

UNIVERSITE PARIS 7
Laboratoire d'Hydrologie et de
géochimie IS. 1001310

MEMOIRE D.E.A.
Soutenu le 1er juillet 1985

ETUDE DU SYSTEME KARSTIQUE DU
GOUËLL DI HER (Hte GARONNE) A L'AIDE
DES CHRONIQUES DES PLUIES ET DES
DEBITS. EMPLOI DES METHODES
CORRELATOIRES ET SPECTRALES

President du jury : M. Jean-Charles FONTES
Rapporteur : M. Alain MANGIN

Stage effectué au Laboratoire
Hydrologie du C.N.R.S. (Moulis - Arthez)

Olivier GRUNBERGER

Pour Alain Mangin
qui m'a beaucoup appris...

J. J. J.

SOMMAIRE

	<u>Pages</u>
INTRODUCTION	1
Ière PARTIE	3
A. PRESENTATION GEOGRAPHIQUE ET GEOLOGIQUE DU LIEU D'ETUDE ...	7
A1. Situation géographique	7
A2. Situation géologique	7
A3. Situation géologique locale. La géologie du Massif d'Arbas	8
A3a. Stratigraphie	8
A3b. Structure	8
B. PRESENTATION DU SYSTEME KARSTIQUE DU GOUAIL DI HER ET DE LA FONTAINE DES SECHES (à travers le travail de S. Puyôo, 1976)	8
B1. Préliminaires	8
B1a. Définition de la notion de système karstique	8
B1b. Remarques sur le contenu de cette présentation	11
B1c. La présentation d'un système karstique	11
B2. Les limites du système karstique du Goueil di Her et de la Fontaine des Sèches	11
B3. Les sorties du système (sources et cours d'eau)	11
B3a. Les exutoires karstiques	11
B3b. Les exutoires de surface	12
B3c. Cas particuliers d'écoulement	12
B4. Les entrées du système	12
B5. Le réseau spéléologique reconnu	12
B5a. Présentation. Description	12
B5a1. Le réseau Marcel Loubens	12
B5a2. Le réseau Félix Trombe	15
B5b. Relation avec la fracturation	15
B5c. Résultats donnés par les Tracens chimiques	16
B6. Eléments hydrologiques vus pour le cycle 1974 (29/11/ 1973 - 20/08/1974)	19
B6a. Estimation des débits à partir des précipitations et de l'évapotranspiration	19
B6b. Observations sur les débits	19
B6c. Observations hydrologiques à la Fontaine des Sèches	19
B6d. Etude des courbes de récession et de tarissement à la Fontaine des Sèches	20
B7. Résultats des mesures chimiques et isotopiques	20
B8. Conclusion	20

	<u>Pages</u>
<u>IIème PARTIE</u>	21
A. LA COLLECTE DES DONNEES	23
A1. Description	23
A1a. La mesure de la pluie	23
A1b. La mesure des hauteurs d'eau aux exutoires	23
A1c. La relation (hauteurs d'échelle - débit)	23
A1d. Le facteur qui allait limiter le travail	24
A2. Le problème de la "justesse" des mesures	24
A2a. Cas de la pluie	24
A2b. Cas des débits	24
A2b1. Impression sur les hauteurs d'échelle	24
A2b2. Imprécision sur les débits	24
A2b3. Les mesures disponibles	27
A2b4. Tentative d'extrapolation des mesures	27
B. QU'EST-CE QU'UNE CHRONIQUE ET A QUOI SERT-ELLE	28
B1. Remarques préliminaires	28
B2. Signification des chroniques. Approche systématique	31
B3. Conventions et remarques sur les systèmes	31
B4. Méthode de connaissance d'un système	32
B4a. Méthodes locales	32
B4a1. Méthode de l'échelon unitaire, de l'hydrogramme unitaire, de l'impulsion de dirac	32
B4a2. Méthode du phénomène transitoire	32
B4b. Méthodes globales	32
B4b1. Méthode de la répartition statistique	32
B4b2. Méthode corrélative et spectrale	32
B4c. Conclusion	35
C. LES DIFFERENTES METHODES D'ANALYSE. PRINCIPES ET APPLICATIONS	35
C1. Etude des tarissements	35
C1a. Principes	35
C1b. Application	36
C2. Approche statistique descriptive	36
C2a. Principes	36
C2b. Application	37
C2c. Conclusion et limite de la méthode	38
C3. Méthodes corrélatoires et spectrales simples	43
C3a. Préliminaires. Notion d'aléatoire et de structure d'un signal	43
C3b. Analyse corrélatoire	43
C3b1. Principes	43
C3b2. Propriétés de l'indice d'autocorrélation	44
C3c. Analyse spectrale	47
C3c1. Principe de l'analyse spectrale	47

	<u>Pages</u>
C3c2. Propriétés du spectre	48
C3c3. Notion de fréquence de coupure	48
C3c4. Notion de temps de régulation	51
C4. Erreurs et imprécisions	51
C4a. L'échantillonnage et ses conséquences	51
C4a1. Introduction	51
C4a2. Notion de Filtre	51
C4a3. Effets de l'échantillonnage instantané	52
C4a4. Effets de l'échantillonnage moyenné	52
C4a5. Effet de la limitation du temps d'étude	55
C4a6. Détermination pratique de la cadence et échantil- lonnage à partir du spectre	56
C5. Effet de l'imprécision des signaux sur la fonction d'au- tocorrélation	56
C5a. Principes	56
C5b. Application aux pluies	56
C5c. Application aux débits	59
C6. Hypothèses nécessaires à la méthode corrélatrice	59
C6a. Ergodicité des phénomènes étudiés	59
C6b. Stationarité pratique	59
C7. Applications de l'analyse corrélatrice et spectrale	59
C7a. Préliminaires	59
C7a1. Rappels	59
C7a2. Périodes d'applications	60
C7a3. Plan de l'étude	60
C7b. Etude de la fonction entrée	63
C7b1. Cycles (1978-1984)	63
C7b2. Cycles (1982-1983)	63
C7c. Etude de la fonction sortie. Les débits	64
C7c1. Cycles (1978-1984)	64
C7c2. Cycles (1982-1983)	67
C7d. Conclusion	68
C8. L'analyse corrélatrice et spectrale croisée	68
C8a. Préliminaire	68
C8a1. Notion de linéarité d'un système	68
C8a2. Notion de réponse impulsionnelle et de convolution.	68
C8b. Principes de l'intercorrélation	71
C8b1. La fonction intercorrélation	71
C8b2. Propriété de la fonction d'intercorrélation	72
C8c. Application de l'intercorrélation	75
C8c1. Cycles (1978-1984)	75
C8c2. Cycles (1982-1983)	75
C8d. Principe de la fonction d'amplitude croisée et de la fonction phase	75

	<u>Pages</u>
C8e. Applications de la fonction amplitude croisée et de la fonction phase	76
C8e1. Cycles (1978-1984)	76
C8e2. Cycle (1982) et cycle (1983)	79
C8f. Notion de cohérence et gain	79
C8f1. Notion de cohérence	79
C8f2. Notion de gain	80
C8g. Applications	80
C8g1. Cycles (1978-1984)	80
C8g2. Cycles (1982-1983)	80
 <u>IIIème PARTIE</u>	 85
A. LES RESULTATS SUR LE COMPORTEMENT DU SYSTEME KARSTIQUE	87
A1. Comportement moyen	87
A1a. Résultats non comparatifs	87
A1b. Résultats comparatifs	87
A2. Comportement comparatif par cycle	88
B. RAPPEL DES LIMITES DU TRAVAIL	90
B1. Limites propres à la collecte des données	90
B2. Limites propres au traitement	90
C. INTERET DES METHODES CORRELATOIRES ET SPECTRALES	90
 BIBLIOGRAPHIE	 93
 ANNEXES	 101

INTRODUCTION

Au cours des années 1974 et 1975, le massif karstique d'Arbas a été l'objet d'une étude hydrogéologique menée par S. Puyôo (S. Puyôo, 1976). Durant cette étude des stations hydrométriques furent installées dans le but de "surveiller" les débits aux exutoires de la zone d'étude. Depuis 1978 des enregistrements continus sont stockés.

A cause du faible temps qui lui était imparti, S. Puyôo n'avait à sa disposition que des débits mesurés au cours de l'année 1974. Devant le peu de mesures hydrométriques disponibles son étude s'est volontairement orientée dans les axes de recherches suivants :

- caractéristiques des bassins-versants (topographie, géomorphologie, géologie) ;
- rôle des structures géologiques (fracturation, hydrochimie) ;
- morphologie du réseau spéléologique reconnu ;
- étude hydrochimique et isotopique sur le cycle 1974.

L'objet du présent travail est de compléter l'étude de S. Puyôo par une analyse des hauteurs d'eau observées pendant 6 cycles hydrologiques (de 1979 à 1984) sur l'exutoire principal d'un des systèmes karstiques mis en évidence (le système du Goueil di Her).

L'exposé suivant comprend trois parties :

- Dans la première partie sont rappelés de manière succincte les résultats obtenus par S. Puyôo, ceci afin de présenter le milieu, sujet à la présente étude.
- Dans la deuxième partie, après avoir décrit les points de mesure et discuté de leur représentativité, les différentes méthodes d'exploitation de ces mesures seront présentées et appliquées.
- Enfin, dans la troisième partie seront regroupés les résultats et des remarques synthétiques sur les méthodes.

En annexe sont disponibles : les deux chroniques étudiées pluies et débits, les résultats sous forme numérique du traitement effectué.

Parce qu'une étude descriptive n'a de valeur que si elle est comparative, il est souvent fait allusion aux systèmes karstiques suivants :

- système d'Aliou ;
- système du Baget ;
- système de Fontestorbes.

On pourra donc consulter une partie précise de la bibliographie.



Figure 4: Log stratigraphique sommaire et calcimétrie (tirés des travaux de S. Puyco (76)).
La karstification atteint, au Massif d'Arbas, la dolomie noire massive.

A. PRESENTATION GEOGRAPHIQUE ET GEOLOGIQUE DU LIEU D'ETUDE.

A1. Situation géographique (fig. 1).

Premier relief important des Pyrénées, prolongement vers l'Ouest du massif de l'Estelas, le massif d'Arbas se trouve à la limite des départements de la Haute-Garonne et de l'Ariège. Son observation est facilitée par le fait qu'il est situé "à vol d'oiseau" à un peu plus d'une quinzaine de kilomètres du Laboratoire Souterrain de Moulis (C.N.R.S.). Le pic de Paloumère (1608m) est le point culminant de la crête d'orientation est-ouest qui détermine la limite méridionale du Massif d'Arbas. Les vents dominants viennent du Nord-Ouest et il y règne un climat atlantique à tendance montagnarde.

A2. Situation géologique (fig. 1).

La chaîne des Pyrénées a été définie comme "une chaîne de fond" où les mouvements du socle morcelé affectent le revêtement sédimentaire (M. Casteras, 1933) (p. 76)

Les différentes unités structurales sont limitées par des contacts anormaux de direction est-ouest (fig. 3). On distingue la zone axiale, la zone nord-pyrénéenne, la zone sous-pyrénéenne.

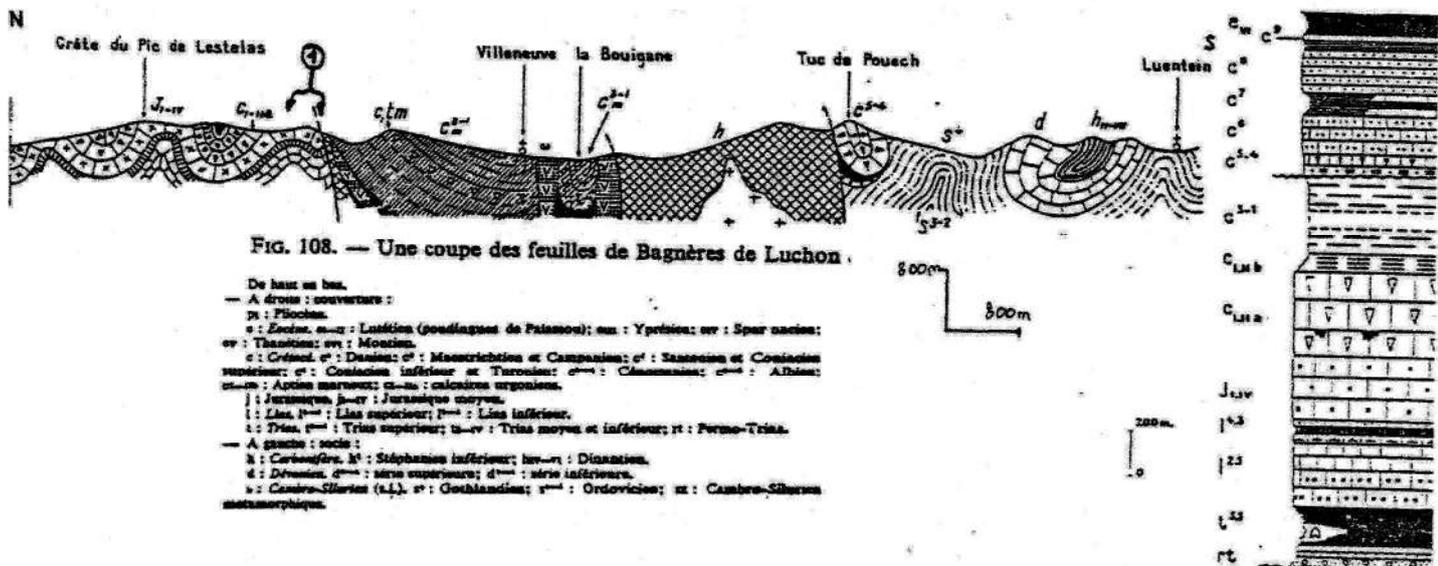


Figure 3: Coupe effectuée légèrement à l'est du massif d'Arbas (1= situation géologique du massif d'Arbas). (Extrait de AUBOIN & AL., 1970)

A3. Situation géologique locale. La géologie du Massif d'Arbas.

La stratigraphie et la structure sont les éléments permettant la délimitation des bassins versants hydrologiques.

A3a. Stratigraphie (fig. 4).

Sur cette figure, à l'aide de l'ouvrage de S. Puyôo, a été représenté le log-stratigraphique avec les étages, les faciès, la calcimétrie. Régionalement les niveaux karstifères "atteignent" les brèches dolomitiques kimméridgiennes.

A3b. Structure (fig. 5).

La présence du métamorphisme pyrenéen permet de distinguer deux zones :

Au Sud, les terrains sont métamorphisés et chevauchent en direction du Nord les terrains non métamorphiques. Le contact est orienté selon la direction est-ouest. A cet accident est associée la faille satellite déterminant l'écaïlle de Peyreguila (fig. 6).

La tectonique est essentiellement cassante et le caractère polyphasé se distingue très nettement, il en résulte que les terrains non métamorphiques sont découpés en blocs par de multiples failles selon des directions très diverses (fig. 5). De même on remarquera que les terrains non métamorphisés sont très généralement pentés vers le Sud si on excepte la partie nord-ouest qui est pentée vers l'Ouest.

B. PRESENTATION DU SYSTEME KARSTIQUE DU GOUËIL DI HER ET DE LA FONTAINE DES SECHES (à travers le travail de S. Puyôo, 1976).

B1. Préliminaires.

B1a. Définition de la notion de système karstique.

"Le système karstique est l'ensemble au niveau duquel les écoulements souterrains de type karstique s'organisent pour constituer une unité de drainage" (A. Mangin, 1975).

L'on remarque :

- que la définition fait appel au processus hydrologique ;
- que cette notion englobe la notion de bassin versant hydrogéologique d'une source karstique ou d'un groupe de sources karstiques liées entre elles.

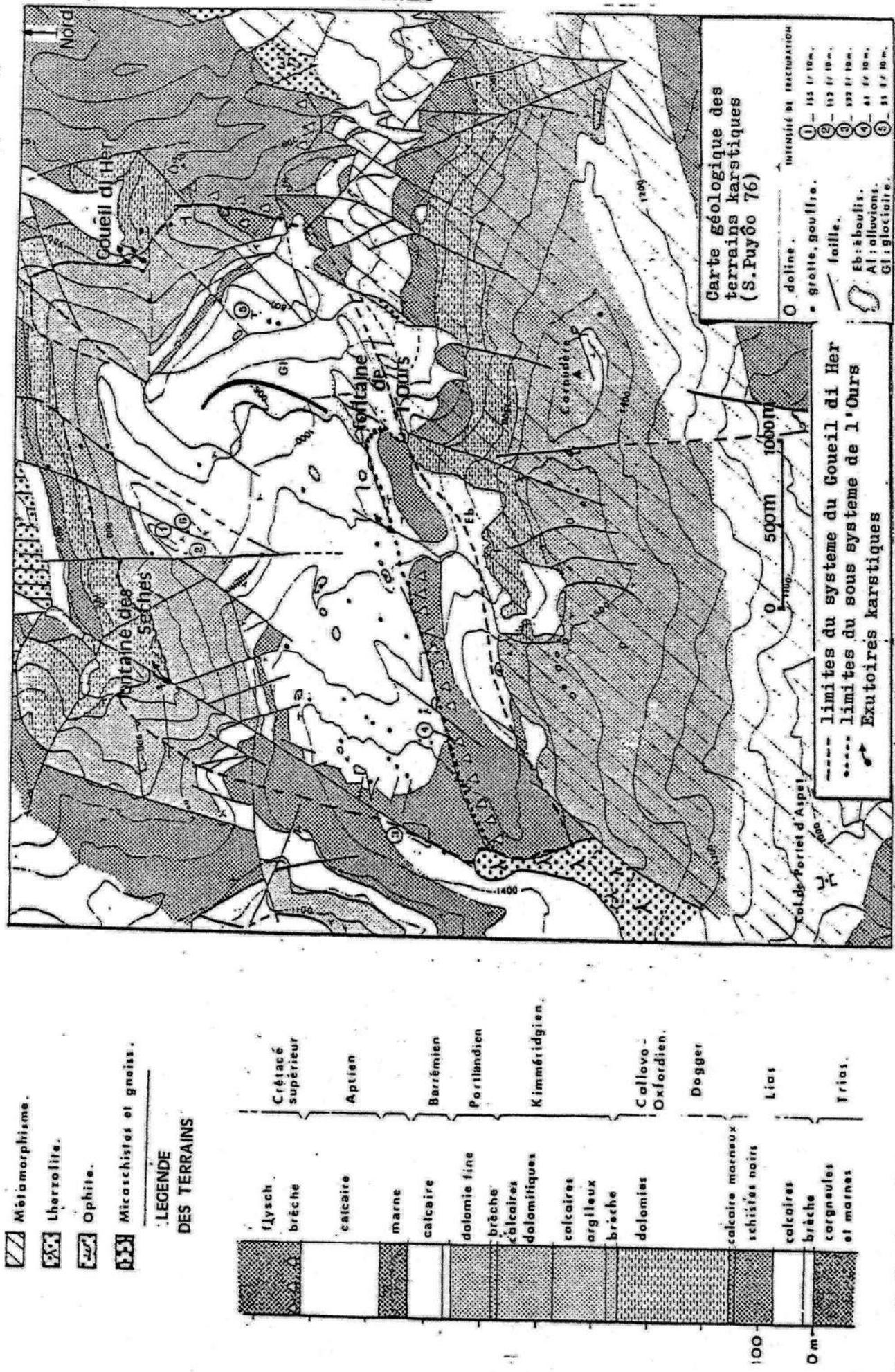


Figure 5: Carte géologique des terrains karstiques, on remarquera le caractère polyphasé de la tectonique, la différence entre zone métamorphique et zone non métamorphique, le sous système de l'Ours (formé de l'écaille de Peyreguilla)

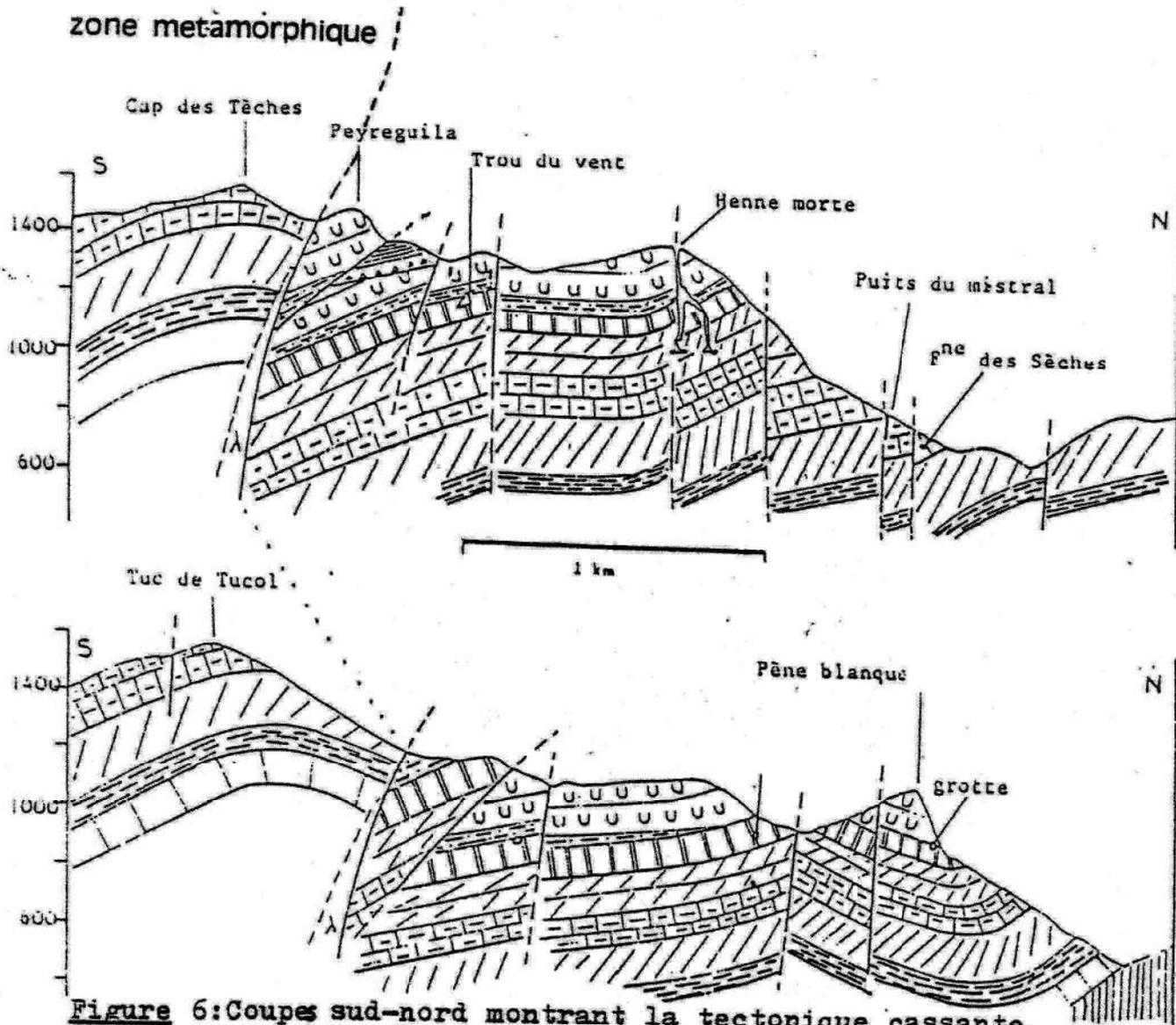
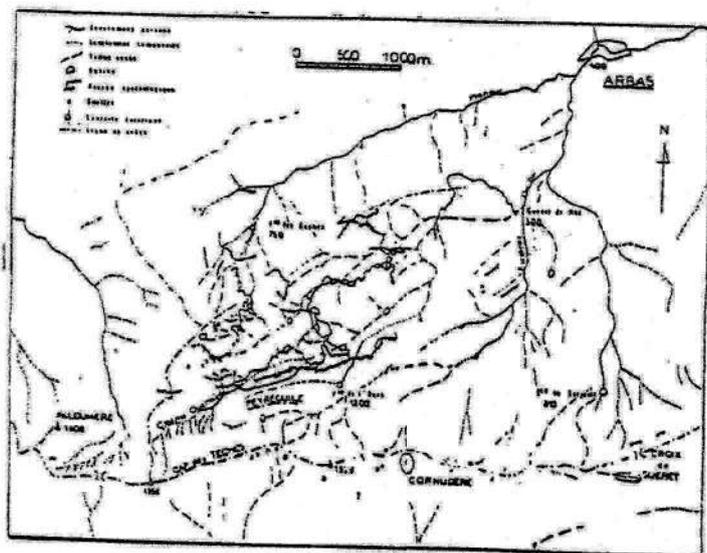


Figure 6: Coupes sud-nord montrant la tectonique cassante, le chevauchement des métamorphites et l'écaillage de Peyreguila.



-  Brèches et flysch du Crétacé supérieur.
-  Calcaire Urgonien.
-  Marnes bedouliennes.
-  Calcaire barrémien.
-  Dolomie supérieure.
-  Calcaire kimméridgien.
-  Dolomie inférieure.
-  Lias marneux.
-  Lias calcaire.
-  Paléozoïque.

Figure 7: situation générale des écoulements

B1b. Remarques sur le contenu de cette présentation.

Les résultats obtenus par S. Puyôo sont nombreux et variés ; j'ai donc été contraint de faire un choix.

Sont donc écartés :

- les résultats ne concernant pas le système particulier étudié ;
- les résultats sur la paléogéographie ;
- les résultats sur l'histoire du Karst.

D'autre part, je ne pourrai donc pas, dans le cadre de cet exposé, présenter une justification complète de ces résultats et des méthodes qui ont permis d'aboutir à ces mêmes résultats. Donc, pour tout renseignement complémentaire, il est utile de consulter S. Puyôo (1976).

B1c. La présentation d'un système karstique doit comprendre : la définition de ses limites, la présentation de ses exutoires et de ses entrées, la présentation du réseau spéléologique reconnu, les mesures et expériences concernant les écoulements.

B2. Les limites du système karstique du Goueil di Her et de la Fontaine des Sèches (fig. 5).

Les limites du système étudié sont clairement définies par S. Puyôo.

Au Sud, le contact avec les terrains métamorphiques "doit jouer le rôle de "faille barrière" vis-à-vis des écoulements d'eau" (S. Puyôo, 1976). Cette limite géologique suit la limite du bassin orographique.

Au Nord, la dolomie cristalline du Jurassique moyen peut être considérée comme un imperméable et marque à son affleurement la limite basse du bassin hydrogéologique.

A l'Ouest, la limite du système suit la limite orographique sur les affleurements des marnes du Bedoulien.

A l'Est, il en est de même sur les terrains du Crétacé supérieur.

B3. Les sorties du système (sources et cours d'eau).

B3a. Les exutoires karstiques (fig. 7 et 5 ou 14a).

. La Fontaine des Sèches est située dans la vallée de planque.

- En crue l'eau sort par une grotte visitable sur quelques mètres (car la galerie est noyée).

- En étiage et en crue des sorties d'eaux ont lieu de manière diffuse en contrebas par de multiples fissures dans les brèches dolomitiques kimméridgiennes.

. Le Goueil di Her comprend une grotte et deux regroupements de griffons, en aval, qui constituent les exutoires pérennes. Ces exutoires alimentent le ruisseau de l'Escalette au niveau des brèches kimméridgiennes.

- La grotte ne fonctionne en trop plein que lors des crues prononcées.

- Les sources des Yeux, en contrebas, sont situées dans le lit même de l'Escalette et en rive gauche.

- Les sources de Bernatas sont encore plus en aval sur l'Escalette.

- Lors des étiages très sévères l'Escalette se perd complètement entre les deux sources.

B3b. Les exutoires de surface.

L'escalette naît de deux sources :

- l'une est située à la base d'un placage de moraine remaniée ;

- l'autre dans le calcaire Barrémien, sous le contact chevauchant de la zone métamorphique.

B3c. Cas particuliers d'écoulement.

S. Puyôo signale l'existence de sources situées à l'intérieur du bassin versant dont l'eau se perd dans les calcaires "urgoniens", ce ne sont donc pas des exutoires.

Ce sont les sources du ruisseau de la Coume Ouarnède, la Fontaine de l'Ours.

B4. Les entrées du système.

La seule entrée d'eau dans le système provient des infiltrations d'eau de pluies. Ces entrées d'eau sont favorisées par les lapiazs dans le calcaire "Urgonien". Largement affleurant, ceux-ci sont visibles parce-que dénudés à Pene Blanque, Maria Rouch, Henne Morte.

B5. Le réseau spéléologique reconnu (fig. 8 et 9).

B5a. Présentation. Description.

Dans le bassin hydrogéologique étudié deux réseaux (dont la communication n'a pu être établie) ont été visités, ils totalisent plus de 40 kilomètres de long sur une surface de 10 kilomètres carrés.

B5a1. Le réseau Marcel Loubens qui aboutit probablement à la Fontaine des Sèches est le moins important.

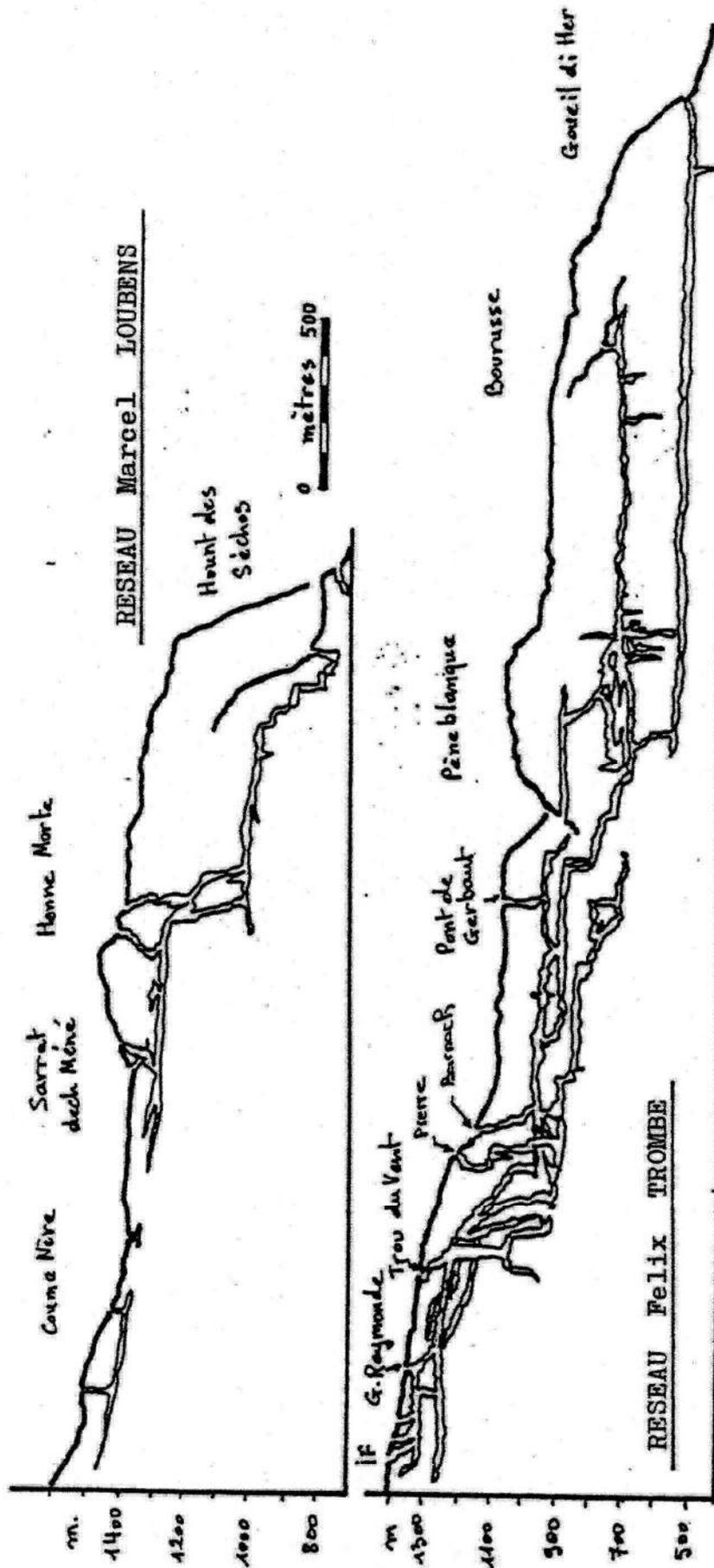
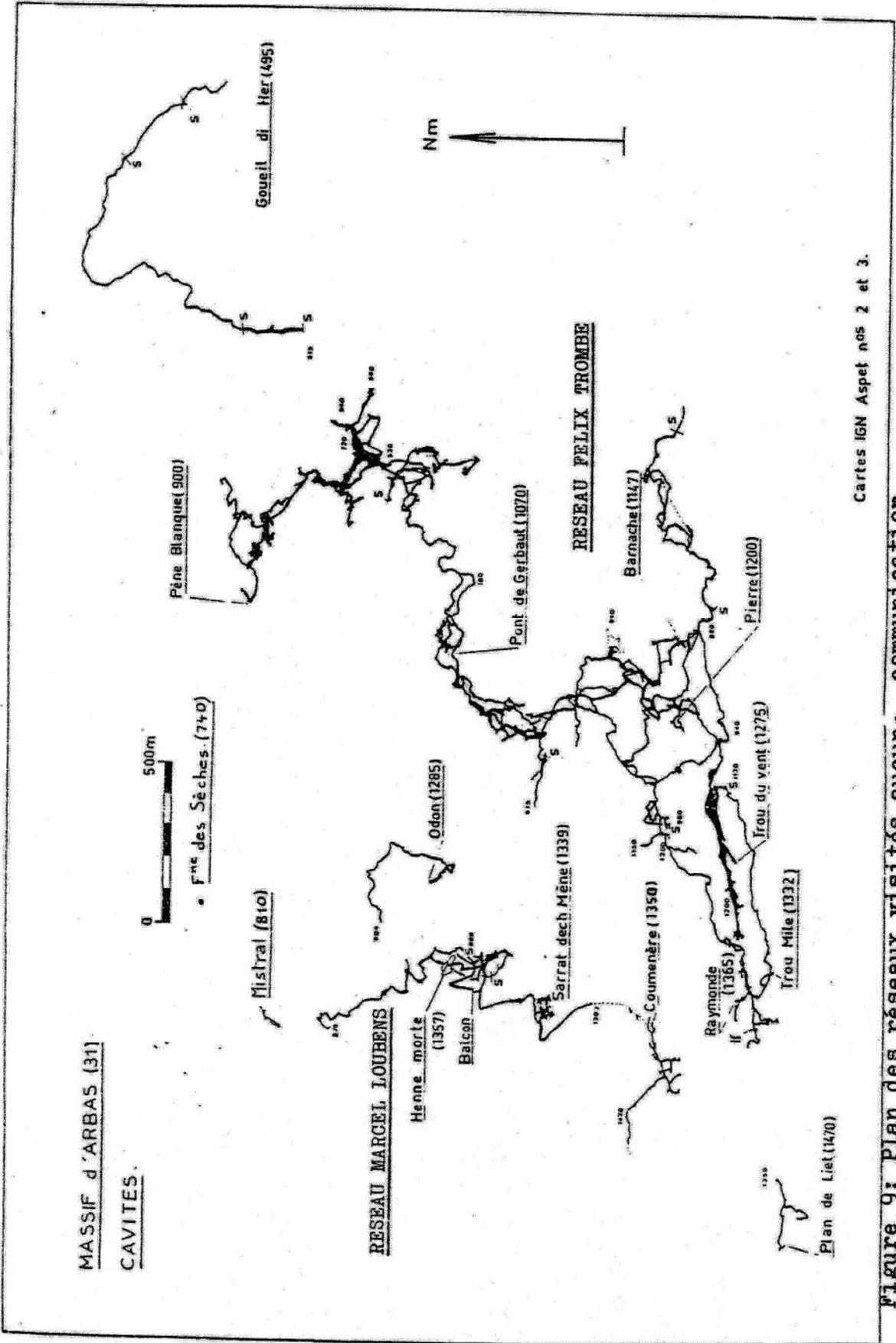


Figure 8: Coupe des réseaux souterrains visités, on remarquera le caractère en "mardes d'escaliers" de la disposition des galeries.



Cartes IGN Aspet nos 2 et 3.

Figure 9: Plan des réseaux visités, aucune communication entre les deux réseaux n'a pu être trouvée à ce jour, le réseau Félix Trombe est le plus important et le plus ramifié.

En coupe il se présente comme une succession de galeries faiblement pentées, reliées entre elles par des "puits" importants. En aval, des relations avec la surface sont assurées par des gouffres tels : Coume Néré, Sarrat dech Méné, Henne Morte (les premières galeries sont à 1380m, les plus basse vers 750m soit 630m de dénivellé).

En plan, c'est un réseau peu ramifié de direction générale Sud-Nord.

B5a2. Le réseau Félix Trombe est beaucoup plus important (7ème place dans le monde pour la profondeur, 13ème pour la longueur).

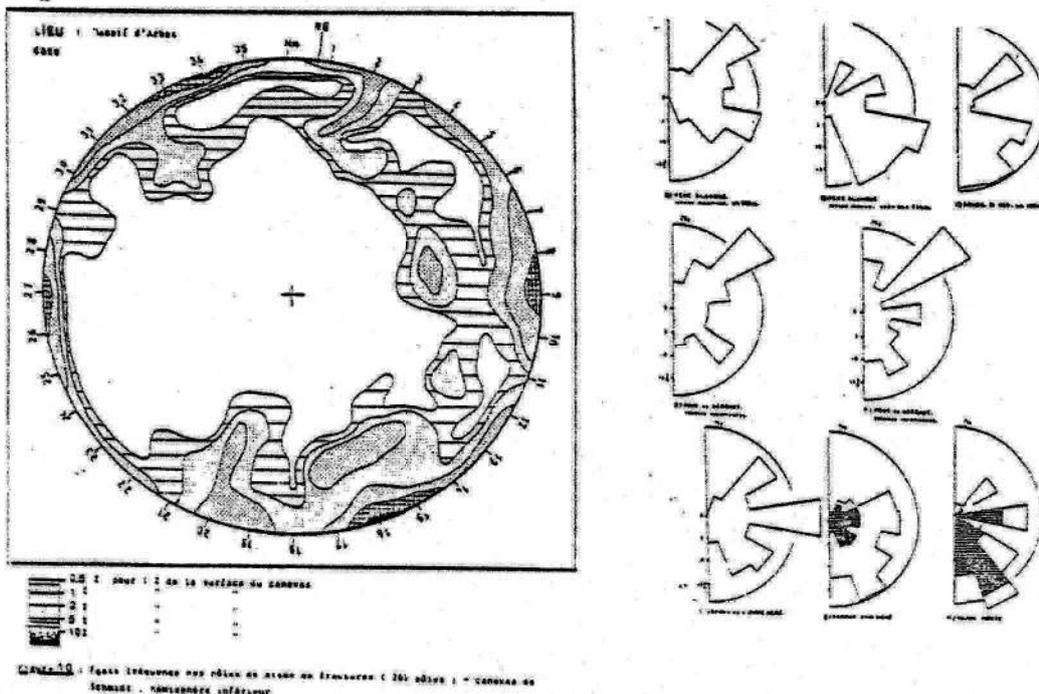
En coupe la succession de galeries sub-horizontales et "puits" est aussi nettement observable. De multiples gouffres assurent la liaison avec la surface, tels : Raymonde, Trou du Vent, Pont de Gebaut, Pierre, Barnache. Les premières galeries sont à 1350m, les dernières à 500m (soit 850m de dénivellé). L'exutoire probable est la grotte du Goueil di Her.

En Plan, le réseau est très ramifié.

S. Puyôo a calculé le pourcentage des grands vides karstiques qu'il estime à 0,193%. On ne peut manqué d'être surpris par la faiblesse de nombre inférieur à la porosité matricielle du constituant.

B5b. Relation avec la fracturation (S. Puyôo, 1976).

S. Puyôo a judicieusement opéré une comparaison entre les histogrammes directionnels de la fracturation et ceux des cavités, il s'ensuit que "les maxima directionnels des réseaux spéléologiques correspondent tous à une famille de fracture" mais il n'apparaît pas de systématique dans le "choix" par les circulations d'eau d'une famille de fracture ni dans le temps ni dans l'espace. (fig. 10).



B5c. Résultats donnés par les Tracens chimiques (tableau I).
(en annexe)

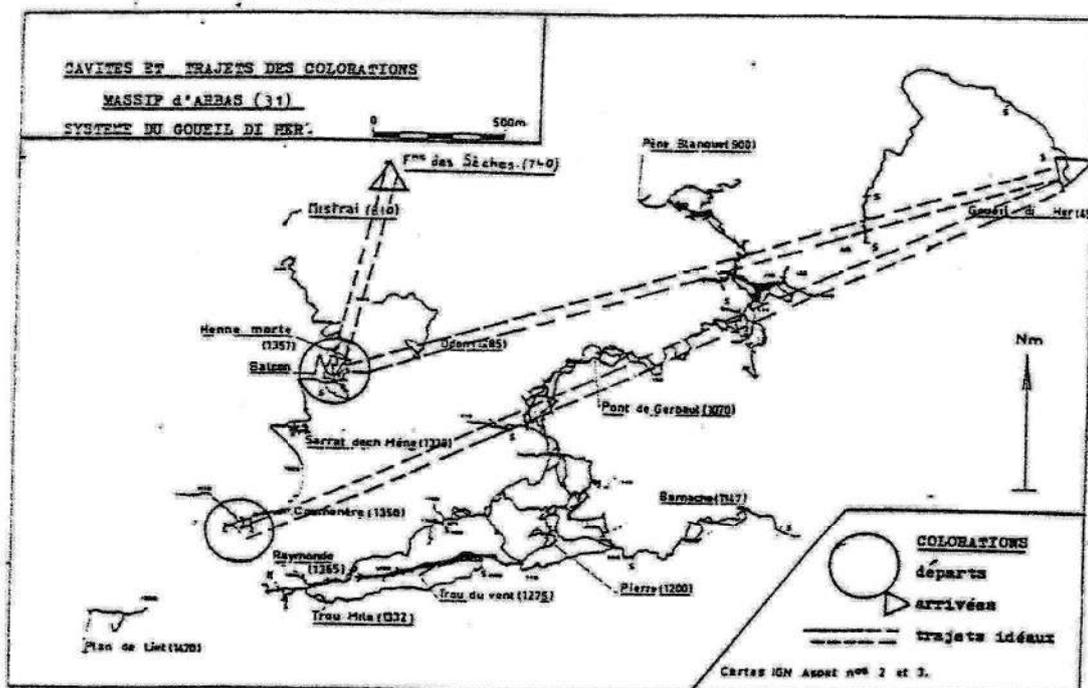


Figure 11: Trajets des colorations par rapport au réseau spéléologique, relation entre les deux réseaux.

- . Du point de vue des relations entre les deux réseaux.
 - en crue les deux réseaux sont en communications (1971) ;
 - en étiage ceci n'est pas certain (1946).
- . Du point de vue des "vitesses".
 - les circulations dans le système du Goueil sont plus "rapides" que dans celui de la Fontaine des Sèches (en 1971 2,3 m/h pour le Goueil pour 0,6 m/h pour les Sèches) ;
 - des "vitesses" extrêmes sont observées au Goueil en crue, 125 m/h en 1956 ; dans ce cas les eaux ne ressortent qu'au trop plein de la grotte du Goueil ;
 - des "vitesses" lentes entre 25 et 32 m/h en 1970. Les eaux colorées ressortent aux Yeux et à Bernatas.
 - des "vitesses" très différentes sont observées à l'exutoire de la Fontaine des Sèches.
 - 35 m/h lors d'un gros orage (année 1947).
 - 14 m/h (année 1971).

On met donc en évidence pour les deux sous-systèmes :

- des circulations rapides peu diluées (en crue) ;
- des circulations lentes et étalées dans le temps avec une dilution importante (en étiage).

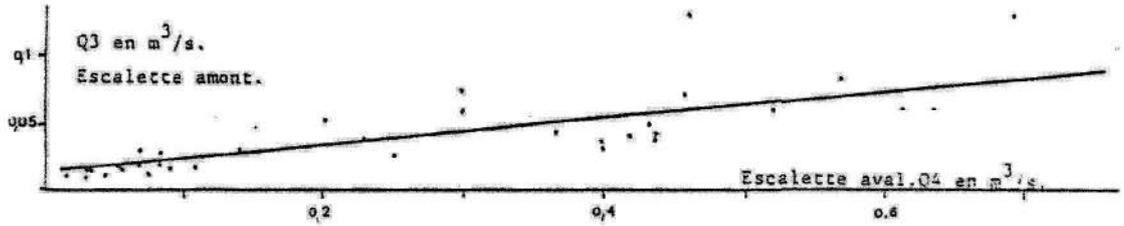


Figure 12: Corrélation entre les débits de Escalette aval et amont. (S. Puyoo, 76)

Figure 13: Corrélation des débits entre Goueil et Fne des Sèches. (S. Puyoo, 76)

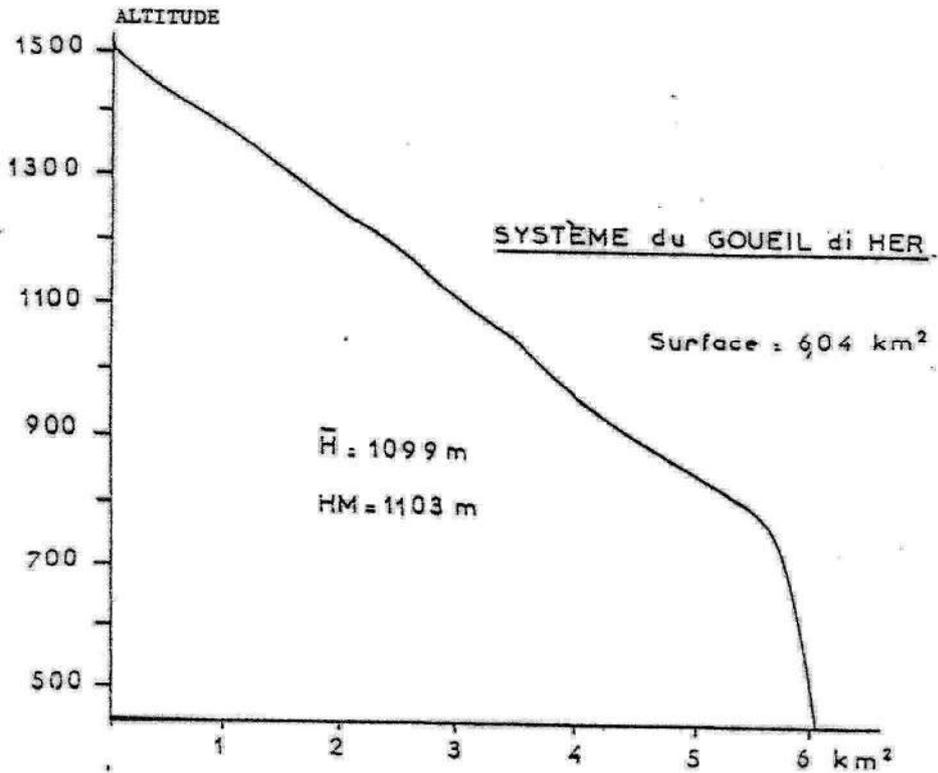
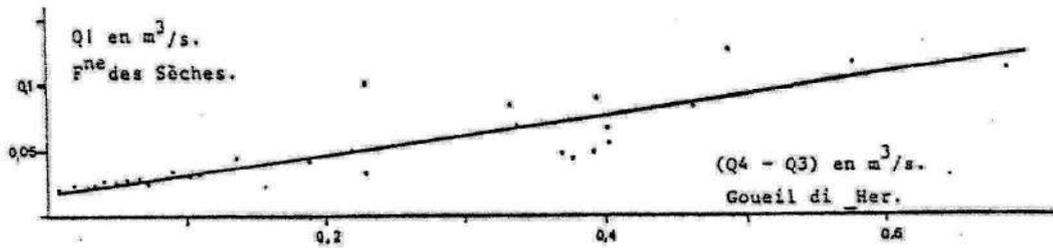
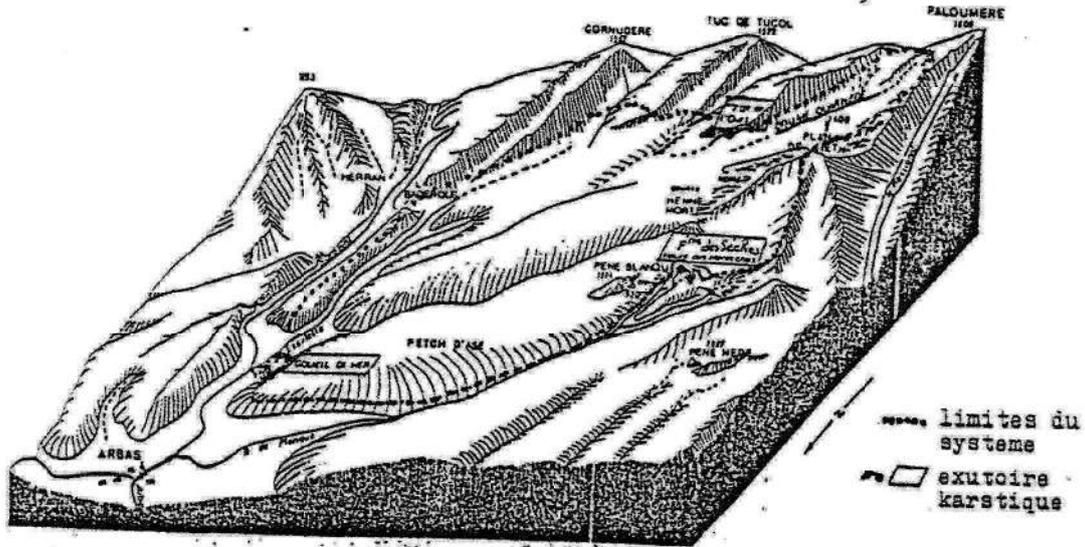


Figure 14a: PRESENTATION DES Ecoulements ; SYSTEME DU GOUËIL DI HER



Bloc diagramme du massif d'Arbas (d'après F.L.M. et N.G.).

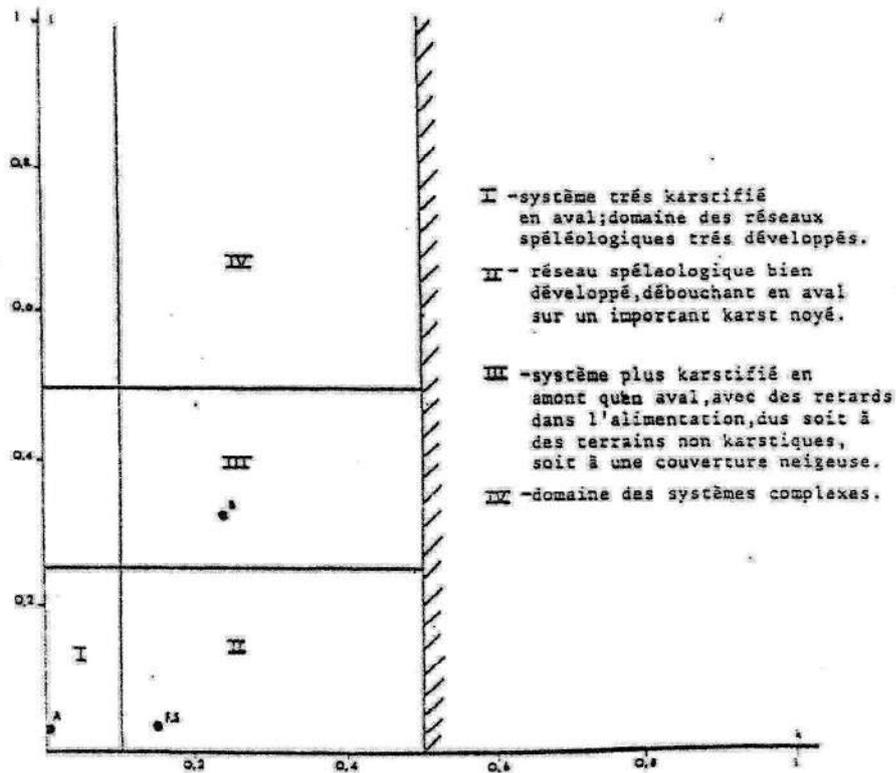


Figure 14b: Classification des systèmes karstiques, (d'après A.MANGIN. in S.Puyoo, 76)

A. Aliou, B. Le Bager, F.S. Fontaine des Sâches.

i est un paramètre caractérisant la forme de la décurve
 k est un paramètre traduisant l'importance du karst
 noyé par rapport au volume de transit.

B6. Eléments hydrologiques vus pour le cycle 1974 (29 novembre 1973 - 20 août 1974).

B6a. Estimation des débits à partir des précipitations et de l'évapotranspiration. S. Puyôo indique les valeurs suivantes.

Pluie en mm par la (méthode de Thiessen)	1643 mm
ETR (bilan énergétique)	0,448 mm
Volume infiltré	7217800 m ³
Débit moyen calculé	0,315 m ³ /s
Débit spécifique	0,052 m ³ /s/km ²

S. Puyôo remarque :

- que ces valeurs sont élevées en comparaison de celles du Baret (0,043 m³/s/km²) ;

- que le cycle 74 a probablement des valeurs plus élevées que les autres cycles

B6b. Observations sur les débits.

1. Corrélation entre les débits de l'Escalette à l'amont de l'exutoire karstique et l'Escalette à l'aval de l'exutoire (fig. 12).

Y	X	n	r	A	b	A
Escalette amont	Escalette aval	36	0,79	0,105	0,010	0,018

2. Corrélation entre les débits de la Fontaine des Sèches et l'exutoire du Goueil di Her (fig. 13).

Y	Y	n	r	A	b	A
Fontaine des Sèches (débit)	Goueil di Her (débit)	31	0,86	0,135	0,019	0,016

Le débit issu de l'exutoire karstique du Goueil représente 80% du débit total. Le Goueil est donc l'exutoire principal du système.

B6c. Observations hydrologiques à la Fontaine des Sèches.

Au vu des enregistrements limnigraphiques et des hydrogrammes correspondant, il apparaît que :

- le transfert est très rapide (montée de crue en moins d'une heure) ;

- mais l'état du système influe sur l'intensité, le retard de la réponse aux pluies.

B6d. Etude des courbes de récession et de tarissement à la Fontaine des Sèches.

S. Puyôo a calculé les paramètres suivants au cours de trois crues.

Le volume dynamique (dont la méthode de calcul sera explicitée dans le chapitre suivant).

Vd₁ = 185.10³ m³ avec 32% d'erreur relative.

Vd₂ = 135.10³ m³ avec 29% d'erreur relative.

Vd₃ = 191.10³ m³ avec 16% d'erreur relative.

L'étude a conduit à classer l'exutoire de la Fontaine des Sèches dans la classification des systèmes karstiques d'après A. Mangin (1975), (fig. 14b).

K traduit l'importance du Karst noyé déterminant les courbes de tarissement.

i: caractérise la forme de l'hydrogramme de décrue.

B7. Résultats des mesures chimiques et isotopiques.

. Peu après les pointes de crues apparaissent, au niveau des exutoires, des eaux à court temps de transit à caractères physicochimiques et isotopiques très marqués. Ceci implique que lors des crues les réserves sont partiellement isolées de drains qui se conduisent en "conduites forcées". Dans le temps :

. en hiver (de décembre à mars) il y a sortie d'un mélange où l'eau de réserve prend une part importante, même pendant les crues.

. de mars à mai les eaux à court transit prédominent.

. de mai à août les eaux prennent de plus en plus, avec le temps, des teneurs signifiant un mélange croissant avec les eaux des réserves.

B8. Conclusion.

Le système du Goueil di Her se présente donc comme un système évolué. La concentration des écoulements est croissante de l'amont vers l'aval et au cours des crues apparaissent des circulations privilégiées le long des drains ; il est important de distinguer :

- le transit de l'eau relatif au déplacement de l'eau est appréciable par traçage (naturel ou non) ;

- le transfert qui est discernable lors de la propagation des ondes de crue.

L'étude hydrométrique que nous allons faire n'est, bien entendu, qu'une étude sur le *transfert* de l'eau.

II^{ème} PARTIE

DE LA COLLECTE DES DONNEES AU
TRAITEMENT ET L'ANALYSE DES
CHRONIQUES

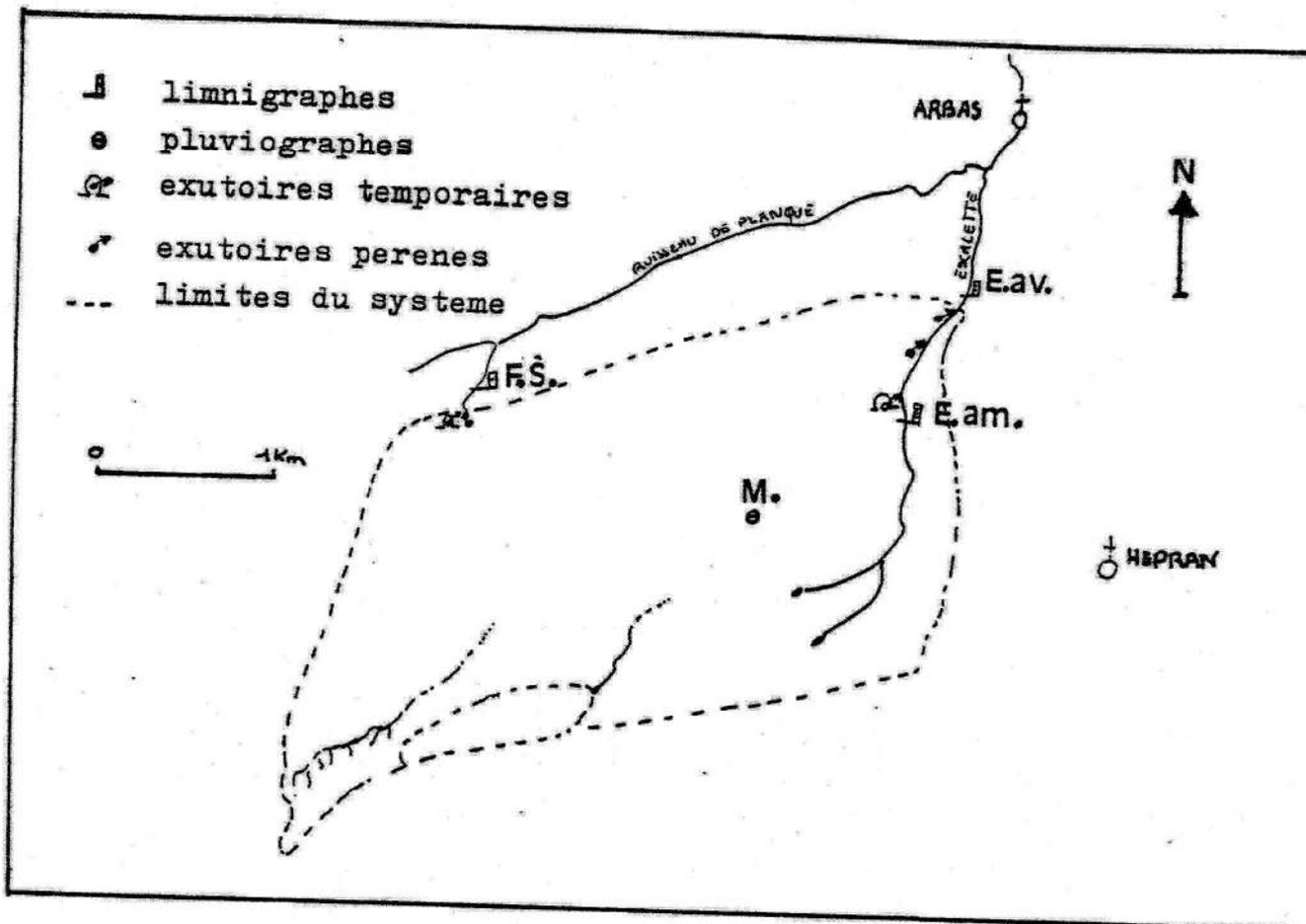


Figure 16: Situation des enregistreurs, le pluviographe de Balagué étant hors du domaine de recouvrement de la carte. (E.av : Escallette aval, E.am : Escallette Amont, F.S = Fontaine des Sèches, M = Mariatouck)

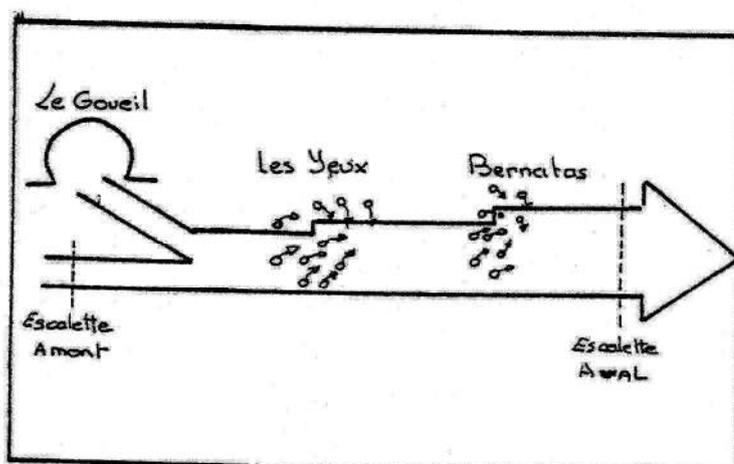


Figure 17: Situation particulière des stations limnimétriques Escallette Aval, Escallette Amont.

A. LA COLLECTE DES DONNEES.

A1. Description (fig. 16).

A1a. La mesure de la pluie.

. Située au centre du bassin versant la station de Mariarouch (altitude 900m) a été relevée relativement régulièrement depuis la période 1978-1984, mais les bandes relevées n'ont pas été dépouillées à ce jour.

. Située sur le versant sud du Massif d'Estalas, à l'Est du Massif d'Arbas, la station de Balagué (altitude 650m) a été installée pour étudier le Karst expérimental du Bajet ; elle est située à environ 11 kilomètres du centre du Bassin Versant du Goueil di Her mais présente la caractéristique d'avoir été suivie et dépouillée sans interruption pendant la période concernée.

Ces deux stations sont équipées d'un pluviographe mensuel à auget basculeur.

A1b. La mesure des hauteurs d'eau aux exutoires.

Le système du Goueil di Her possède deux exutoires accessibles à la mesure, la méthode consistant à mesurer la hauteur d'eau dans une station qui se doit d'être fixe ; pour ce faire, des seuils bétonnés ou empierés ont été posés. La mesure est pratiquée à l'aide de limnigraphes mensuels "OTT 16". Trois limnigraphes ont été posés.

1. Le limnigraphe de la Fontaine des Sèches mesure directement la hauteur de l'eau qui s'écoule au débouché de la résurgence ouest du système.

2. Le limnigraphe de l'Escalette Amont qui mesure la hauteur d'eau due à l'écoulement de surface sur le bassin versant de l'Escalette.

3. Le limnigraphe de l'Escalette Aval qui mesure la hauteur d'eau due aux écoulements précédents et aux écoulements karstiques (fig.17).

Toutes ces stations ont été régulièrement relevées, aucune n'avait été dépouillée.

A1c. La relation (hauteurs d'échelle - débit).

Quelques mesures de débits avaient été effectuées sur les stations depuis leur installation complète. Malheureusement il manquait cruellement de mesures de débits par les grandes hauteurs d'échelle, ceci pour des raisons simples qui sont :

- brutalité et brièveté des crues ;
- distances du laboratoire aux stations.

Il m'était impossible, dans le temps qui m'était imparti, de compléter de manière satisfaisante toutes les courbes de tarage.

A1d. Le facteur qui allait le plus limiter le travail fut le temps disponible (1 mois pour dépouiller et traiter). En effet, pour transformer un enregistrement limnigraphique de 6 ans en débits moyens journaliers stockés numériquement, il faut environ 100 heures de travail. Le lecteur comprendra aisément qu'il était impossible d'exploiter toutes les données disponibles en si peu de temps ; il fallut donc opérer des choix, difficiles puisqu'ils limitaient la portée du travail.

Il a donc été choisi de centrer l'étude sur l'exutoire du Goueil au dépens de la Fontaine des Sèches (bien étudiée par S. Puyôo) et de se servir des pluies mesurées à Balagué à la place de celles de Maria-rouch.

A2. Le problème de la "justesse" des mesures.

A2a. Cas de la pluie.

Nous ne poserons pas ici le problème de la précision sur la mesure mais plutôt le problème de sa représentativité par rapport aux pluies qui tombent sur le bassin. C'est ici qu'intervient "l'optique du travail" : en effet, s'il s'agissait d'établir des résultats quantifiés et de "clore" un bilan hydrologique, cette démarche serait inadmissible. Mais ici, seule nous intéresse la *description* du système karstique. En définitive le but de l'étude des précipitations est dans un premier temps d'analyser la *structure du signal pluie, structure qui, elle, est régionale* (A. Mangin, 1984). Dans un deuxième temps, lorsque l'on comparera les signaux pluies et débits pour trouver la forme de la réponse impulsionnelle, une certaine prudence sera nécessaire.

A2b. Cas des débits.

A2b1. Impression sur les hauteurs d'échelle.

Lors d'une lecture d'échelle limnigraphique la précision absolue est de 0,5 cm et même parfois plus si le batillage est important. Pour un limnigraphe l'imprécision dépend en plus de la réduction qui est opérée.

A2b2. Imprécision sur les débits.

Le problème le plus sensible est celui de la transformation (hauteur-débit) par l'intermédiaire de la courbe de traçage. En effet, à l'imprécision des hauteurs s'ajoute l'imprécision de mesure des débits. La méthode choisie est le jaugeage au moulinet hydrométrique par intégration verticale. L'appareil utilisé est celui conçu par A. Duboé qui est connu sous le nom de perche Agar 2. Le principe de fonctionnement de l'appareil est le suivant :

L'axe de rotation de l'hélice remonte à vitesse régulière le long de la tige de support du moulinet. La mesure comprend donc le nombre de tours de l'hélice étalonnée et le temps mis pour la remontée, on obtient ainsi directement la vitesse moyenne sur la verticale considérée.

Les erreurs de mesures sont dues (d'après A. Mangin, 1975) :

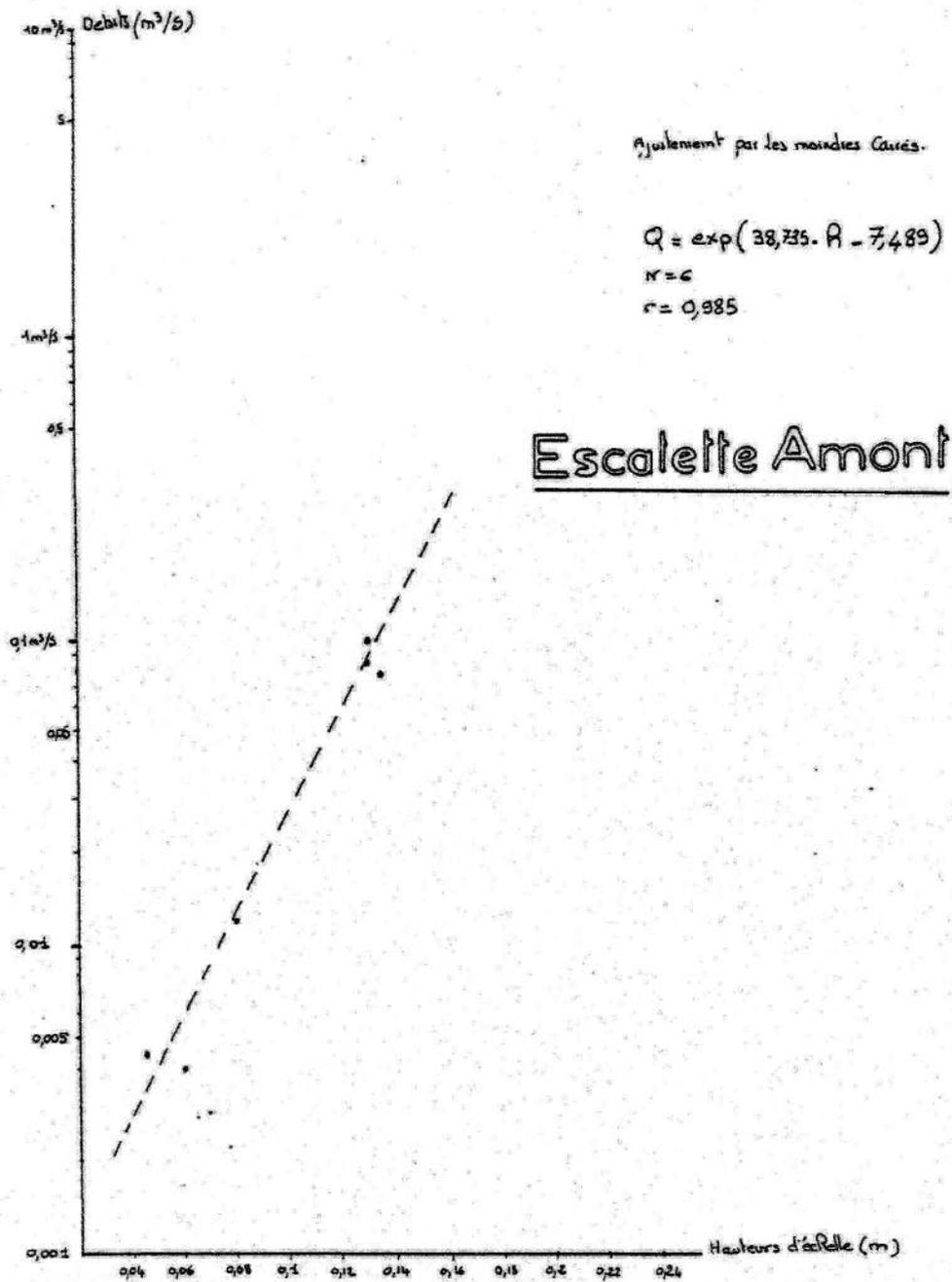


Figure 19: Tentative d'ajustement des points (débits, hauteurs) à une loi mathématique simple. (échelle semi-log)

1. Au fait que l'hélice mesure la résultante de la vitesse de l'eau et de la vitesse de remontée de l'hélice, ce qui donne pour les valeurs courantes des vitesses, une erreur relative de 0,75%.

2. Du fait de l'inertie du système de remontée, la vitesse choisie met 1/2 seconde à se stabiliser soit, sur une verticale de 0,15m avec une vitesse de remontée de 0,01 m/s, une erreur de vitesse de remontée de 0,97%.

3. Du fait du diamètre de l'hélice il est impossible de mesurer la vitesse au fond d'où une erreur systématique d'autant plus faible que la profondeur est grande.

4. La mesure des profondeurs est entachée d'une imprécision absolue de $\pm 0,25$ cm, c'est-à-dire par des profondeurs de 15 cm une erreur relative de 1,66%.

5. La méthode de dépouillement, planimétrie ou moyenne pondérée, joue puisque des erreurs relatives ont été constatées bien qu'elles ne dépassent jamais 1%.

Au total en procédant selon un protocole fixant le nombre de verticale et la vitesse de remontée on est en droit d'espérer une erreur relative de l'ordre de 1% ; en effet, la confrontation avec les traçages chimiques (A. Mangin, 1975) nous permet d'envisager une erreur de cet ordre.

Hormis l'erreur de mesure elle-même, des erreurs plus importantes seront commises lors de la transformation des hauteurs en débits. En effet, nous disposons de peu de points de mesure des couples (hauteur d'échelle, débit).

Six points par station ont été établis, ce qui est peu, d'autant plus que ces points sont représentatifs de petits débits qui sont essentiellement des débits d'étiages.

A2b3. Les mesures disponibles.

Station Escalette Aval		Station Escalette Amont	
Hauteur (m)	Débit m^3s^{-1}	Hauteur (m)	Débit m^3s^{-1}
0.045	0.0045	0.04	0.04
0.06	0.004	0.065	0.084
0.08	0.012	0.155	0.397
0.13	0.086	0.17	0.412
0.13	0.104	0.175	0.385
0.135	0.078	0.185	0.461

A2b4. Tentative d'extrapolation des mesures.

La démarche la plus simple conduit à la recherche d'une relation mathématique qui permettrait d'extrapoler ces valeurs entre les points puis, par la suite, aux valeurs plus hautes des échelles.

L'ajustement le meilleur trouvé pour Escalette Aval est la re-

lation $Q = 7,061 \cdot h^{1,61}$ et pour Escalette Amont $Q = \exp(38,735 \cdot R - 7,489)$ (fig. 18 et 19). Mais ces extrapolations sont fausses pour les forts débits puisque, appliquées aux hauteurs d'échelle observées lors de la crue du 6 et 7/12/1982, le débit à l'Escalette Aval devient supérieur au débit à l'Escalette Amont (fig. 20).

L'examen de la géométrie des sections peut nous fournir une réponse partielle à ce problème.

Pour l'Escalette Aval (fig. 21) :

L'examen de la section montre que la section est rectangulaire jusqu'à des hauteurs d'échelle d'environ 40 cm, or la relation trouvée est significativement proche de la formule théorique d'un écoulement uniforme dans une section rectangulaire (G. Remenieras, 1965).

$$Q = K \cdot H^{1,5} \quad K \text{ étant une constante.}$$

Il est probable que lorsque la hauteur d'échelle dépasse 40 cm la relation tende vers une exponentielle du même type que la relation trouvée à Escalette-Amont.

Pour l'Escalette-Amont (fig. 22) :

L'examen de la section montre que la section est évasée à sa base jusqu'à une hauteur d'échelle estimée à 10 cm où elle devient de type rectangulaire. La relation doit donc tendre vers une relation type "puissance".

En un mot, il est probable :

1. que la relation hauteur-débit à l'Escalette Aval obéisse à la loi ajustée jusqu'à des hauteurs d'échelle de 40 cm (soit un débit de $1,61 \text{ m}^3/\text{s}$).

2. que la relation hauteur-débit à l'Escalette-Amont obéisse à la loi ajustée jusqu'à des hauteurs d'échelle de 20 cm (soit un débit de $1,29 \text{ m}^3/\text{s}$).

Cette impossibilité de trouver une bonne extrapolation nous obligera à abandonner l'étude des décrues et l'espoir de clore un bilan. Néanmoins, en étant conscient de la sous-estimation imposée aux débits forts, le limnigramme de l'Escalette-Amont a été dépouillé avec la relation trouvée pour les bas débits.

$$Q = 7,06 \cdot H^{1,61}$$

B. QU'EST-CE QU'UNE CHRONIQUE ET A QUOI SERT-ELLE.

B1. Remarques préliminaires.

Les données sont constituées par des "enregistrements" dits "continus" des quantités d'eau tombées dans le pluviographe de la station de Balagué, et des hauteurs d'eau mesurées à la station Escalette-Aval.

. Le terme "enregistrement" désigne la collecte de deux mesures

Figure 21: ESCALETTE AVAL

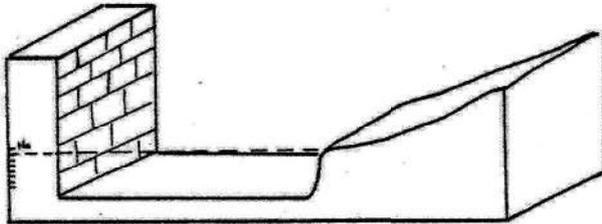
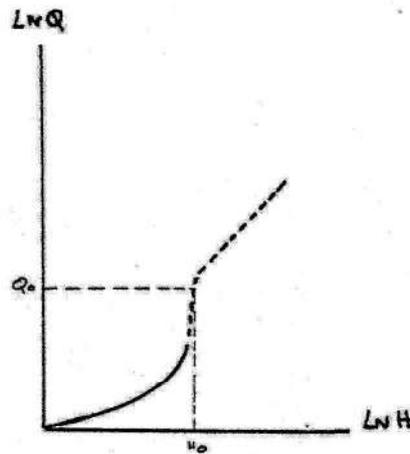
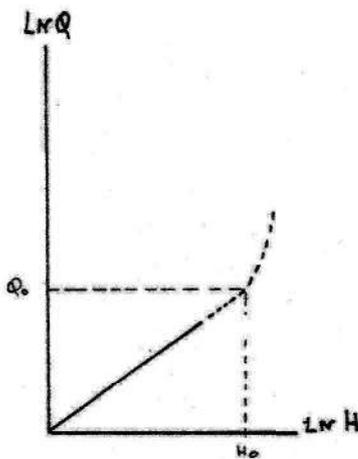
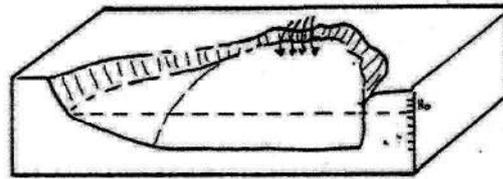


Figure 22: ESCALETTE AMONT



Relation supposée entre géométrie et courbes de tarages pour les deux stations. Les suppositions vont dans le sens de l'erreur observée (Fig. 20)

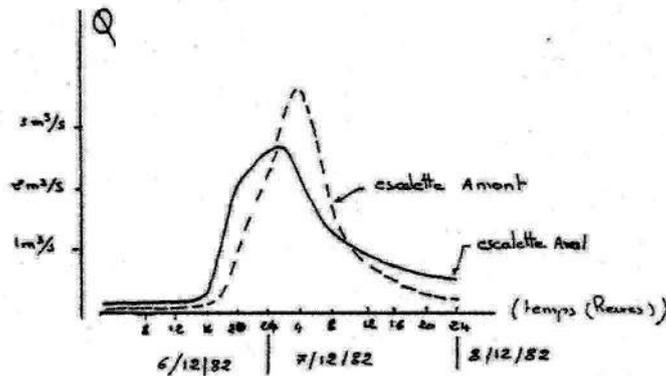


Figure 20: Dépouillement d'une crue à l'aide des ajustements mathématiques sur les petits débits.

La figure montre que ces lois ne sont pas extrapolables puisque les débits sont plus forts en amont qu'en aval.

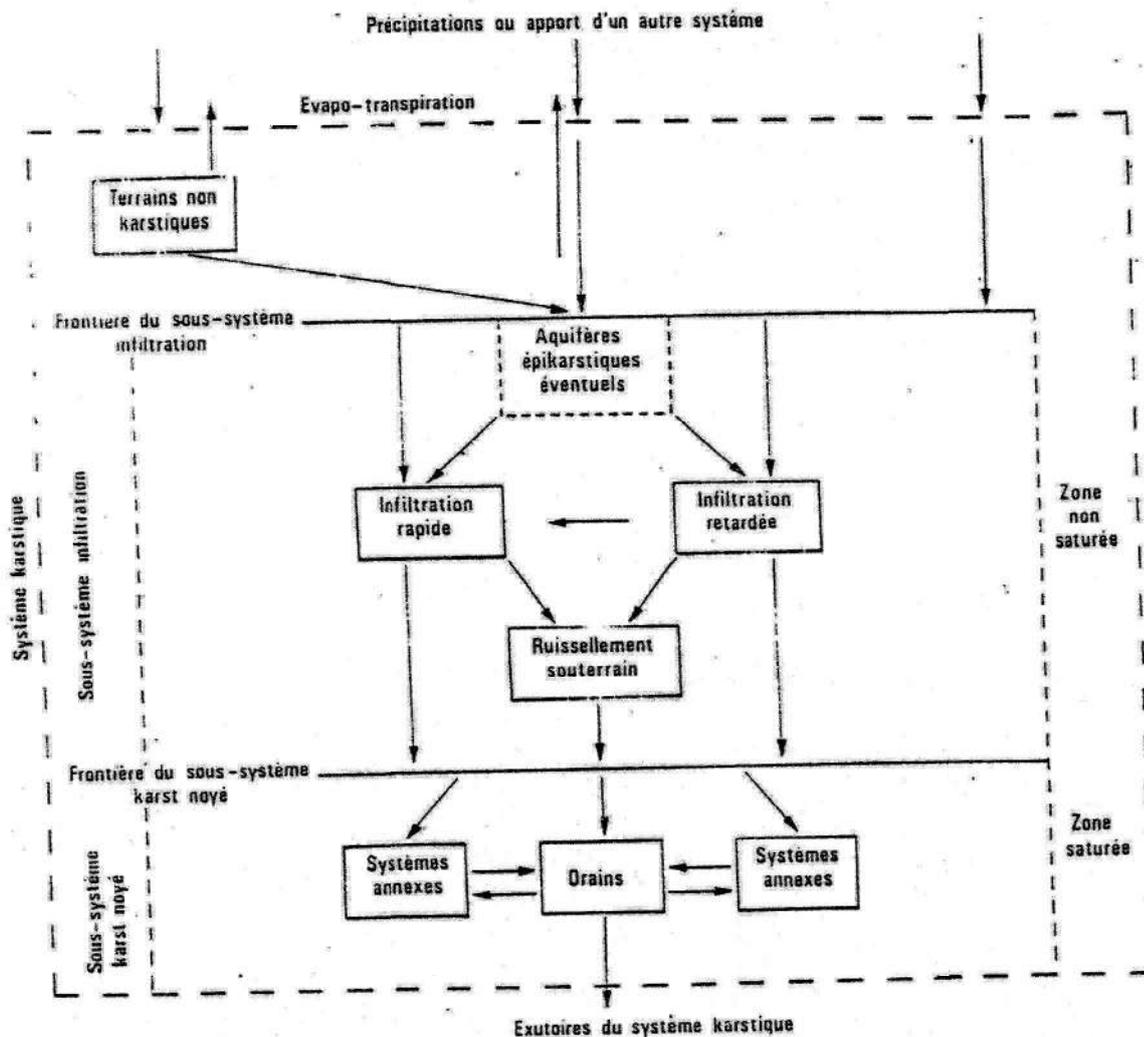
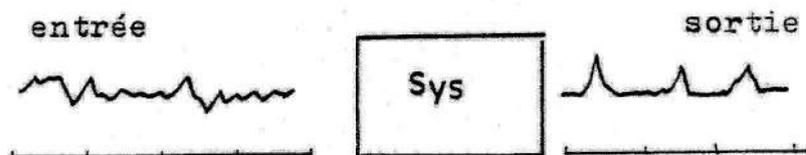


Figure 23: représentation conceptuelle du système karstique
 -la complexité et la difficulté d'accès rendent
 difficile l'étude séparée des sous-systèmes

Figure 24: représentation schématique du fonctionnement d'un système.



Cas général: on remarquera que la sortie au temps t correspond à la succession des entrées antérieures

simultanées qui sont la mesure hydrométrique, la mesure temporelle, cette simultanéité étant la caractéristique d'une chronique.

. Le terme "continu" est un effet de l'échelle considérée car l'information est de type discrète :

- la mesure est elle-même discrète (impulsion du système d'horlogerie, basculement d'auget) ;
- la mesure est entachée d'une erreur due à la sensibilité de l'appareil qui impose le caractère discret (J. Max, 1980).

. Du fait du caractère fondamentalement discret et pour faciliter le traitement numérique, à la chronique idéale qui refléterait parfaitement "la réalité", on substitue une série temporelle qui est le résultat d'un échantillonnage. C'est-à-dire que l'on "prélève" les mesures à des temps t_1 , t_2 , ... t_N espacés par un pas d'échantillonnage Δt . Par convention on appellera :

x_1	la mesure de x au temps	$t_0 + \Delta t = t_1$
x_2	la mesure de x au temps	$t_0 + 2\Delta t = t_2$
x_3	la mesure de x au temps	$t_0 + 3\Delta t = t_3$
x_N	la mesure de x au temps	$t_0 + N\Delta t = t_N$

B2. Signification des chroniques. Approche systémique.

Une chronique est généralement considérée comme la réalisation d'un processus, d'un phénomène, mais d'une manière plus pragmatique, si par exemple l'on s'interroge sur ce qui détermine la chronique des débits on arrive inévitablement à la conclusion que ce sont les pluies antérieures "modulées" par leur passage sous-terrain. D'une manière générale une chronique est souvent le résultat "du passage" d'une ou plusieurs chroniques dans un système.

"Un système peut être défini comme un complexe d'éléments en interaction. Par "interaction" nous entendons des éléments p liés par des relations R de sorte que le comportement d'un élément p dans R diffère de son comportement dans une autre relation R' " (L. Vonbertalanfly, 1976). C'est cette approche systémique qui va nous guider par l'étude du système karstique : *"ensemble au niveau duquel les écoulements souterrains de type karstique s'organisent pour constituer une unité de drainage"* (A. Mangin, 1975) (fig. 23). Cette approche est en définitive la seule possible puisque la complexité et le nombre des modes de transit des eaux ne permettent pas que l'on détaille et quantifie les processus particuliers qui jouent. Nous avons donc accès à une relation qui est la composée de multiples relations particulières. La limite de cette approche globalisante se trouve dans la réflexion de Pascal *"je tiens pour impossible de connaître les parties sans le tout, non plus que de connaître le tout sans connaître particulièrement les parties"*.

B3. Conventions et remarques sur les systèmes.

Le fonctionnement d'un système est généralement décrit par la schématisation suivante (fig. 24) :

- Une ou plusieurs chroniques définissent les entrées qui sont causables.
- Une ou plusieurs chroniques définissent les sorties résultantes du système et de toute l'histoire des entrées du système (J. Max, 1980).

On ne sait bien décrire que des systèmes linéaires qui sont alors parfaitement décrit par leur réponse impulsionnelle.

B4. Méthode de connaissance d'un système.

Aussi paradoxal que cela puisse paraître la connaissance d'une chronique d'entrée quelconque et de la chronique de sortie d'un système ne permet pas la détermination de la réponse impulsionnelle, en effet ce n'est que dans des cas particuliers de chroniques d'entrées qu'il est possible de déterminer parfaitement la réponse impulsionnelle du système. On distingue des méthodes locales qui n'utilisent que des portions de chroniques et des méthodes globales qui utilisent toutes la longueur de chronique disponible, ces méthodes sont toutes dérivées des méthodes de traitement du signal.

B4a. Méthodes locales.

B4a1. Méthode de l'échelon unitaire, de l'hydrogramme unitaire, de l'impulsion de Dirac (Remenieras, 1965, J. Max, 1980, L. K. Scherman, 1941).

Le système est soumis à une impulsion rectangulaire de surface unité infiniment petite vis-à-vis de la réponse impulsionnelle ; sa réponse est alors la réponse impulsionnelle du système (fig. 29).

B4a2. Méthode du phénomène transitoire.

On étudie la réaction du système lorsqu'il cesse d'être soumis aux influences de l'entrée, sur cette évolution il est parfois possible de caler des modèles déterministes. Par exemple : il y a analogie entre l'étude de la décharge d'un condensateur et l'étude des courbes de décrue et de tarissement (fig. 28), (A. Mangin, 1975 ; Remenieras, 1965 ; Maillet, 1905).

B4b. Méthodes globales.

B4b1. Méthode de la répartition statistique.

Le système change la répartition statistique des pluies en une répartition différente des débits (fig. 30). S'il est courant dans la littérature de trouver des ajustements à des lois statistiques de la répartition des pluies et des débits de manière séparée, il n'a pas pu être trouvé une approche systémique permettant de déduire des caractéristiques du système à partir de la modification des répartitions.

B4b2. Méthode corrélative et spectrale.

Cette méthode requiert que la fonction entrée du système ait un caractère strictement aléatoire marqué. Ainsi la chronique de sortie possède deux composantes : une composante aléatoire marquée de l'entrée, une composante structurée marquée du système (fig. 31).

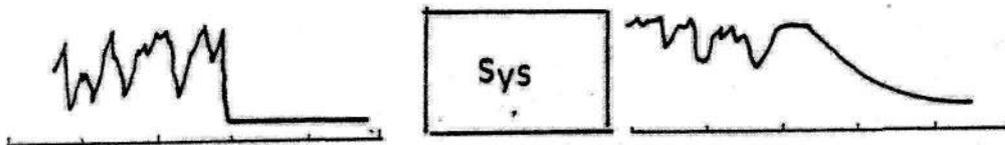


Figure 28: Réponse transitoire: si l'entrée cesse le système délivre une réponse caractéristique .

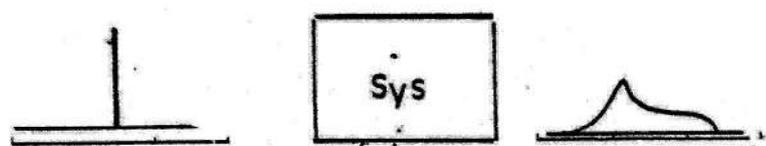


Figure 29: Réponse impulsionnelle: le système soumis à une entrée infiniment brève délivre la réponse impulsionnelle du système.

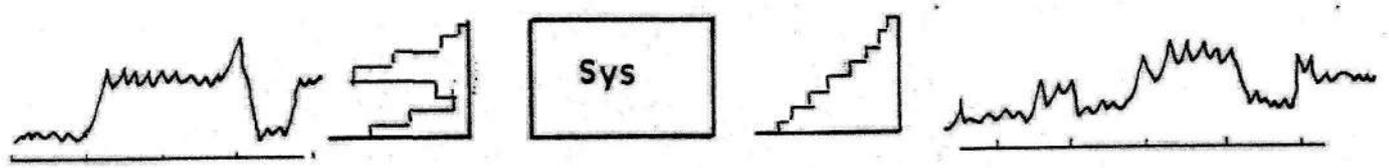


Figure 30: Répartition statistique: le système modifie de manière caractéristique l'histogramme des fréquences.

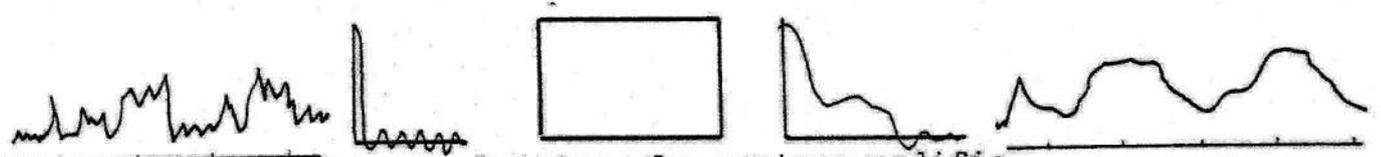


Figure 31: Méthode corrélatrice: le système modifie la structure aléatoire du signal.

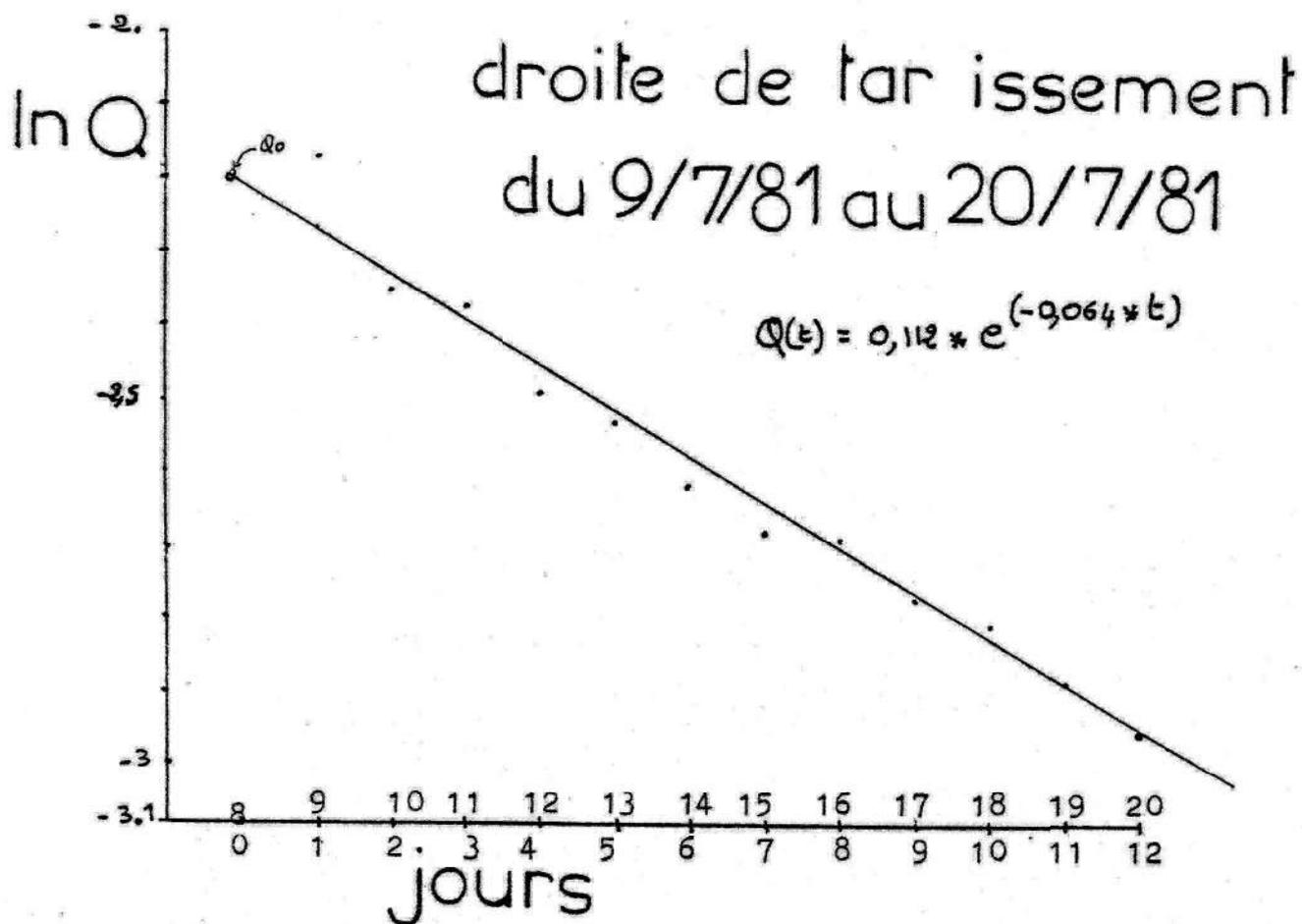


Figure 33a/Décroissance des débits karstiques en situation de non alimentation.

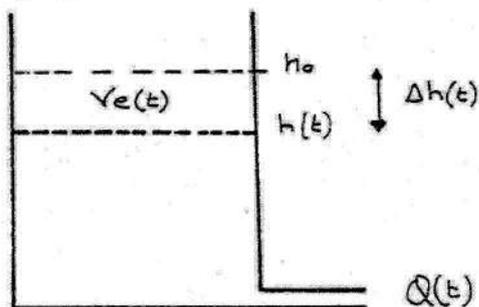


Figure 32: Modèle théorique de la vidange d'un réservoir.

Cette méthode est certainement la plus puissante, la littérature est abondante sur le sujet et c'est elle qui sert préférentiellement pour l'observation des systèmes hydrologiques rapides. Nous nous limiterons dans cette étude à la description du fonctionnement mais il est évident que cette démarche est le préliminaire à toute modélisation à des fins de prévision.*

B4c. Conclusion.

Il existe 4 méthodes connues d'analyse des systèmes à travers leurs chroniques entrée-sortie.

Nous appliquerons :

- l'étude des tarissements ;
- l'étude de la perturbation de la répartition ;
- l'étude selon la méthode corrélatrice simple puis corrélatrice croisée ;
- enfin, à titre d'illustration, nous comparerons un hydrogramme aux résultats de l'analyse corrélatrice croisée.

C. LES DIFFERENTES METHODES D'ANALYSE. PRINCIPES ET APPLICATIONS.

C1. Etude des tarissements.

C1a. Principes.

Il avait été initialement prévu de réaliser une étude des décrues mais, à cause des difficultés d'extrapolation des courbes de tarage, seule l'étude des tarissements a pu être effectuée.

On observe que sur les débits les plus bas et lorsqu'il ne pleut pas, les débits suivent une loi de décroissance exponentielle avec le temps du type

$$Q = Q_0 e^{-\beta t}$$

Cette loi correspond au modèle théorique d'un réservoir se vidant et dont le débit serait proportionnel à la charge (fig. 32).

$$\begin{aligned} \text{donc } Q(t) &= \alpha \Delta h(t) \\ V_e(t) &= \int_0^t Q(t) \delta t \\ V_e(t)^\circ &= S \cdot \Delta h(t) \end{aligned}$$

ou $Q(t)$ est le débit au temps t
 $\Delta h(t)$ est la baisse de charge au temps t
 $V_e(t)$ est le volume écoulé au temps t
 S est la section du réservoir est une constante.

$$\text{On obtient } \frac{S \cdot Q(t)}{\alpha} = \int_0^t Q(t) \delta t \quad \text{d'où} \quad \frac{\delta Q}{Q} = - \frac{\alpha}{S} \delta t$$

$$\text{Ce qui donne : } Q = Q_0 \cdot e^{-\beta t}$$

*Nota: Les auteurs travaillant dans cette voie sont nombreux, on trouvera dans la bibliographie les derniers développements de ces techniques.

Si l'hypothèse de proportionnalité du débit avec la charge est vérifiée, c'est qu'il existe en certains endroits du Karst, un écoulement défini dans des fractures non turbulent suivant des lois du type 1 et 4 (d'après Louis in G. de Marsily, 1981) ou la vitesse est proportionnelle au gradient.

On peut, après ajustement à la loi exponentielle, déterminer "le volume du Karst noyé dont l'écoulement détermine les variations de débit à l'exutoire" (Mangin, 1975).

Le volume global en régime non influencé sera donné par la relation :

$$V = \int_0^{\infty} Q \cdot \delta t = \int_0^{\infty} Q_0 e^{-\beta t} = \frac{Q_0}{\beta}$$

et avec Q_0 en $m^3 s^{-1}$ et β en jours $C = 86400$

$$V\delta = \frac{Q_0}{\beta} \cdot C$$

l'erreur sur le volume calculé est du type (A. Mangin, 1975)

$$\delta V = \delta Q + \frac{\left(\frac{1+\delta Q}{1-\delta Q}\right)}{\beta(\Delta t)}$$

à δQ est l'erreur relative sur les débits.

β le coefficient de tarissement.

Δt le temps de tarissement.

δV l'erreur relative sur le volume.

C1b. Application.

Trois courbes de tarissement ont été choisies (fig. 33). Les volumes dynamiques suivants :

date	volume calculé (m^3)	imprécision
- 9/7/82-20/7/81	157080	7,2%
- 30/5/83-22/6/83	178480	7,4%
- 17/6/82-28/7/82	192690	8,3%

Ce qui place l'exutoire du Goueil di Her :

entre Aliou où le $V\delta$ $0,5 \cdot 10^5$ à $10^5 m^3$

et le Baget où le $V\delta$ 10^6 à $3 \cdot 10^6 m^3$

Le système du Goueil di Her se conduit donc certainement de manière plus "inertielle" qu'Aliou et beaucoup moins que le Baget.

C2. Approche statistique descriptive.

C2a. Principes.

Il existe une façon particulière de représenter une partie de l'information contenue dans un signal, c'est d'étudier la répartition des valeurs mesurées. Le temps ne s'exprime plus alors qu'en terme de fréquence

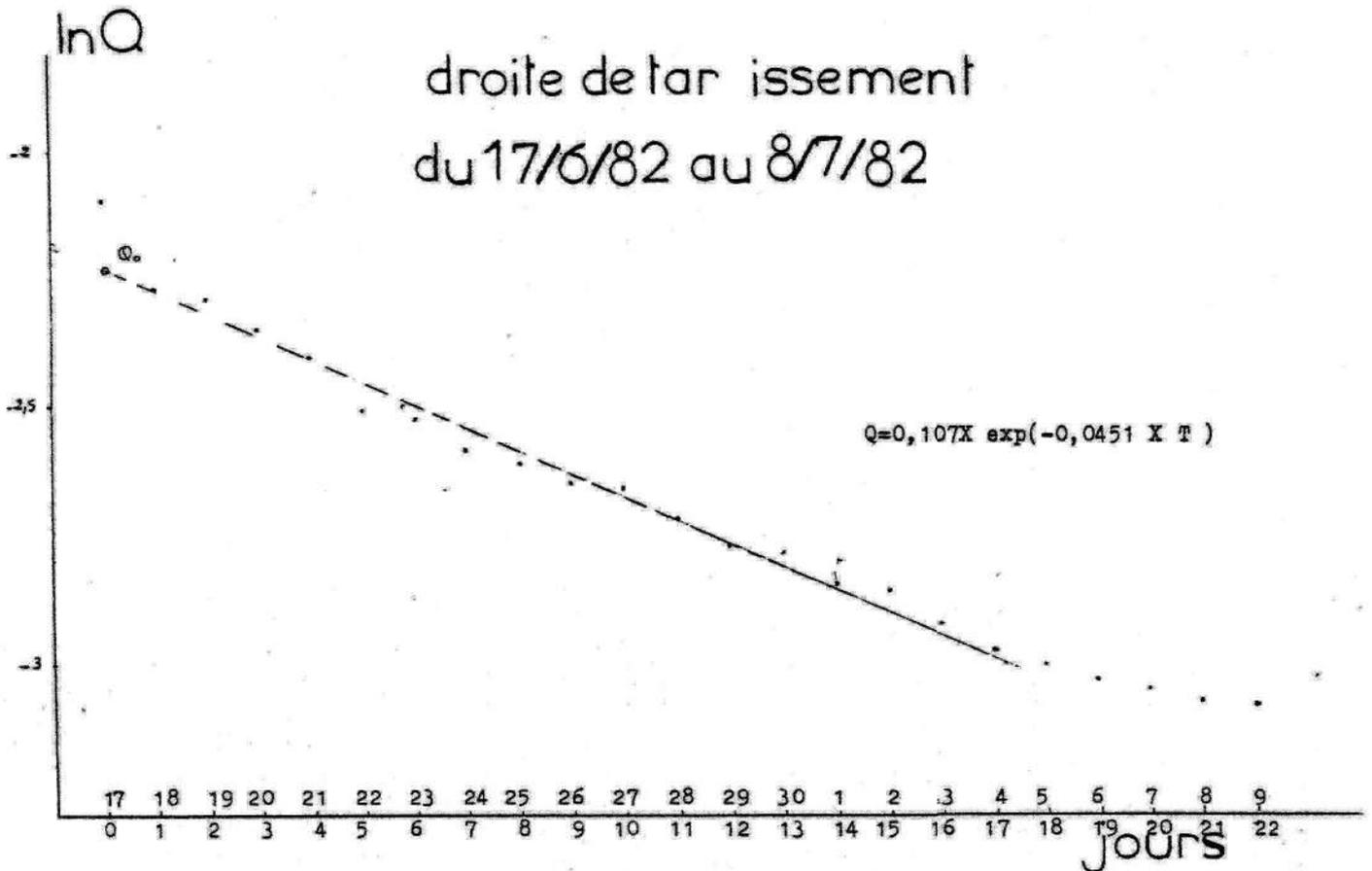
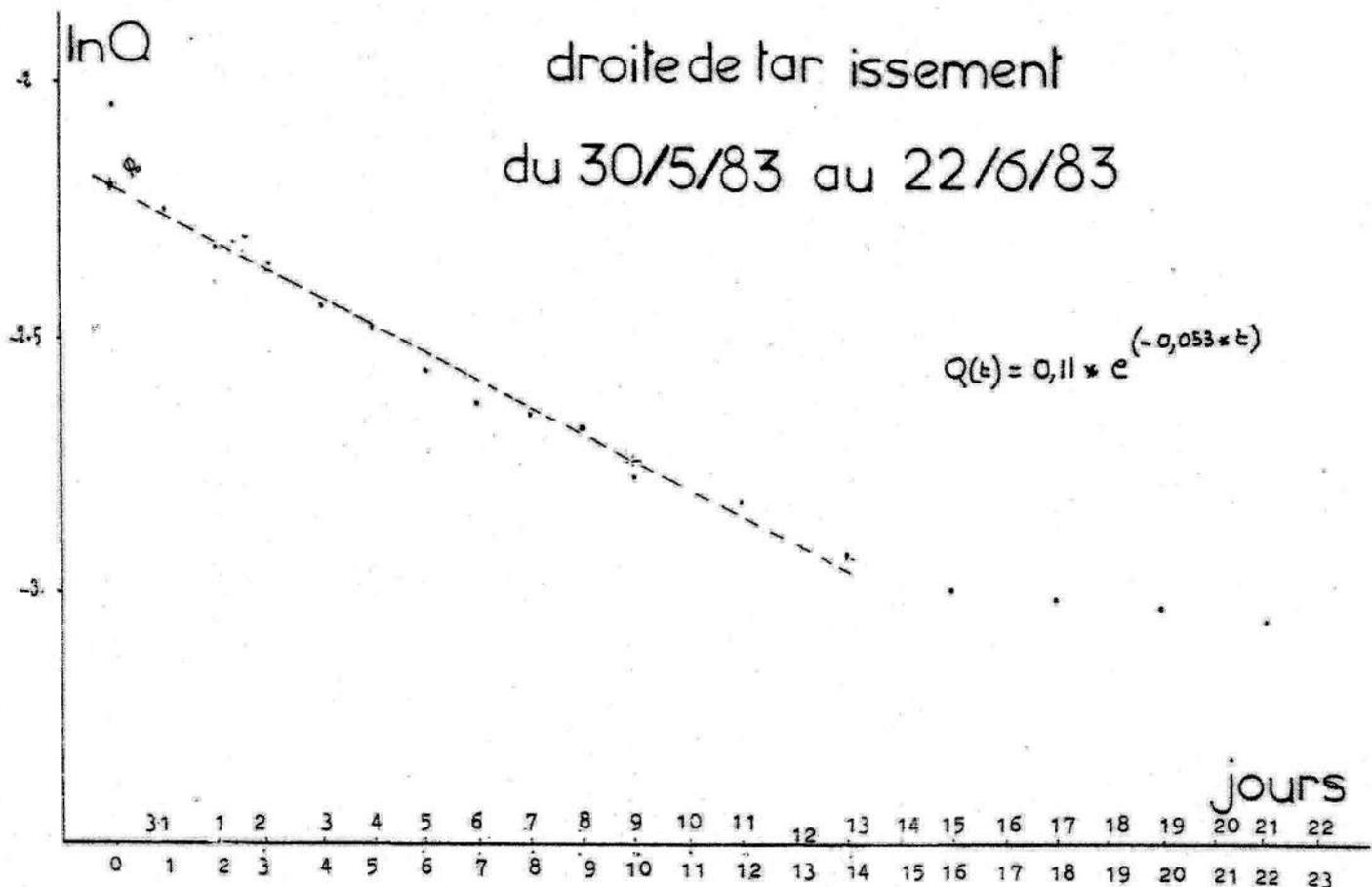


Figure 33b; Décroissance des débits karstiques en situation de non-alimentation.

Figure 33c; Décroissance des débits karstiques en situation de non-alimentation.



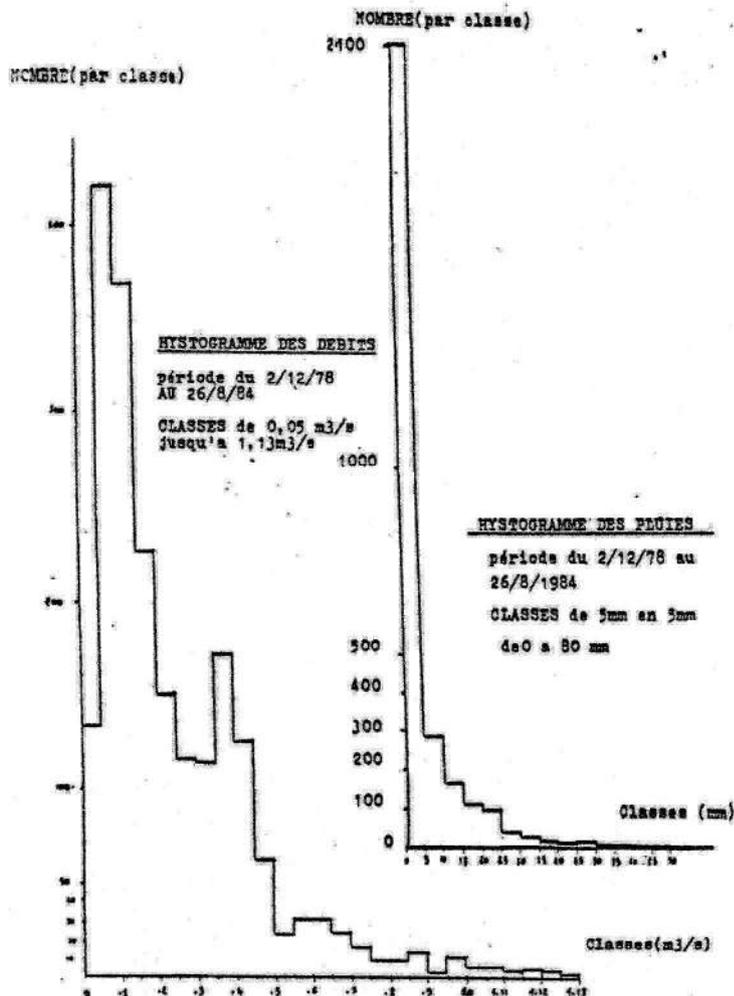
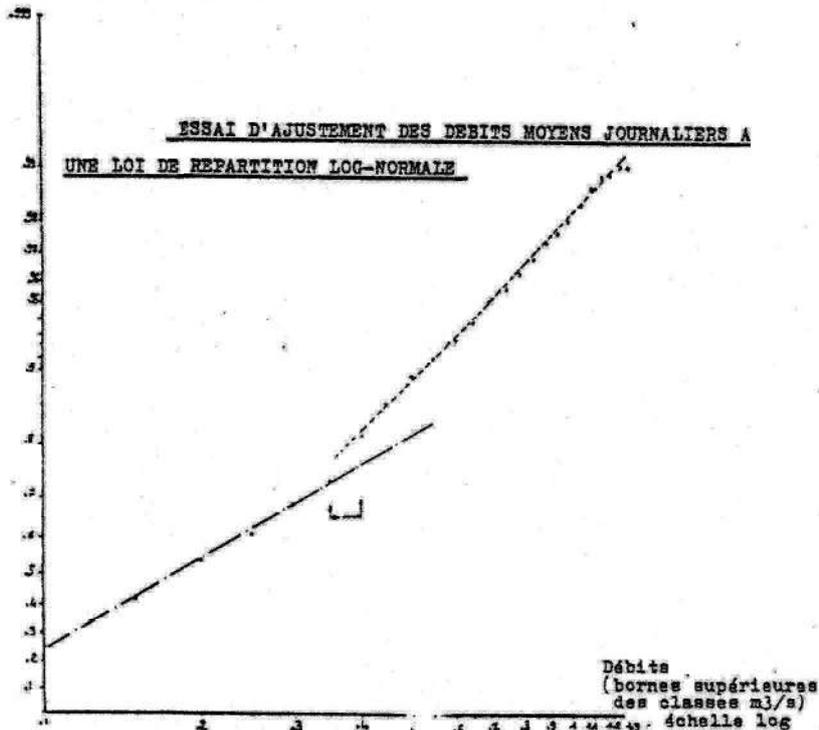


Figure 34 : Etude de la répartition statistique des débits moyens journaliers et des totaux pluviométriques journaliers. La différence entre les deux répartitions est une caractéristique du système.

Figure 35: on remarquera l'hétérogénéité de la répartition pour les débits de l'intervalle (.35, .4).

Fréquences cumulées
 (échelle gaussienne)



statistique. Cette démarche conduit à la construction de l'histogramme des fréquences. Pour illustrer la démarche il est utile de se représenter la chronique comme un boulier, placé en position horizontale, dont la situation des billes serait une image grossière des points représentatifs de la chronique portée sur un graphe mesure-temps (Analogie empruntée à J. Max, 1980).



Une fois le boulier renversé on obtiendrait par glissement des billes une image grossière de l'histogramme des fréquences.

C2b. Application.

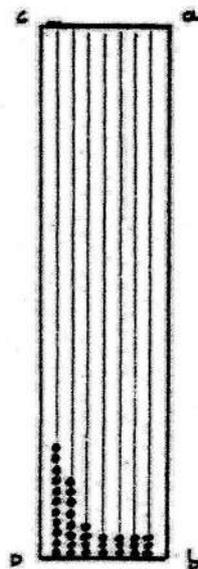
Cette démarche a été appliquée à la chronique des débits moyens journaliers classés par classe de $0,005 \text{ m}^3/\text{s}$ et à celle des totaux pluviométriques journaliers classés par classe de 5 mm pour la période du 2/12/1978 au 26/8/1984.

Les histogrammes construits montrent que les répartitions ne sont pas identiques. Le système apporte donc des modifications (fig. 34)

Si l'on cherche à ajuster la répartition des débits à une loi de probabilité log normale.

$$F(x) = \text{Prob} (X < x) = \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \int_0^x e^{-\frac{u^2}{2}} u$$

avec $u = a \log (Q - Q_0) + b$



On constate que sur un graphe, avec à l'ordonnée une échelle de probabilité où on reporte les fréquences cumulées et à l'abscisse une échelle logarithmique où l'on reporte les bornes supérieures des classes, les points s'alignent sur deux demi-droites (fig. 35) qui ont des pentes différentes. Cette hétérogénéité dans la répartition des débits n'est pas observable dans la répartition des pluies, c'est donc le système qui en est à l'origine. Les débits entre $0,1 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ et $0,35 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ et les débits entre $0,35 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ et $1,3 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ ne sont donc pas distribués selon les mêmes lois statistiques, bien que ces deux lois soient des lois log normales. Si l'on examine l'histogramme correspondant (fig. 34) il apparaît nettement que la distribution est bi-modale. A ce phénomène statistique correspond évidemment un phénomène observable sur le limnigramme (fig. 36). En effet, lors de toutes les décrues importantes, le limnigramme montre des paliers où la hauteur a tendance à se stabiliser (descente de 3 cm en une journée suivie d'effondrements où la hauteur chute brusquement : 10 cm en moins de 4 heures). Ce phénomène se retrouve aux mêmes hauteurs pour les montées en crues

bien qu'il soit bien moins marqué, ici la hauteur d'échelle augmente très brusquement, puis marque un palier descendant durant des temps de 1 heure à 18 heures pour réaugmenter brusquement par la suite. Il est probable que ces "anomalies" de fonctionnement correspondent à la mise en oeuvre d'un ou plusieurs trop-pleins; il a malheureusement été impossible d'observer le fonctionnement de la grotte du Goueil comme trop plein.

Si on dépouille le limnigramme pour la période du 16/10/1982 au 18/10/1982 et que l'on reporte les débits en fonction du temps sur un diagramme semi-logarithmique (fig. 37), il apparaît clairement 4 stades successifs :

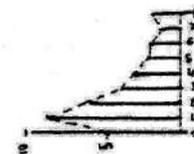
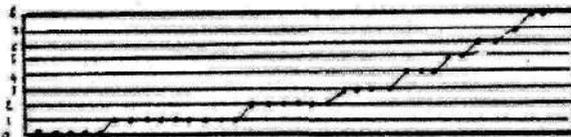
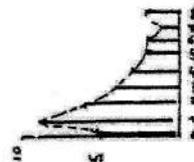
- A- stade de décrue ;
- B- stade de tarissement du trop plein ;
- C- le trop plein s'arrête de fonctionner ;
- D- le tarissement de base est maintenu,

qui peuvent être schématisés par un modèle de réservoir (fig. 38).

C2c. Conclusion et limite de la méthode.

En conclusion la méthode semble assez efficace mais n'exprime pas toutes les informations contenue dans le signal, en effet une infinité de chroniques de débits peuvent avoir le même histogramme des fréquences.

Si on reprend l'analogie avec les bouliers on voit que les deux chroniques ci-dessous ont le même histogramme de fréquence alors qu'il est intuitif, qu'elles ne contiennent pas la même information. En effet, c'est le mérite de l'analyse corrélatoire de mettre en évidence la succession des événements.



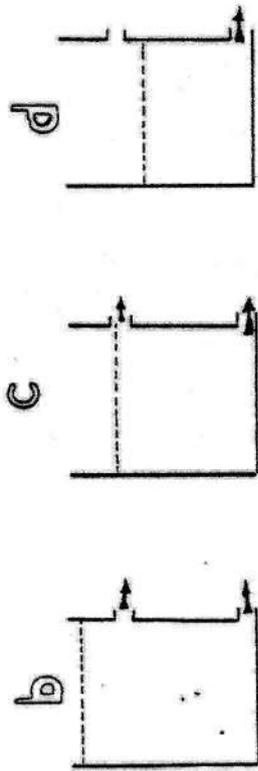
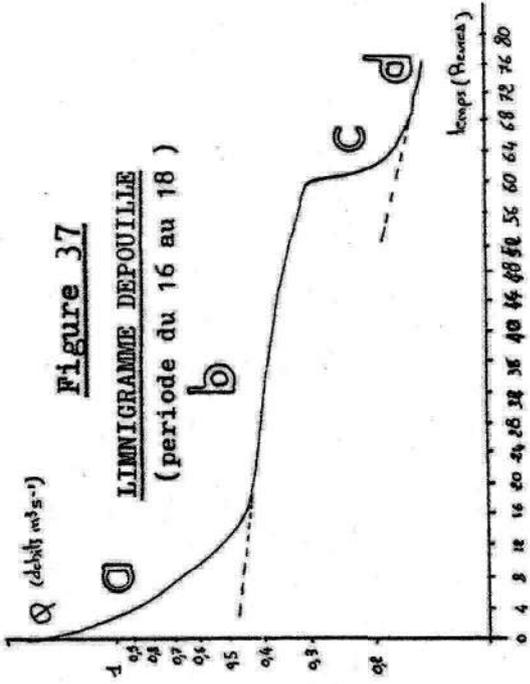


Figure 38 INTERPRETATION POSSIBLE DES STADES B, C, D
 (en c un trop plein cesse de couler)

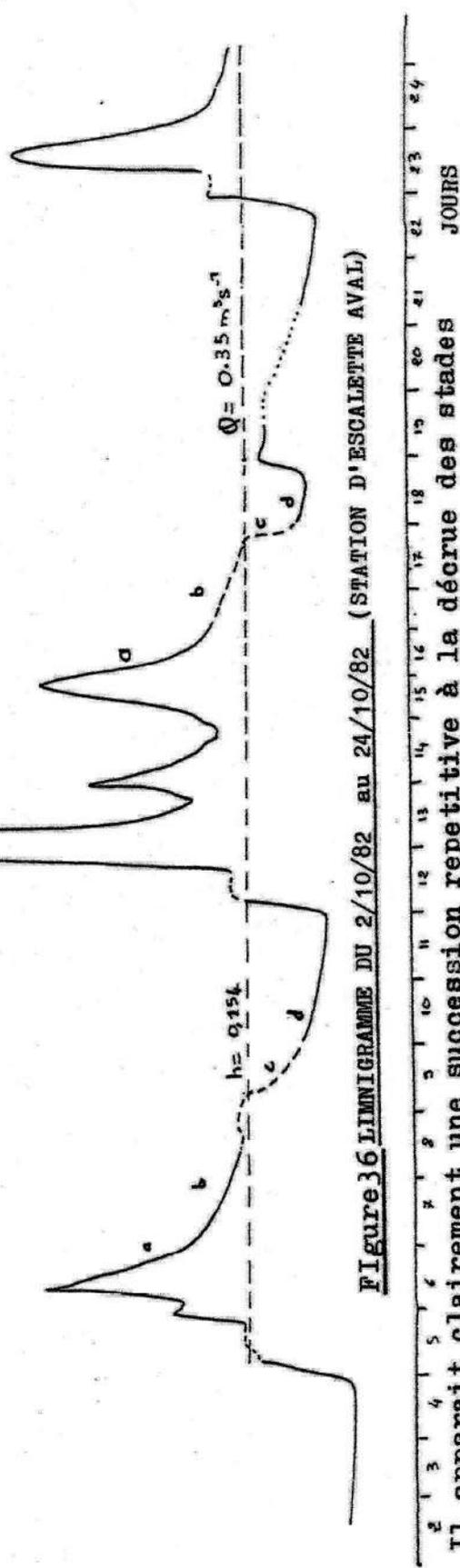


Figure 36 LIMNIGRAMME DU 2/10/82 au 24/10/82 (STATION D'ESCALETTTE AVAL)

Il apparait clairement une succession repetitive à la decrue des stades a; b; c; d qui sont la marque du systeme.

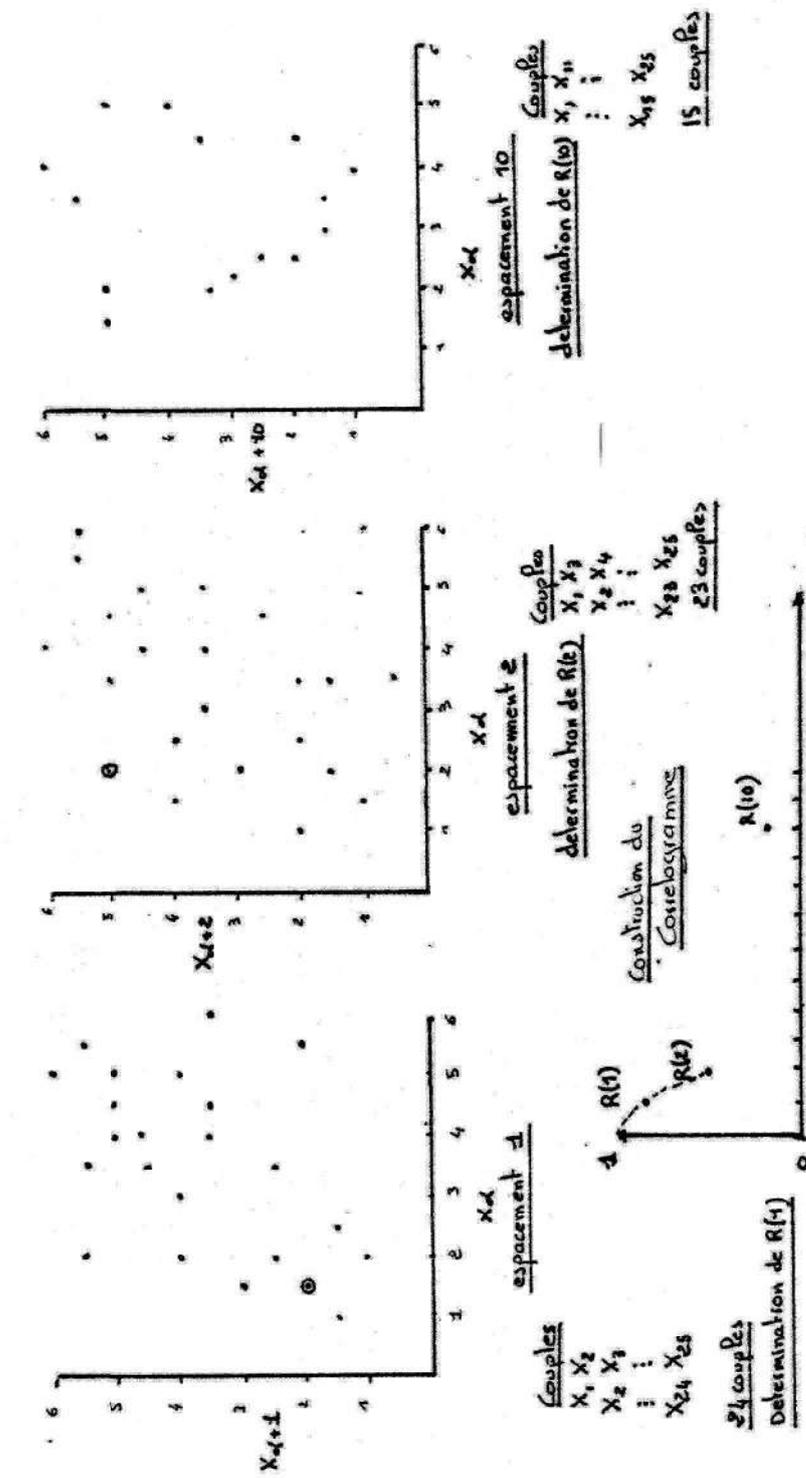
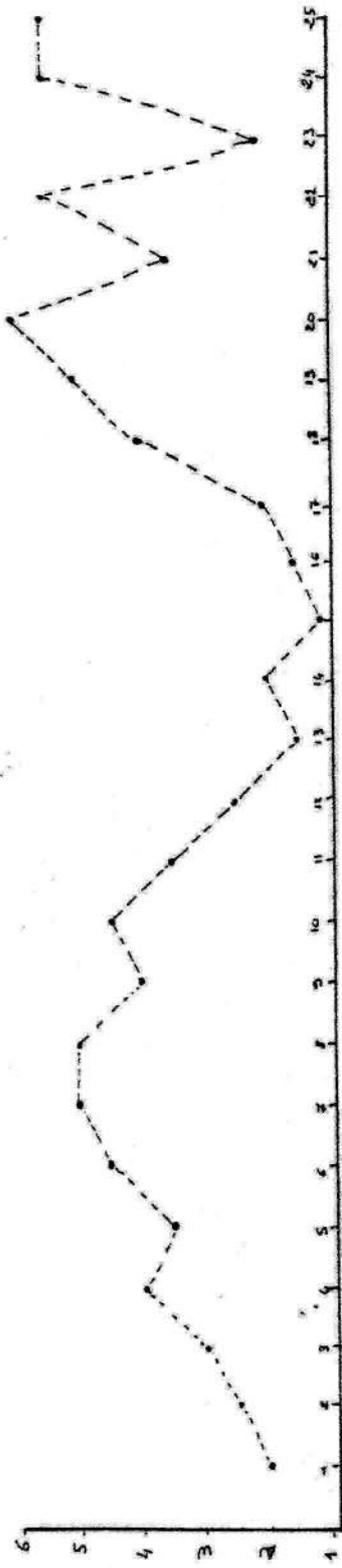


Figure 39: illustration de la démarche autocorrélatrice (en haut: chronique; au centre représentations des couples (X_i, X_{i+x}) avec $x=(1,2,10)$, en bas constitution du corrélogramme)