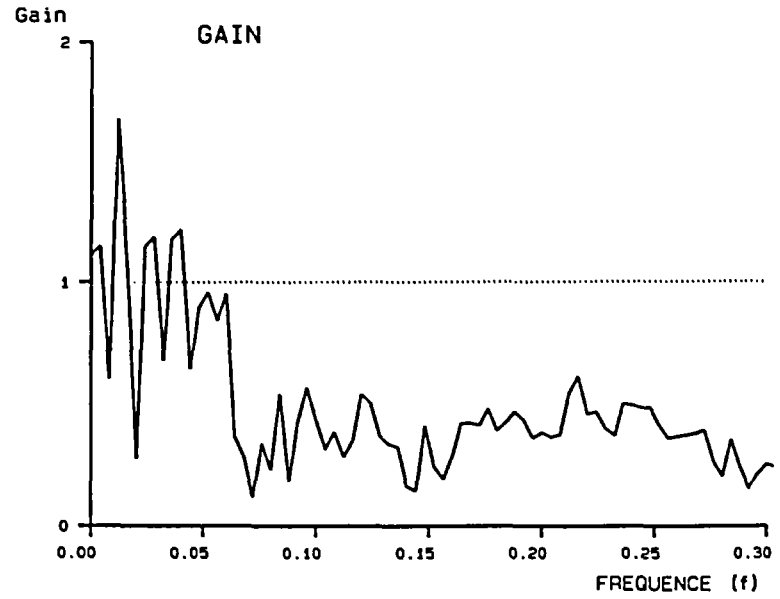
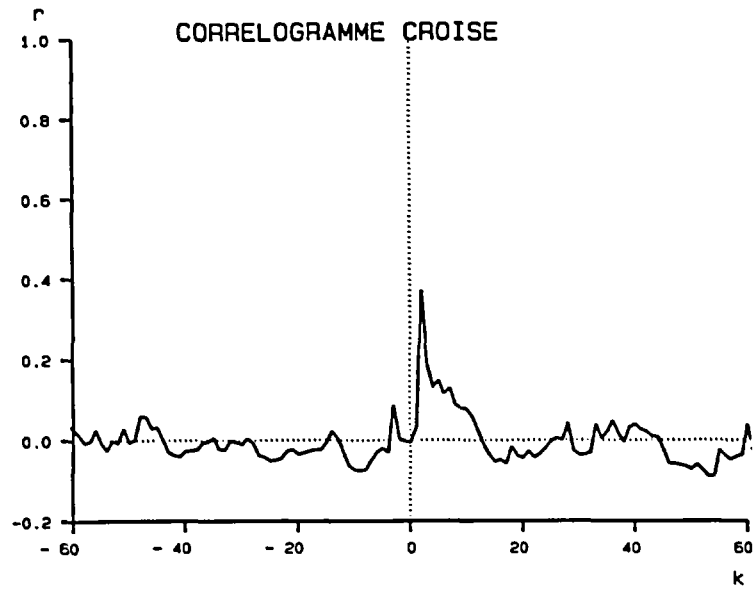


Figure 32