N° d'ordre 9588 Année 1988

THESE

présentée devant

L'UNIVERSITE CLAUDE BERNARD - LYON I

pour l'obtention du

DIPLOME DE DOCTORAT

par

Philippe VERVIER

HYDROLOGIE ET DYNAMIQUE DES PEUPLEMENTS AQUATIQUES SOUTERRAINS :

COMPARAISON DE DEUX SYSTEMES KARSTIQUES DES GORGES DE L'ARDECHE.

Soutenue le 12 juillet 1988

Jury :	Monsieur	H.	DECAMPS
	Madame	J.	GIBERT
	Monsieur	R.	GINET
	Monsieur	J.P.	METTETAL
	Monsieur	J.	MUDRY
	Monsieur	A.L.	ROUX

Travaux de l'Equipe " Hydrobiologie et Ecologie Souterraines"
U.A. C.N.R.S. 367 - Ecologie des Eaux Douces
Institut d'Analyses des Systèmes Biologiques et Socio-Economiques

UNIVERSITE CLAUDE BERNARD - LYON I

Président de l'Université	M. le Professeur P. ZECH
. 1er Vice-Président Fédération Santé	M. le Professeur L.M. PATRICOT
. 1er Vice-Président Fédération Sciences	M. le Professeur R. UZAN
. Président du Comité de Coordination des Etudes Médicales	M. le Professeur P. ZECH
. Secrétaire Général	M. F. MARIANI

FEDERATION SANTE

UFR de Médecine GRANGE-BLANCHE	Directeur : Mme le Pr. H. PELLET
UFR de Médecine ALEXIS-CARREL	Directeur : M. le Pr. EVREUX
UFR de Médecine LYON-NORD	Directeur : Mme le Pr. A. PINET
UFR de Médecine LYON-SUD	Directeur : M. le Pr. J. NORMAND
UFR de PHARMACIE	Directeur : M. le Pr. C.A. BIZOLLON
UFR d'ODONTOLOGIE	Directeur : M. le Pr. G. LABE
INSTITUT de TECHNIQUES DE READAPTATION	Directeur : M. le Pr. M. EYSSETTE
Département de BIOLOGIE HUMAINE	Directeur : M. le Pr. P.A. BRYON
Département d'INNOVATION et de COORDINATION PEDAGOGIQUE	Directeur : M. le Pr. G. LLORCA

FEDERATION SCIENCES

Institut des SCIENCES de la MATIERE	Directeur : M. le Pr. E. ELBAZ
Institut des SCIENCES DE L'INGENIERIE ET DU DEVELOPPEMENT TECHNOLOGIQUES	Directeur : M. le Pr. G. FONTAINE
Institut DE CHIMIE ET BIOLOGIE MOLECULAIRE ET CELLULAIRE	Directeur : Mme VARAGNAT, Maître de Conf.
Institut d'ANALYSE DES SYSTEMES BIOLOGIQUES ET SOCIO-ECONOMIQUES	Directeur : M. le Pr. J.M. LEGAY
Institut DES SCIENCES DE LA TERRE, DE L'OCEAN, DE L'ATMOSPHERE, DE L'ESPACE ET DE L'ENVIRONNEMENT	Directeur : M. le Pr. S. ELMI
UFR des ACTIVITES PHYSIQUES ET SPORTIVES	Directeur : M. le Pr. CAMY
I.U.T. A	Directeur : M. le Pr. J. GIELLY
I.U.T. B	Directeur : M. le Pr. J. PIVOT
Département de 1er Cycle pluridisciplinaire Sciences	Directeur : M. P. PONCET, Maître de Conf.
Département de 2ème Cycle	
- Sciences de la Vie et de la Terre	Directeur : M. le Pr. J.P. BLANCHET
- Sciences pour l'Ingénieur	Directeur : M. le Pr. P. BETHOUX
- Sciences de l'Analyse et de la Matière	Directeur : M. le Pr. VIALLE J.L.

Ces histoires souterraines
Ces chants de sources pérennes
Je te les dédie, de tout coeur
En ta mémoire, ma soeur.

De la recherche, la découverte
C'est vous qui me l'avez offerte,
Pour tout ces instants passionnants,
Je vous remercie, mes parents.

Les crues, la neige, les pluies fines,
Rien ne t'a découragé,
Ta force a tout dépassé,
Cette création est aussi tienne, christine.

AVANT-PROPOS

oooooo

Actuellement, il semble bien difficile, voire impossible, de mener seul des travaux en Ecologie. En effet, par suite de l'ampleur des phénomènes étudiés, tant au niveau de la répartition spatiale qu'au niveau de la complexité de fonctionnement des systèmes écologiques, il est nécessaire de pratiquer l'interdisciplinarité qui est la clef pour bien les étudier et bien les comprendre. Il va sans dire que ces collaborations fructueuses débutent par la mise au point du protocole expérimental, se poursuivent par la récolte des données et par leur traitement, et se terminent par l'interprétation des résultats. Ceci devait être précisé avant de commencer la présentation de ce travail.

Les **systèmes karstiques souterrains** sont un élément important du paysage de la région Rhône-Alpes. Citons pour exemple, les chaînes subalpines, les karst du Jura Méridional qui entourent une grande partie du Haut-Rhône français et de la rivière Ain, mais aussi ceux du département de l'Ardèche.

Les recherches hydrobiologiques sur les systèmes karstiques sont menées depuis de nombreuses années par les membres de l'équipe d'Hydrobiologie et Ecologie Souterraines dirigée par le Professeur GINET à l'Université Claude-Bernard/LYON I. Leurs travaux ont amélioré considérablement les connaissances sur les fonctionnements biologiques de ces systèmes souterrains et ont notamment mis en évidence l'existence de relations entre l'**hydrologie** et la dynamique des **peuplements**. C'est pour préciser ces relations et estimer leur importance que ce travail a été entrepris sur deux sytèmes karstiques souterrains des Gorges de l'Ardèche.

Parallèlement à ceci, un état de référence de la faune aquatique souterraine karstique de la réserve naturelle des Gorges de l'Ardèche a été réalisé. Ce travail qui a déjà fait l'objet de trois rapports (à la convention d'étude et au conseil régional Rhône-Alpes, dans le cadre d'un contrat avec le Ministère de l'Environnement) ne sera donc pas repris ici. Cependant, je tiens à remercier vivement Monsieur le Professeur ROUX, de l'Université LYON I, qui a été à l'origine de cet inventaire ainsi que les membres du Groupement Inter-communal des Gorges de l'Ardèche, notamment Madame et Monsieur BOSSE, qui m'ont toujours accueilli amicalement lors de mes campagnes de terrain.

Ce mémoire est le résultat d'une aide permanente de toute l'équipe d'Hydrobiologie et d'Ecologie Souterraines. Je voudrais remercier Monsieur R. GINET pour m'avoir accueilli dans ce groupe qui mérite bien le nom d'équipe : que J. CARILLO, M. CREUZE DES CHATELLIERS, M.J. DOLE-OLIVIER, J. GIBERT, R. LAURENT, P. MARMONIER, D. MARTIN, J. MATHIEU, J.L. REYGROBELLET et M.J. TURQUIN veuillent bien accepter mes remerciements les plus sincères.

La critique d'un travail contribue énormément à sa qualité ; aussi je voudrais remercier Monsieur le Professeur GINET et Madame J. GIBERT, Maître de conférences, pour avoir accepté de contrôler et de juger mes travaux de recherches et leur exposé écrit.

Je suis honoré du fait que Messieurs H. DECAMPS, Directeur du Centre d'Ecologie des Ressources Renouvelables, laboratoire du C.N.R.S., de Toulouse et A.L. ROUX, Professeur à l'Université de LYON I et Directeur du Laboratoire d'Ecologie des Eaux Douces associé au C.N.R.S., se soient intéressés à ce travail et participent à mon jury.

J'aimerais enfin remercier Messieurs J. MUDRY, Maître de conférence à l'Université d'Avignon, et J.P. METTETAL, ingénieur au S.R.A.E. de Franche-Comté, qui ont accepté de critiquer, pour le néophyte que je suis, ses résultats en hydrogéologie.

Je tiens à exprimer ma gratitude aux personnes qui ont eut la patience de déterminer les animaux suivants : Oligochètes (J. JUGET), Gastéropodes (R. BERNASCONI), Cyclopoïdes (J. MATHIEU), Harpacticoïdes (J. GIBERT), Ostracodes (P. MARMONIER), Amphipodes (R. GINET), Coleoptères (P. RICHOUX), Ephéméroptères, Plécoptères et Trichoptères (S. DOLEDEC, H. TACHET et C. ROUX), ainsi qu'à ceux qui ont contribué à l'illustration de ce texte (D. MARTIN, R. LAURENT et les dessinateurs du C.E.R.R. de Toulouse).

Les conseils de D. CHESSEL, Maître de conférences à l'Université Lyon I, et de S. DOLEDEC, Docteur en hydrobiologie, m'ont grandement aidé dans le traitement des données.

RESUME

Le plateau calcaire des Gorges de l'Ardèche abrite de nombreux systèmes karstiques dont la résurgence de Foussoubie et l'exsurgence de l'Aiguille étudiées d'octobre 1984 à mai 1986.

L'étude hydrologique montre que les écoulements dans le système de Foussoubie sont, en période de régime influencé par les précipitations, alimentés par un mélange d'eaux très minéralisées formé du ruisseau épigé situé en amont du système souterrain et des réserves du karst. En étiage, les écoulements sont assurés uniquement par les eaux du système qui sont moins minéralisées, mais ont un rapport bicarbonates/ calcium plus élevé que celui des eaux du ruisseau épigé.

A l'Aiguille, les eaux sont moins minéralisées durant l'étiage que pendant la période des hautes-eaux. Pourtant, ces deux familles d'eaux ont la même origine, le système n'étant pas alimenté par la perte d'une rivière.

L'étude hydrobiologique est basée sur l'échantillonnage par filtration des eaux des exutoires et par l'emploi de substrats artificiels, méthode peu utilisée en milieu aquatique karstique souterrain. Les maximum d'organismes et de taxons sont obtenus par les substrats artificiels immergés pendant un mois au cours des périodes de hautes-eaux. La colonisation de certains taxons se fait en fonction des conditions mésologiques des microhabitats (zones lente ou rapide).

Les crues structurent le peuplement aquatique du système souterrain de Foussoubie notamment en transmettant l'influence saisonnière du milieu épigé par l'intermédiaire des larves d'Insectes provenant du ruisseau situé en amont du système.

A l'exutoire de l'Aiguille, le peuplement souterrain est dominé par l'importante présence des Gastéropodes hypogés. La composante épigée du peuplement est modifiée au cours des saisons par les Gammares et les larves de Diptères du ruisseau créé par la source.

L'analyse des échanges entre les milieux aquatiques souterrain et superficiel peut être faite au niveau des écotones qui découlent des contacts entre d'une part le ruisseau de La Planche et le système de Foussoubie et d'autre part le système de l'Aiguille et la source de l'Aiguille. Ces écotones sont situés dans l'espace et dans le temps par des descripteurs abiotiques et biotiques. Pour le système de Foussoubie, ce sont les rapports bicarbonates/calcium et larves d'Insectes épigés/*N. virei* . Pour le système de l'Aiguille, ce sont les concentrations en bicarbonates et les pourcentages d'organismes hypogés.

L'échelle spatiale de perception de ces écotones diffère pour les deux systèmes. Pour le système de Foussoubie, l'écotone s'étend, sous l'influence de la dynamique des eaux du ruisseau épigé, très nettement à l'intérieur du karst. Pour l'Aiguille, la dynamique des eaux étant moins forte, ce sont les micro-fluctuations de l'écotone qui sont étudiées à proximité du griffon.

C'est aussi la dynamique des eaux qui contrôle la perméabilité des écotones vis à vis des flux que s'échangent les deux systèmes adjacents.

ABSTRACT

HYDROLOGY AND DYNAMICS OF UNDERGROUND AQUATIC COMMUNITIES: Comparison between two karstic systems of the "Gorges de l'Ardèche".

The limestone mountain structure cut by the Ardeche canyon contains numerous karstic systems. Among these are the **Foussoubie** resurgence and the Aiguille spring, which were studied from October 1984 to May 1986.

The hydrological study shows that the fluxes in the **Foussoubie** system during periods influenced by precipitation are made up of a mixture of highly mineralized water originating from the system's supplies and the surface water situated upstream from the underground system.

During low-water periods discharge is assured only by the system's water which, although being then less mineralized, has a higher ratio of bicarbonate to calcium than the surface stream water.

The water at Aiguille spring is less mineralized in low-water periods than during the high-water periods, yet the location of waters is the same.

The hydrobiological study is based on sampling by filtration of water at the outlet and on the use of artificial substrates, rarely used method in underground water karstic environment. The maximum nombers of organisms and species are obtained with the artificial substrates which are immersed for one month during the high-water period. Some species are colonized differently depending on the type of zone (rapid or slow) where the apparatus are placed.

Spates control the aquatic population of the subterranean karstic system, notably by transmitting the seasonal influence of the surface water environment, characterized by the presence of the larvae of epigeous insects.

At the Aiguille outlet where the underground communities is dominated by the presence of hypogeous Gastropoda, the seasonal influences are characterized by the presence of *Gammarus* and larvae of Diptera.

The exchanges between surface and underground environments can be studied in the ectones formed by the contact zones between **la Planche** and the **Foussoubie** system on one hand and between the Aiguille system and the spring on the other hand. They are located in space and time by abiotic and biotic indicators. For the **Foussoubie** system, the indicators are the ratio of bicarbonate to calcium and the ratio of insect larvae to *Niphargus virei*, while for the Aiguille system, they are the bicarbonate concentration and the percentage of surface organisms. Under the influence of the surface water dynamics, the ecotone claerly spreads itself into the **Foussoubie** system and explors it. The dynamics of the Aiguille system water being weaker in force, its ecotone is situated near the outlet and is subject to lower and more progressive variations. So these ecotones can be studied on different space scales which are linked to the water dynamics. The ecotone permeability for the flows between the systems depends on the water dynamics too. The higher the variations and the intensities of the flows, the more the exchanges become uni-directional and follow the direction of water flow.

SOMMAIRE

ooooooo

INTRODUCTION P.11

.....

PREMIERE PARTIE
HYDROLOGIE DES SYSTEMES
KARSTIQUES ETUDIES

INTRODUCTION P. 15

I LE PLATEAU KARSTIQUE DES GORGES DE L'ARDECHE. P. 17

1 SITUATION GEOGRAPHIQUE. P. 17

2 CONTEXTE GEOLOGIQUE. P. 17

3 MORPHOLOGIE DU PLATEAU. P. 19

4 QUELQUES DONNEES CLIMATIQUES. P. 19

4-1 GENERALITES. P. 19

4-2 ANNEES 1984-85-86. P. 21

4-2-1 Pluviométrie.
4-2-2 Températures.
4-2-3 Détermination des périodes arides.
4-2-4 Conclusion.

II LES SYSTEMES KARSTIQUES ETUDIES. P. 25

1 TERMINOLOGIE D'HYDROLOGIE UTILISEE. P. 25

1-1 ECHELLE DE TEMPS JOURNALIERE. P. 25

1-2 ECHELLE DE TEMPS ANNUELLE. P. 25

2 PRESENTATION DU RESEAU DE FOUSSOUBIE. P. 27

2-1 SITUATION GEOGRAPHIQUE, GEOLOGIQUE ET DONNEES SPELEOLOGIQUES. P. 27

2-2 KARSTOGENESE. P. 31

2-3 ETAT DES CONNAISSANCES DU CYCLE HYDROLOGIQUE DU SYSTEME DE FOUSSOUBIE. P. 31

2-3-1 Les hautes eaux.
2-3-2 Les basses eaux.

2-4 STATIONS D'ETUDE. P. 32

2-5 RESUME. P. 32

3 PRESENTATION DU RESEAU DE L'AIGUILLE. P. 33

3-1 SITUATIONS GEOGRAPHIQUE ET GEOLOGIQUE. P. 33

3-2 ETAT DES CONNAISSANCES DU CYCLE HYDROLOGIQUE DU SYSTEME DE L'AIGUILLE. P. 33

3-3 STATION D'ETUDE. P. 33

3-4 RESUME. P. 35

4 CONCLUSION. P. 35

III FONCTIONNEMENT HYDROLOGIQUE DES SYSTEMES ETUDIES. P. 35

1 METHODES D'ETUDE. P. 35

1-1 ANALYSES DES DEBITS. P. 35

1-1-1 Buts et méthodes employées.
1-1-2 Intervalle des mesures.

1-2 ETUDES DU CHIMISME ET DE LA THERMIQUE DES EAUX. P. 36

1-2-1 Eléments analysés et méthodes employées.
1-2-1-1 Mesures sur le terrain.
1-2-1-2 Mesures au laboratoire.
1-2-2 Echelle temporelle des analyses.

2 FONCTIONNEMENT HYDROLOGIQUE DU SYSTEME DE FOUSSOUBIE. P. 39

2-1 DONNEES HYDRODYNAMIQUES. P. 39

2-2 EVOLUTION DE L'HYDROCHIMISME AU COURS D'UN CYCLE HYDROLOGIQUE. P. 39

2-2-1 Méthodes de traitement de données.
2-2-2 Résultats.
2-2-2-1 Les bicarbonates et le magnésium.
2-2-2-2 Le calcium et la conductivité.
2-2-2-3 Les sulfates et la silice.
2-2-2-4 La température.
2-2-3 Conclusion.

2-3 LA CRUE. P. 53

2-3-1 Présentation et méthodes utilisées.
2-3-2 Résultats.
2-3-2-1 Les bicarbonates, le calcium et la conductivité.
2-3-2-2 Les sulfates et la température.
2-3-2-3 La silice et le magnésium.
2-3-3 Conclusion.

2-4 SYNTHESE DU FONCTIONNEMENT HYDROLOGIQUE DU SYSTEME DE FOUSSOUBIE. P. 65

3 FONCTIONNEMENT HYDROLOGIQUE DU SYSTEME DE L'AIGUILLE. P. 67

3-1 DONNEES HYDRODYNAMIQUES. P. 67

3-2 EVOLUTION DE L'HYDROCHIMISME AU COURS D'UN CYLE HYDROLOGIQUE. P. 71

3-2-1 Analyse des résultats.
3-2-1-1 Les bicarbonates, le calcium et la conductivité.
3-2-1-2 Les sulfates.
3-2-1-3 La silice et la température.
3-2-1-4 Le magnésium.
3-2-2 Conclusion.

CONCLUSION P. 77

••••••••••

DEUXIEME PARTIE
STRATEGIE D'ECHANTILLONNAGE

INTRODUCTION P. 79

I PRESENTATION DE LA METHODE DES SUBSTRATS ARTIFICIELS. P. 80

1 UTILISATION DES SUBSTRATS ARTIFICIELS EN MILIEU DULCAQUICOLE DE SURFACE. P. 80

1-1 AVANTAGES DE LA METHODE. P. 80

1-2 CONTRAINTES DE LA METHODE. P. 81

1-2-1 Types de substrats.
1-2-2 Dynamique de colonisation.
1-2-3 Conclusion.

1-3 OBJECTIFS DES ETUDES EMPLOYANT CETTE METHODE. P. 82

2 UTILISATION DES SUBSTRATS ARTIFICIELS EN MILEU DULCAQUICOLE SOUTERRAIN. P. 82

2-1 EN MILIEU POREUX. P. 82

2-2 EN MILIEU KARSTIQUE. P. 83

2-3 CONCLUSION. P. 83

3 CONCLUSION. P. 83

II MATERIEL ET METHODE D'ECHANTILLONNAGE UTILISES. P. 83

1 MATERIEL UTILISE. P. 83

1-1 FILET POUR LE FILTRAGE DES EAUX. P. 83

1-2 SUBSTRATS ARTIFICIELS. P. 85

1-2-1 Description.
1-2-1-1 Choix du type de substrat.
1-2-1-2 Structure des substrats artificiels employés.
1-2-2 Conclusion.

2 PROTOCOLES EXPERIMENTAUX. P. 89

2-1 OPTIMISATION DE LA METHODE DES SUBSTRATS ARTIFICIELS. P. 89

2-1-1 Choix de la station.
2-1-2 Méthode de référence : le filtrage des eaux.
2-1-3 Méthode des substrats artificiels.
2-1-3-1 Durée et lieu d'immersion des substrats, répétitions des expériences.
2-1-3-2 Fractionnement des substrats.

2-2 ETUDES DES STATIONS DE L'AIGUILLE ET DE FOUSSOUBIE PAR LES METHODES DE FILTRAGE DES EAUX ET DES SUBSTRATS ARTIFICIELS. P. 93

2-2-1 L'Aiguille.
2-2-2 Le système de Foussoubie.
2-2-2-1 La goule.
2-2-2-2 L'évent.
2-2-2-3 La source.

III EFFICACITE DES SUBSTRATS ARTIFICIELS. P. 95

1 ORGANISATION DES DONNEES ET CHOIX DE LA METHODE DE TRAITEMENT. P. 97

2 COMPARAISON DU PEUPLEMENT DES SUBSTRATS ARTIFICIELS AVEC CELUI EN DERIVE. P. 99

2-1 PRESENTATION DES DONNEES UTILISEES. P. 99

2-2 COMPARAISON DES RESULTATS OBTENUS PAR FILTRAGE ET PAR SUBSTRATS. P. 103

2-2-1 Structure du peuplement dérivant.
2-2-2 Substrats et peuplement dérivant.

2-3 CONCLUSION. P. 107

3 CONDITIONS D'UTILISATION DE LA METHODE DES SUBSTRATS ARTIFICIELS ET RESULTATS ECOLOGIQUES APPORTES. P. 109

3-1 ROLE DE LA DUREE D'IMMERSION ET IMPORTANCE DE L'HYDROLOGIE. P. 109

3-1-1 Durée d'immersion.
3-1-2 Importance du facteur hydrologie.
3-1-3 Conclusion.

3-2 PARTICIPATION DES SOUS-FRACTIONS DES SUBSTRATS DANS L'ECHANTILLONNAGE. P. 113

3-2-1 Importance relative des parties "filet" et "ficelle".
3-2-1-1 Variations des résultats obtenus par le filet.
3-2-1-2 Importance de la ficelle.
3-2-1-3 Conclusion.
3-2-2 Importance de la maille des tamis.
3-2-2-1 Rôle et présence des taxons dans les fractions.
3-2-2-2 Part de l'information des différentes fractions.

3-3 CONCLUSION. P. 119

4 DONNEES APPORTEES PAR LES SUBSTRATS ARTIFICIELS SUR L'ECOLOGIE DU SYSTEME DE FOUSSOUBIE. P. 119

4-1 ROLE DE LA DUREE D'IMMERSION ET DE LA PERIODE HYDROLOGIQUE. P. 123

4-2 ROLE DU LIEU D'IMMERSION. P. 123

4-3 CONCLUSION. P. 127

CONCLUSION P. 127

•••••••

TROISIEME PARTIE
DYNAMIQUE DES PEUPLEMENTS ET NOTIONS D'ECOTONE

INTRODUCTION P. 129

I LA BIOCENOSE A L'EVENT DE FOUSSOUBIE ET SON EVOLUTION TEMPORELLE. P. 129

1 ORIGINE DES ORGANISMES. P. 131

1-1 LES INSECTES. P. 133

1-2 LES CYCLOPOIDES. P. 133

1-3 LES HARPACTICOIDES. P. 133

1-4 RESUME. P. 135

2 STRUCTURE DES PEUPLEMENTS EN PERIODE DE HAUTES-EAUX. P. 135

2-1 LES INSECTES. P. 137

2-2 LES CYCLOPOIDES. P. 139

2-3 LES HARPACTICOIDES. P. 141

2-4 RESUME. P. 141

3 ROLE DES CRUES. P. 141

3-1 ANALYSE FAUNISTIQUE AU COURS DE LA CRUE DU 28-29/01/1986. P. 141

3-1-1 Plan et méthode d'échantillonnage.
3-1-2 Analyse des résultats.
3-1-2-1 Ensemble des taxons.
3-1-2-2 Evolution des espèces de Cyclopoïdes.
3-1-3 Conclusion.

3-2 IMPACT A LONG TERME DES CRUES SUR LES PEUPLEMENTS A L'EVENT DE FOUSSOUBIE. P. 149

3-2-1 Détermination des "crues" précédant le retrait des substrats.
3-2-2 Caractéristiques qualitatives des crues.
3-2-3 Les crues et les peuplements de l'évent de Foussoubie.

4 CONCLUSION. P. 155

II LA BIOCENOSE A L'EXUTOIRE DE L'AIGUILLE ET SON EVOLUTION TEMPORELLE. P. 155

1 RESULTATS FOURNIS PAR LES SUBSTRATS ARTIFICIELS A LA SOURCE DE L'AIGUILLE. P. 157

1-1 ANALYSE DES DONNEES. P. 157

1-1-1 Choix de la méthode.
1-1-2 Résultats.

1-2 PARTITION DES RELEVES. P. 157

2 EVOLUTION DU PEUPLEMENT A LA SOURCE DE L'AIGUILLE. P. 161

2-1 ROLE DES TAXONS DANS LES PHENOMENES OBSERVES. P. 161

2-2 IMPORTANCE DE L'EFFET SAISONNIER ET DU DEBIT. P. 161

2-2-1 Le peuplement épigé.
2-2-2 Le peuplement hypogé.

2-3 EVOLUTION COMPARATIVE DES PEUPLEMENTS HYPOGE ET EPIGE. P.163

3 CONCLUSION. P. 164

III LES ECOTONES AQUATIQUES ENTRE MILIEUX SOUTERRAIN ET SUPERFICIEL. P. 164

1 LES FLUX DE MATIERES ENTRE LES MILIEUX SOUTERRAIN ET SUPERFICIEL. P. 164

1-1 LES FLUX ABIOTIQUES. P. 165

1-2 LES FLUX BIOTIQUES. P. 165

1-3 DYNAMIQUE DES FLUX.

2 LES ZONES D'INTERACTIONS ENTRE LES SYSTEMES SOUTERRAINS ET LES SYSTEMES SUPERFICIELS ADJACENTS. P. 167

2-1 CHOIX DES DESCRIPTEURS BIOTIQUES ET ABIOTIQUES DES ZONES D'INTERACTIONS. P. 167

2-1-1 "La Planche / Système de Foussoubie".
2-1-2 "Système de l'Aiguille / Source".

2-2 VARIABILITE DES INTERACTIONS ENTRE LES SYSTEMES. P. 169

2-2-1 "La Planche / Système de Foussoubie".
2-2-2 "Système de l'Aiguille / Source".
2-2-3 Influence de l'hydrodynamique et des rythmes saisonniers.

2-3 LA NOTION D'ECOTONE. P. 171

3 LES ECOTONES AQUATIQUES ENTRE LES MILIEUX SOUTERRAIN ET SUPERFICIEL. P. 171

3-1 DYNAMIQUE SPATIALE ET TEMPORELLE DES ECOTONES. P. 171

3-3 LA PERMEABILITE DES ECOTONES ET LES ECHANGES ENTRE LES SYSTEMES ECOLOGIQUES ADJACENTS. P. 173

CONCLUSION P. 173

.....

CONCLUSION GENERALE P. 175

TRAVAUX CITES P. 181

ANNEXES P. 189

INTRODUCTION

INTRODUCTION

oooooo

I CONTEXTE DE L'ETUDE.

Au niveau du paysage, les Gorges de l'Ardèche captent toute l'attention de l'observateur. Cette grande tranchée au milieu d'un plateau calcaire contraste tant par son relief en creux que par l'omniprésence de l'eau ; celle-ci etant quasi absente de la surface du plateau (planche 1). Cette réalité physique conditionne le phénomène humain car les villages, peu nombreux, sont rassemblés autour des rares points d'eau sur le plateau et seulement quelques-uns ont pu se rapprocher de la rivière Ardèche à la faveur d'un adoucissement du relief. De cette faible représentation humaine découle un certain désintéressement des grandes études multidisciplinaires alors que cette rivière fait partie d'un réseau hydrographique considérable qui débouche par l'intermédiaire du fleuve Rhône dans la mer Méditerranée. En revanche, il est important de signaler que cette région par son attrait a suscité de nombreuses passions qui ont conduit certains scientifiques à l'étudier. Citons pour exemple le naturaliste Jules de MALBOS qui, dès la première partie du 19ème siècle, a consacré plus de quarante années à des études minéralogiques (*in* MARTEL, 1930). N'oublions pas le père de la Spéléologie, E.A. MARTEL qui dès 1892 s'intéressa "au sous-sol calcaire" du pays ardéchois (MARTEL, 1930), ni le docteur RAYMOND qui, deux ans plus tard à la recherche des habitats primitifs de l'homme, explora les Gorges de l'Ardèche et ses grottes (RAYMOND, 1897). Cette courte liste ne peut cependant négliger le travail du docteur BALAZUC sur la faune cavernicole du département de l'Ardèche (BALAZUC, 1986). Révélées au grand public par leurs activités et leurs curiosités naturelles, les gorges de l'Ardèche ont une image de marque extrêmement attrayante. Aussi, à partir des années 60 (COLOMBANI, 1987), le tourisme, s'étant considérablement développé, a pris des proportions alarmantes pour le site. La création d'une réserve naturelle fut décidée en 1980, dans le but de protéger ce milieu pittoresque ou peut-être de mieux attirer et canaliser le tourisme, unique industrie de la région. Parallèlement, a été mis en place un comité scientifique qui s'est donné pour mission de mieux connaître le milieu pour bien le gérer. C'est ainsi qu'ont débuté des études faisant appel à des disciplines diverses comme la Géologie (ELOUARD, 1982), la Phytosociologie (FALK, 1982), l'Archéologie (COMBIER et coll., 1982), l'Hydrogéologie (BELLEVILLE, 1985), l'Hydrobiologie (DOLEDEC, 1986), la Géographie humaine (COLOMBANI, 1987), et la Biospéologie. Les travaux portant sur la faune du milieu souterrain ont eu pour but de recenser les études déjà existantes et d'améliorer les connaissances sur la faune aquatique souterraine de cette région (VERVIER 1984 a, 1985, 1986).

Une étude a été entreprise dans un premier temps pour tenter de mieux comprendre l'agencement des différents réseaux dans les Gorges de l'Ardèche, en rives droite et gauche et de l'amont à l'aval (VERVIER, 1984 b). Il est apparu nécessaire d'effectuer les relevés faunistiques le plus près possible de la rivière Ardèche qui constitue un axe de drainage. En effet, au niveau des exutoires , on peut espérer avoir accès à de nombreux renseignements sur les réseaux karstiques situés en amont ; tout comme on peut obtenir beaucoup d'informations sur la composition de la population d'une ville en se plaçant sur les axes principaux à la sortie de la cité lors des grandes migrations.

Ces premiers travaux, effectués sur une dizaine de réseaux, ont permis de dégager des grands types de stations d'étude et d'en choisir deux pour réaliser le présent travail.

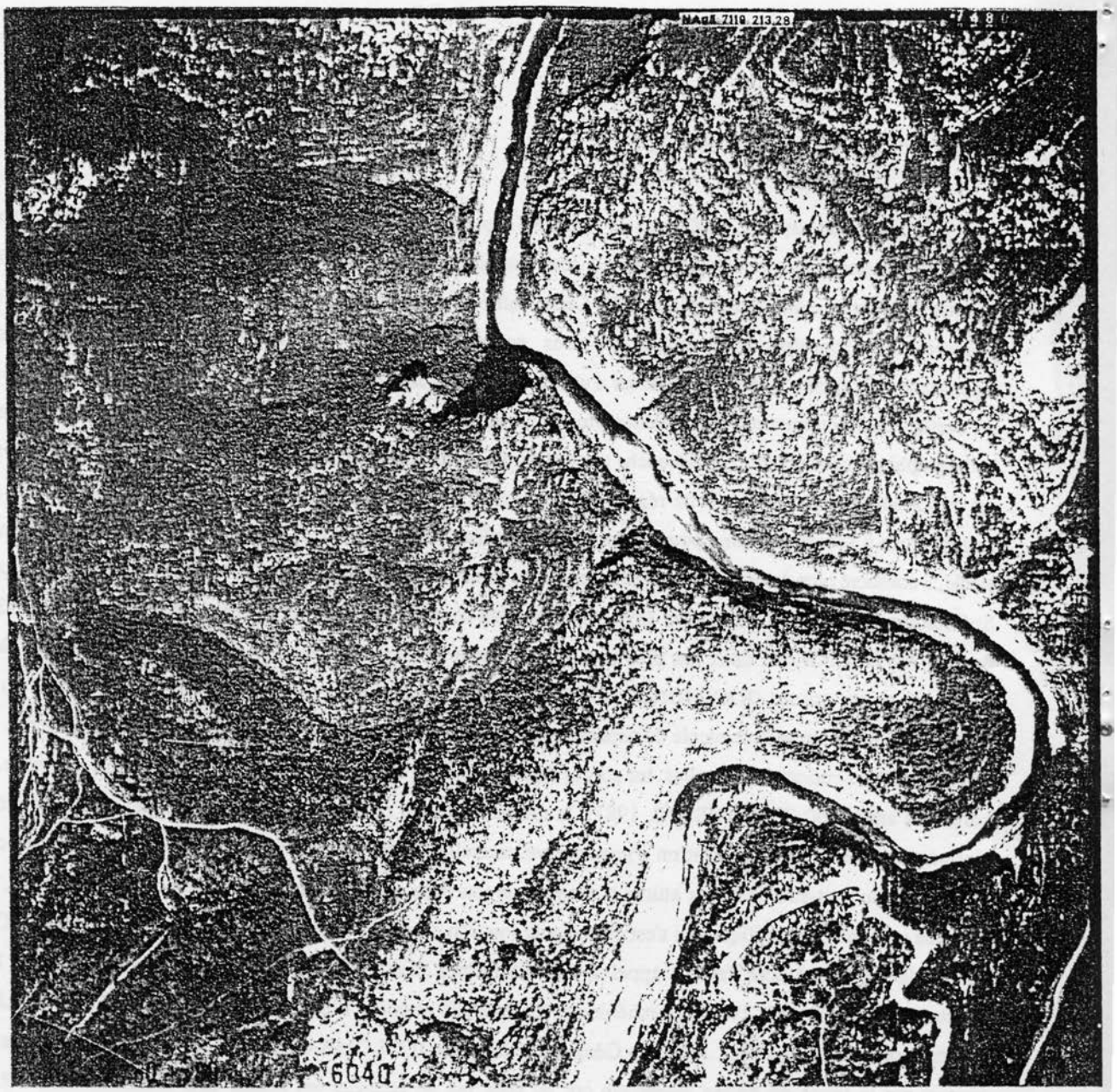


Planche 1 : Vue partielle du plateau des Gorges de l'Ardèche au niveau d'un méandre de la rivière (photographie aérienne I.G.N.).

II PROBLEMATIQUE.

L'étude de la faune des eaux souterraines karstiques s'est considérablement développée au cours de ces vingt dernières années et les travaux de GIBERT (1986) et de ROUCH (1986) notamment ont éclairé le fonctionnement biologique de ce monde souterrain. Leurs approches étaient basées sur la notion de **système**. Le système peut être considéré comme "une entité relativement individualisable" qui "procède à des échanges avec son environnement" (WALLISER, 1977) et dont "les éléments en interaction dynamique" sont "organisés en fonction d'un but" (De ROSNAY, 1975). L'un des principaux objectifs du système, terme qui peut surprendre par son finalisme, est "de maintenir ses équilibres et de permettre le développement de la vie" (SYLVESTRE-BARON, 1976).

Appliqué aux systèmes karstiques, ce concept permet de souligner l'importance du fonctionnement hydrologique dans la dynamique du système et notamment sur la structure des peuplements (GIBERT, 1986 ; ROUCH, 1986). L'attention des chercheurs a ainsi été attirée par des épisodes hydrologiques de courte durée, les **crues**, qui semblent avoir une influence prépondérante sur l'organisation et l'évolution des peuplements et des populations du système karstique (GIBERT et LAURENT, 1982 ; GIBERT, 1986 ; ROUCH, 1986).

Les systèmes écologiques étant "ouverts" (SYLVESTRE-BARON, 1976), des interactions entre ces entités s'établissent au niveau de leurs limites communes. Il apparaît ainsi une zone d'étude privilégiée située entre les milieux superficiel et souterrain, zone de transition ou **écotone**, où s'établissent des relations et des échanges de matière et d'énergie. Il est alors nécessaire de considérer la dynamique de cette zone, **son fonctionnement** et **sa perméabilité vis-à-vis des flux** qui la traversent. C'est dans cette problématique que GIBERT et Coll. (1988) ont envisagé l'étude des zones de contacts existant entre les systèmes écologiques du monde souterrain aussi bien que ceux découlant de la confrontation des systèmes souterrains (hypogés) et des systèmes superficiels (épigés).

III ORGANISATION DE L'ETUDE.

Ces grands axes de recherches sont appliqués à l'étude de deux systèmes karstiques aquatiques souterrains des Gorges de l'Ardèche.

Dans une première partie, seront présentés le milieu et les stations d'études choisies. La connaissance du fonctionnement hydrologique des deux systèmes retenus permettra de mieux comprendre la dynamique des peuplements échantillonnés.

La méthode des substrats artificiels, peu usitée dans le milieu aquatique souterrain karstique, est principalement employée dans cette recherche. La relative nouveauté de cette méthodologie a donc nécessité des expériences de contrôle d'utilisation . Ces résultats font l'objet de la deuxième partie.

Enfin, seront présentées les données obtenues sur les peuplements échantillonnés dans les deux systèmes considérés. L'évolution temporelle de ces biocénoses, révélée par les prélèvements, sera exposée en même temps que les facteurs les plus impliqués dans cette dynamique. En fonction de ces données, les zones de contacts entre ces systèmes souterrains et les systèmes aquatiques superficiels adjacents seront abordées dans leur dynamique temporelle.

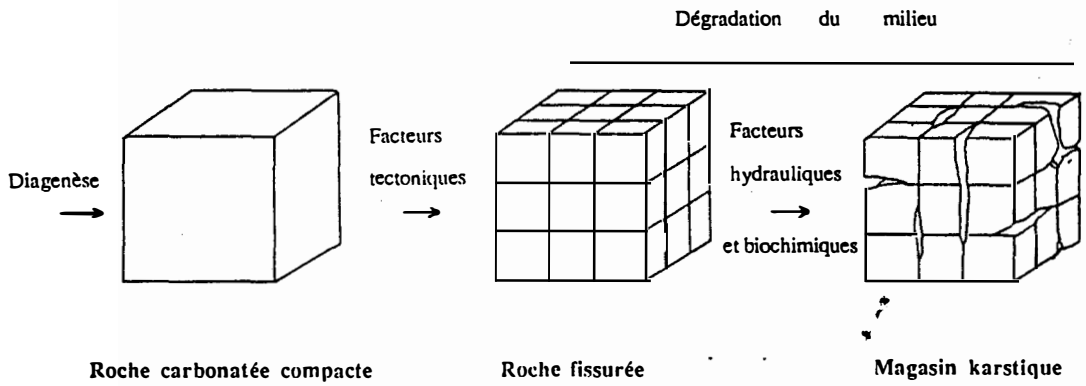


Figure 1 : Genèse d'un magasin carbonaté, fissuré et karstifié (DROGUE, 1980).

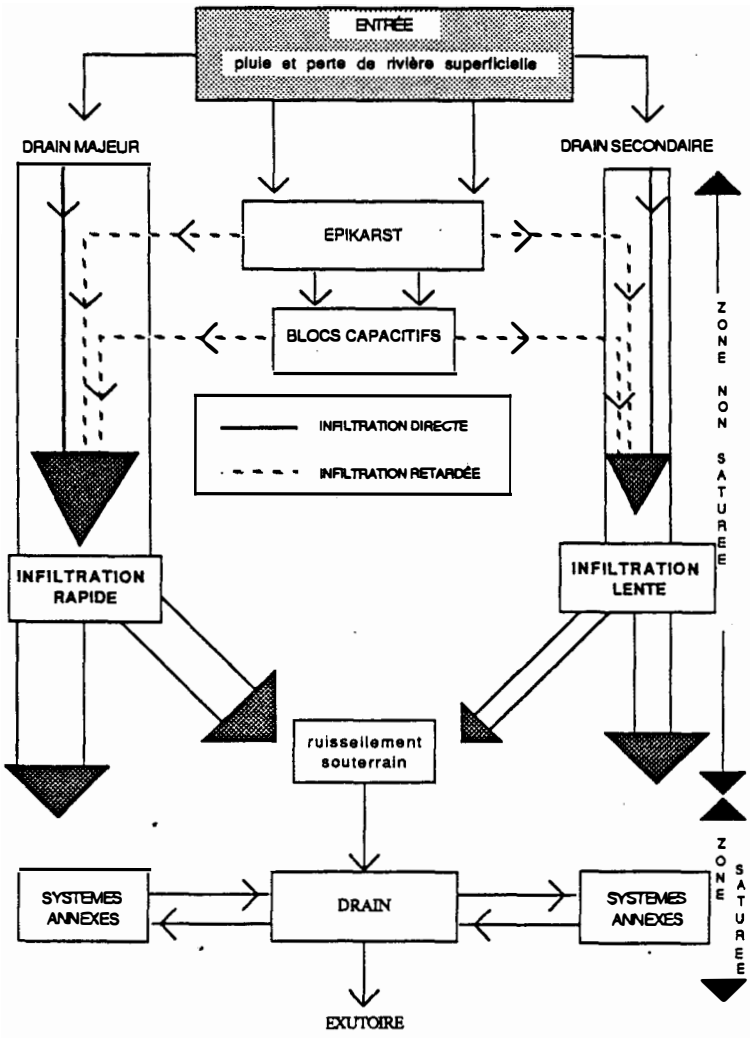


Figure 2 : Représentation schématique des différents types d'infiltration qui peuvent exister dans un système karstique (d'après MANGIN, 1975 ; BAKALOWICZ, 1981 ; BLAVOUX et MUDRY, 1983 ; CHEVALIER, 1988).
L'infiltration directe rejoint immédiatement la zone saturée alors que l'infiltration retardée (différée) est bloquée temporairement au niveau de l'épikarst ou des blocs capacitifs. Les circulations d'eau se font avec des vitesses différentes, permettant de distinguer l'infiltration rapide et lente.

PREMIERE PARTIE

HYDROLOGIE DES SYSTEMES KARSTIQUES ETUDIES

oooooo

INTRODUCTION

L'étude portant sur le milieu aquatique souterrain karstique des Gorges de l'Ardèche, il convient de préciser la notion de karst et les définitions qui s'y rattachent.

Les roches carbonatées, à perméabilité originelle souvent négligeable ou nulle, peuvent devenir secondairement perméables par la mise en jeu de trois mécanismes qui agissent successivement (DROGUE, 1980 ; DROGUE, 1982). La roche est tout d'abord fissurée par des mouvements tectoniques (Fissuration) ; l'eau peut ensuite s'enfoncer dans le massif en empruntant ces nouvelles voies et agit sur leur morphologie par son potentiel hydraulique (Erosion) ; enfin selon ses capacités chimiques, l'eau développera des vides de taille variable par dissolution de la roche (Dissolution). Si la fissuration et l'érosion sont les seuls mécanismes mis en jeu, il y aura création d'un **milieu fissuré**. La phase de dissolution est nécessaire pour que se forme un **karst** (DROGUE, 1980) (fig. 1).

Dans un karst, les vides peuvent être de taille très variable (DROGUE, 1971) et confèrent ainsi une certaine hétérogénéité à la perméabilité de l'aquifère. Selon les auteurs cités par KIRALY et MÜLLER (1979), on peut schématiquement observer un réseau à forte perméabilité qui draine des compartiments peu perméables mais ayant un volume relativement important. C'est la "répartition ordonnée de ces vides hétérogènes autour d'axes de drainage" qui caractérise l'**aquifère karstique** (BAKALOWICZ et MANGIN, 1980).

Ainsi la morphologie de l'aquifère conditionne la dynamique des circulations d'eau (MANGIN, 1975-a). Ce type d'aquifère est alors compris dans un **système karstique** "qui est représenté par l'ensemble au niveau duquel les écoulements souterrains de type karstique s'organisent pour constituer une unité de drainage" (MANGIN, 1975-b).

Le fonctionnement de ce système karstique peut être abordé par les aspects qualitatif et quantitatif des écoulements. En fonction de ceux-ci, on distingue :

- la **zone d'infiltration** (zone non saturée) dans laquelle prédominent les écoulements diphasiques air-eau qui rejoignent la zone noyée (saturée) (fig. 2).

La zone d'infiltration comprend une couche proche de la surface formée de roches très altérées qui peut ainsi diriger les eaux des précipitations vers les zones plus profondes. Cet **épikarst** (MANGIN, 1975-b) peut aussi contenir des nappes suspendues. Il existerait sous cet épikarst, selon CHEVALIER (1988), une zone inférieure qui, outre des drains conduisant les eaux en profondeur, comprendrait des blocs "capacitifs" (propres à emmagasiner l'eau) qui pourraient constituer des réserves (fig. 2) ;

- la **zone saturée** qui comprend des systèmes annexes (MANGIN, 1975-b) très capacitifs alimentés ou drainés par des conduits peu capacitifs, les drains, qui conduisent les eaux du ruissellement souterrain vers l'exutoire du système (fig. 2).

C'est l'étude des débits et de leurs variations qui donnera une image de la dynamique des eaux (hydrodynamique) du système karstique. L'étude des traçeurs physico-chimiques naturels apportera des précisions sur les déplacements des eaux (hydrocinématique) de l'aquifère (MUDRY, 1987). La connaissance de l'origine des eaux et de leurs modes d'écoulement nécessite le repérage des différents types d'infiltration qui modifieront les qualités chimiques de l'eau.

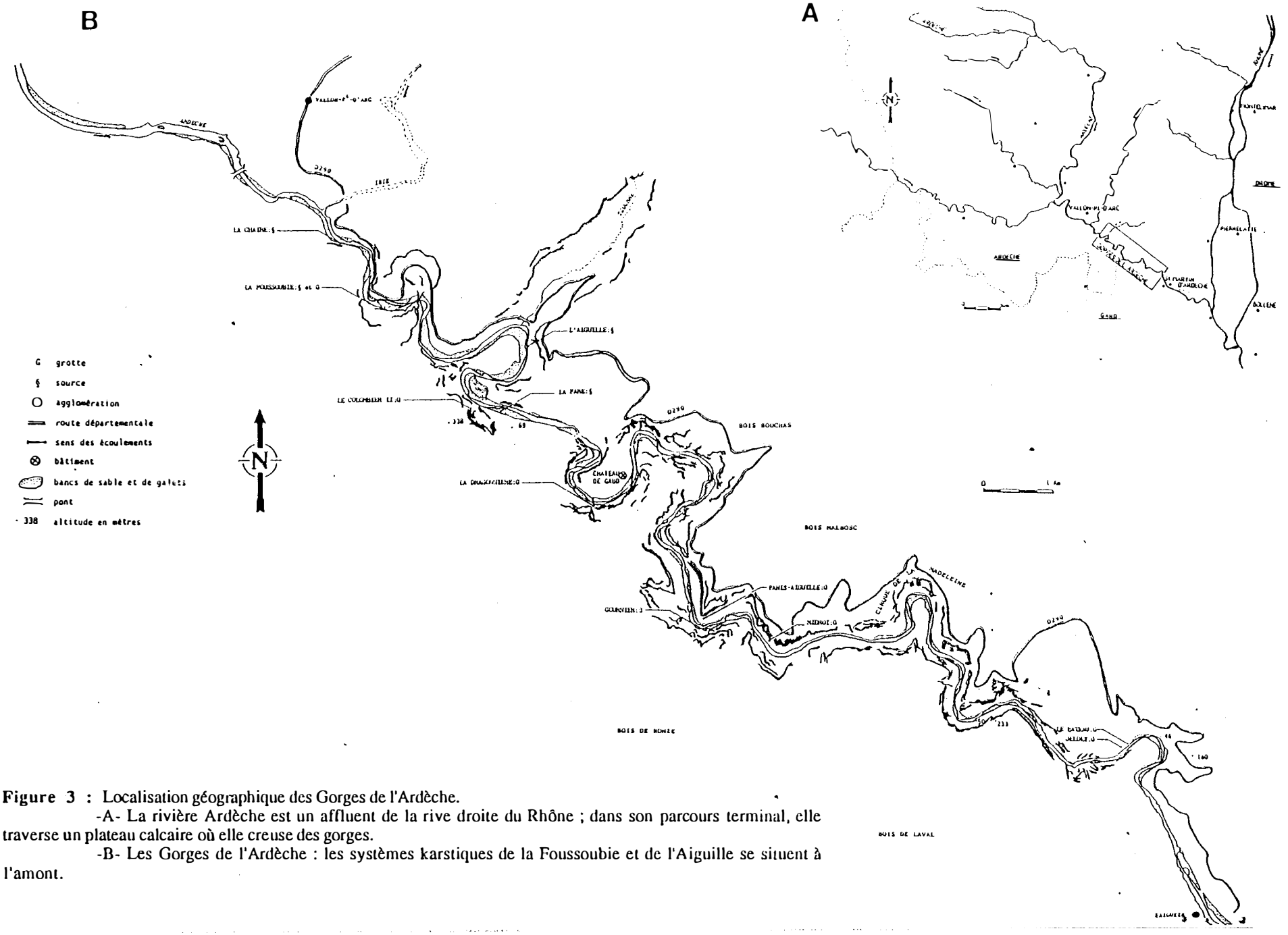


Figure 3 : Localisation géographique des Gorges de l'Ardèche.

-A- La rivière Ardèche est un affluent de la rive droite du Rhône ; dans son parcours terminal, elle traverse un plateau calcaire où elle creuse des gorges.

-B- Les Gorges de l'Ardèche : les systèmes karstiques de la Foussoubie et de l'Aiguille se situent à l'amont.

D'après BAKALOWICZ (1981), il faut distinguer dans un premier temps l'**infiltration directe**, qui rejoint immédiatement la zone saturée par l'intermédiaire de drains majeurs ou secondaires, de l'**infiltration différée** (retardée) qui sera bloquée temporairement au niveau de l'épikarst et éventuellement, selon CHEVALIER (1988), dans des blocs capacitifs au niveau inférieur. Dans un second temps, il faut considérer la vitesse à laquelle s'écoulent les eaux; c'est pourquoi seront discernées les infiltrations lente et rapide.

C'est dans ce système créé par l'eau, dont le fonctionnement est lié au facteur hydraulique, que prend place le **peuplement aquatique souterrain karstique**. La première partie de ce travail va permettre de replacer l'étude écologique dans son contexte hydrologique. C'est ainsi que la présentation de la région et de ses caractéristiques climatologiques dans laquelle se trouvent les systèmes étudiés précèdera celle des particularités de leur fonctionnement hydrologique.

I LE PLATEAU KARSTIQUE DES GORGES DE L'ARDECHE.

1 SITUATION GEOGRAPHIQUE.

La rivière Ardèche, située en rive droite du fleuve Rhône, prend une direction NW-SE dans son parcours terminal; elle entaille profondément un plateau calcaire, formant ainsi les Gorges de l'Ardèche (fig.3).

Ce plateau, auquel les auteurs (MAZELLIER, 1971 ; CALLOT, 1978 ; BELLEVILLE, 1985) donnent des noms différents (plateau du Rhône, plateau des Gras) sera, en fonction du cañon qui le traverse, nommé ici : le plateau des Gorges de l'Ardèche.

D'une superficie de 400 km^2 (MAZELLIER, 1971), il est limité à l'ouest par le fossé de Barjac qui se prolonge jusqu'à Vallon-Pont-d'Arc et à l'est par la vallée du Rhône (CALLOT, 1978). Ses plus forts reliefs sont localisés au NW. La Dent de Rez et le Serre de Barres culminent respectivement à 719 et 667 m alors que l'altitude du plateau varie entre 200 et 400 m.

Le cañon qui parcourt ce plateau délimite naturellement, dans sa partie terminale, les départements du Gard et de l'Ardèche. Ces gorges débutent au niveau de l'agglomération de Vallon-Pont-d'Arc et s'estompent à partir de St Martin d'Ardèche (fig. 3). A la suite de ce trajet encaissé, long de 35 km, la rivière parcourt encore quelques kilomètres en plaine avant de confluer avec le fleuve Rhône, près de la commune de Pont-St-Esprit.

2 CONTEXTE GEOLOGIQUE.

Le plateau des Gorges de l'Ardèche fait partie d'un vaste ensemble sédimentaire limité au NW par le Haut-Vivarais cristallin, à l'ouest par les massifs cristallins et cristallophylliens des Cévennes et à l'est par la vallée du Rhône (BELLEVILLE, 1985 ; BALAZUC, 1986) (fig. 4). L'agglomération de La Voulte-sur-Rhône et la région nord-montpelliéraine en constituent les extrémités nord et sud.

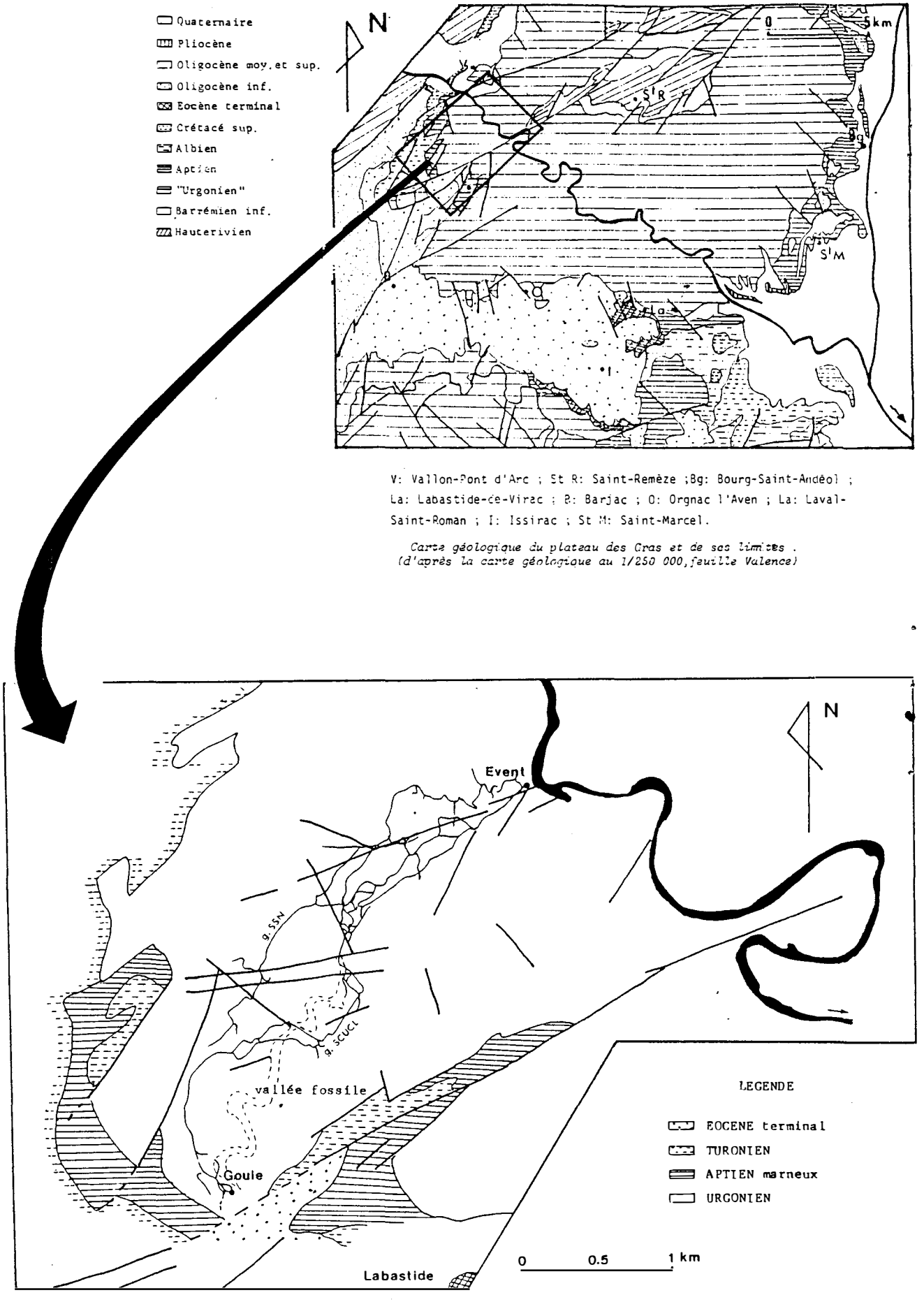


Figure 4 : Le contexte géologique du plateau des Gorges de l'Ardèche (d'après BELLEVILLLE, 1985).

Cet ensemble sédimentaire est formé d'une succession de terrains de direction générale N-NW/S-SE qui, d'ouest en est, s'échelonnent du Trias au Crétacé inférieur, en passant par le Jurassique (ADAM, 1979 ; BELLEVILLE, 1985 ; BALAZUC, 1986).

L'unité la plus à l'est et la plus récente, le Crétacé inférieur, à laquelle appartient le plateau des Gorges de l'Ardèche, regroupe les calcaires barrémo-bédouliens à faciès Urgonien (ADAM, 1979 ; BELLEVILLE, 1985).

L'Urgonien, constitué de calcaires blancs zoogènes durs et compacts (MAZELLIER, 1971), est d'épaisseur variable mais peut atteindre 300 m dans les Gorges de l'Ardèche (MAZELLIER, 1971 ; CALLOT, 1978).

3 MORPHOLOGIE DU PLATEAU.

Ce grand plateau calcaire présente peu de formes karstiques de surface (CALLOT, 1978 ; BELLEVILLE, 1985) souvent difficilement observables du fait de la végétation qui, si elle est présente de façon irrégulière sur le plateau, peut être assez dense (BELLEVILLE, 1985). Elle est essentiellement constituée de chênaies vertes, de chênaies blanches et de la garrigue (FALK, 1982).

Parmi les formes karstiques de surface visibles, citons les vallées qui jouent un rôle important dans le paysage calcaire ardéchois. CALLOT (1978) distingue d'une part les vallées allochtones pérennes (l'unique exemple pour le plateau étant l'Ardèche) et temporaires (par exemple la vallée du Rieussec en rive droite de l'Ardèche qui conflue avec celle-ci en aval de Vallon-Pont-d'Arc) et d'autre part les vallées autochtones qui ont leur source sur le plateau. Parmi celles-ci, qui sont toutes temporaires, certaines se perdent en profondeur dans le massif. Nous retiendrons l'exemple de la vallée parcourue par le ruisseau de La Planche qui s'enfonce dans le plateau au niveau de la goule de Foussoubie (fig. 3).

4 QUELQUES DONNEES CLIMATIQUES.

4-1 GENERALITES.

Le plateau des Gorges de l'Ardèche est difficile à définir climatiquement car il se trouve à la limite entre les domaines méditérrannéen et tempéré. Selon CALLOT (1978), cette confrontation entraîne d'importantes amplitudes de variation interannuelle de précipitation. Ainsi cet auteur a calculé pour les stations de Bessas et de Vallon-Pont-d'Arc des variations allant du simple au double sur une période de 19 ans (1951-1968). Ce phénomène est également observé par BELLEVILLE (1985) qui trouve, pour les mêmes stations mais pour des périodes différentes, un écart-type important puisqu'il représente le 1/4 de la moyenne (tab. 1).

Une particularité de l'influence méditerranéenne réside dans le faible nombre de jours de précipitation (CALLOT, 1978). Une autre caractéristique provient de l'importance de la proximité de la bordure cévenole, remarquable par des précipitations violentes ; REY (*in* CALLOT, 1975) cite des chiffres records de 467 mm en 24 h le 15/10/1859 et de 110 mm en 3 h le 29/9/1900 relevés à la station cévenole de Montpezat. Ces phénomènes s'étendent un peu à l'est des Cévennes puisque 891 mm ont été mesurés en 21 h le 10/10/1827 à Joyeuse. Ces précipitations violentes jouent un rôle sur l'hydrologie des vallées et des systèmes karstiques de Basse-Ardèche en provoquant des crues brutales (CALLOT, 1978).

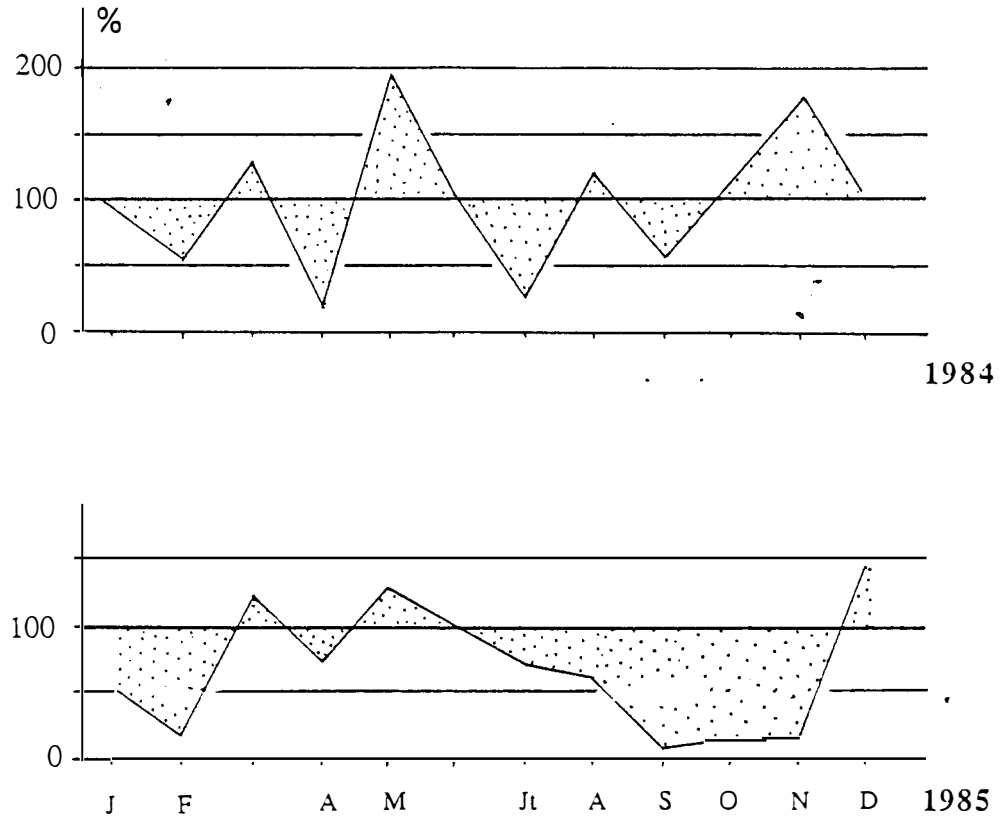


Figure 5 : Variations des précipitations mensuelles (années 1984 et 1985) exprimées en pourcentage des normales (moyennes départementales de l'Ardèche sur les dernières années)(Commission Météorologique Départementale de l'Ardèche).

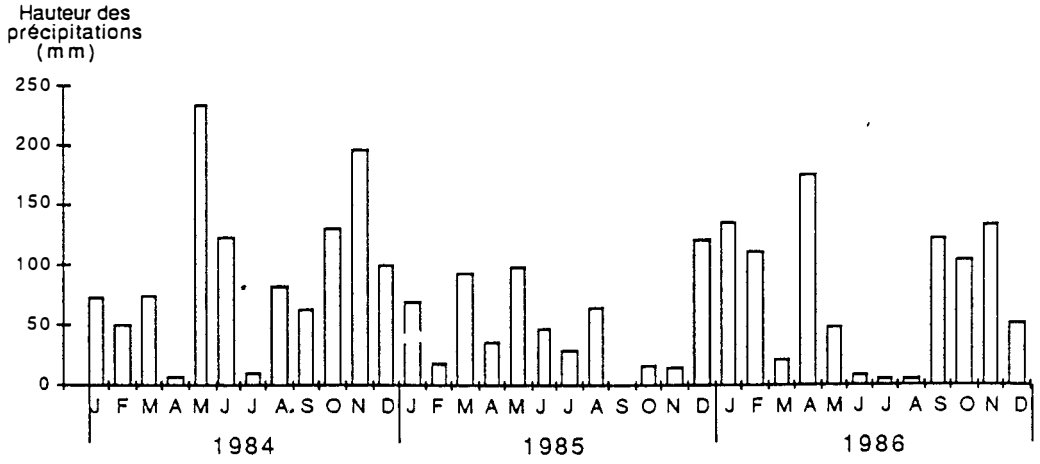


Figure 6 : Evolution des précipitations mensuelles moyennes relevées à Vallon-Pont-d'Arc de 1984 à 1986 (Commission Météorologique Départementale de l'Ardèche).

Tableau 1: Moyennne des précipitations (en mm) à VPA* et Bessas (BELLEVILLE, 1985)

stations	altitude	1951-1982 moyenne	1951-1982 écart-type	1961-1982 moyenne	1961-1982 écart-type
VPA	94 m	968	231	953	224
BESSAS	250 m			927	209

* VPA : Vallon-Pont-d'Arc

Les températures, en moyenne plus élevées que la moyenne française, présentent les valeurs maximales en juillet et plus rarement en août (CALLOT, 1978). Ainsi, BELLEVILLE (1985) a calculé une température moyenne de 12,4 °C à Vallon-Pont-d'Arc de 1972 à 1982.

C'est dans ce contexte général qui concerne le département de l'Ardèche, que quelques données sont précisées pour la région comprenant les stations et pour la période de l'étude.

4-2 ANNEES 1984-85-86.

Les données utilisées ainsi que certains résultats ont été fournis par les centres météorologiques départementaux de l'Ardèche à Aubenas et de la Drôme à Montélimar (1984, 85, 86). Les mesures concernent la station de Vallon-Pont-d'Arc, la plus proche du lieu d'étude. La station de Bessas est elle aussi à proximité de la zone étudiée mais étant donné sa très forte corrélation annuelle avec celle de Vallon-Pt-d'Arc (r = 0,94 de 1961 à 1982 (BELLEVILLE, 1985)), seuls les résultats de cette dernière station ont été retenus.

4-2-1 Pluviométrie.

Si l'on considère les écarts à la normale pour chacune des trois années, on constate que l'année 1984 en est la plus proche malgré un mois de mai dont les précipitations sont deux fois plus importantes que la normale (fig. 5. tab. 2).

L'année 1985, quant à elle, se caractérise par un déficit automnal important (fig. 5). Le mois de septembre est particulièrement intéressant puisque qu'aucune précipitation significative n'a été relevée à Vallon-Pont-d'Arc (fig. 6). Cette sécheresse qui a donc duré de juillet à la mi-décembre est centenaire avec un total juillet/novembre de 111 mm (Commission Météorologique Départementale, 1986).

L'année 1986 débute avec un évènement météorologique puisque un épisode neigeux, inhabituel pour la région, est intervenu du 28 janvier au 6 février. A la station de Grospierres des mesures ont été effectuées sur la quantité de neige tombée en 24 heures (de 7 h à 7 h le matin). Ainsi, du 28 au 29/01/1986, 7 cm de neige sont tombés et du 29 au 30/01/1986 ce sont 12 cm qui ont été mesurés. Il est intéressant de noter que l'excédent des précipitations du mois de janvier (tab. 2) est dû à celles, très importantes, des derniers jours et notamment à celles du 28/01/1986 (56,8 mm en 24h à Vallon-Pont-d'Arc), les précipitations neigeuses n'ayant débuté que vers 22 h. Cette année est aussi caractérisée par des pluies exceptionnelles en avril (fig. 6). Ce sont là les principaux éléments concernant les précipitations lors de la période d'étude.

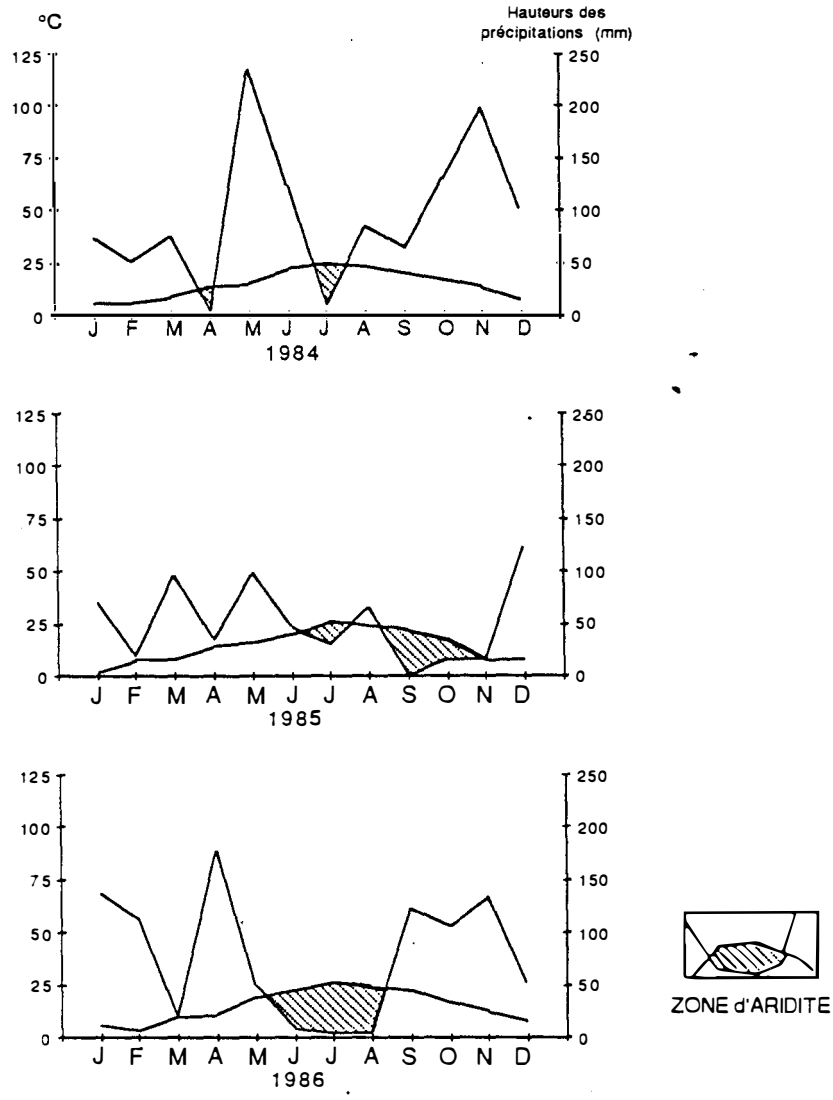


Figure 7 : Diagrammes ombrothermiques de GAUSSEN et BAGNOULS pour les années 1984, 1985 et 1986 et la localité de Vallon-Pont-d'Arc.

Ce type de diagramme est obtenu par la superposition des courbes annuelles de température et de précipitation. Conventionnellement, 0 °C et 0 mm de pluie coincident sur l'axe des abscisses, de même que 50 °C et 100 mm de pluie sur l'axe des ordonnées. Le chevauchement des deux courbes délimite une période d'aridité.

ANNEE / rapport/normale	1984	1985	1986
excédentaires	mai,nov.	mai;déc.	jan.,fév.,avr., nov.
normaux	jan.,mars,juin, août,oct.,déc.	mars,avr.,juin, juil.	mai,sep.,déc.
déficitaires	fév.,avr.,juil., sep.	jan.,fév.,août, sep.,oct.,nov.	mars,juin,juil., août,oct.

Tableau 2 : Qualification de chaque mois des années 1984 et 1985 en fonction de son écart à la normale des précipitations mensuelles (Commission Météorologique Départementale de l'Ardèche).

4-2-2 Températures.

En comparant les températures moyennes mensuelles avec les normales saisonnières, les météorologues des stations départementales de la Drôme et de l'Ardèche ont qualifié :

- l'année 1984 comme une année normale quoique légèrement plus fraîche ;
- l'année 1985 comme étant fraîche en raison des mois de janvier et de novembre très froids ;
- l'année 1986 comme étant globalement normale mais très contrastée avec les mois de janvier à avril en dessous de la normale (dont le mois de février très froid) compensés par 5 mois dits chauds (mai, septembre, octobre, novembre et décembre).

Ces caractéristiques différentes s'observent à Vallon-Pont-d'Arc en comparant les températures moyennes. Si, les valeurs maximales se situent au mois de juillet pour les 3 années considérées, les minimums ont été mesurés en janvier pour les années 1984 et 1985, en février pour l'année 1986.

4-2-3 Détermination des périodes arides.

En observant parallèlement les températures et les précipitations mensuelles moyennes, les périodes d'aridité peuvent être révélées (fig. 7). Ainsi, on observe nettement la sécheresse de l'automne 1985 qui a eu son importance sur l'hydrologie de la région, les écoulements superficiels n'ayant repris qu'en janvier 1986 (Commission Météorologique Départementale, 1986).

4-2-4 Conclusion.

Pour la période d'étude, il faut retenir comme événements météorologiques :

- la sécheresse automnale de l'année 1985, à caractère centenaire, qui s'est achevée à la mi-décembre ;
- les pluies abondantes de la fin janvier 1986 et les chutes de neige, relativement importantes pour la région de Vallon-Pont-d'Arc, qui ont eu lieu entre le 28 janvier et le 1 février 1986. Elles ont ainsi mis en réserve des masses d'eau peu minéralisées qui ont été libérées début février ;
- les températures très basses du début de l'année 1986, phénomène important en ce qui concerne les températures des eaux de précipitations et de celles des cours d'eau ;
- les pluies importantes du mois d'avril 1986.

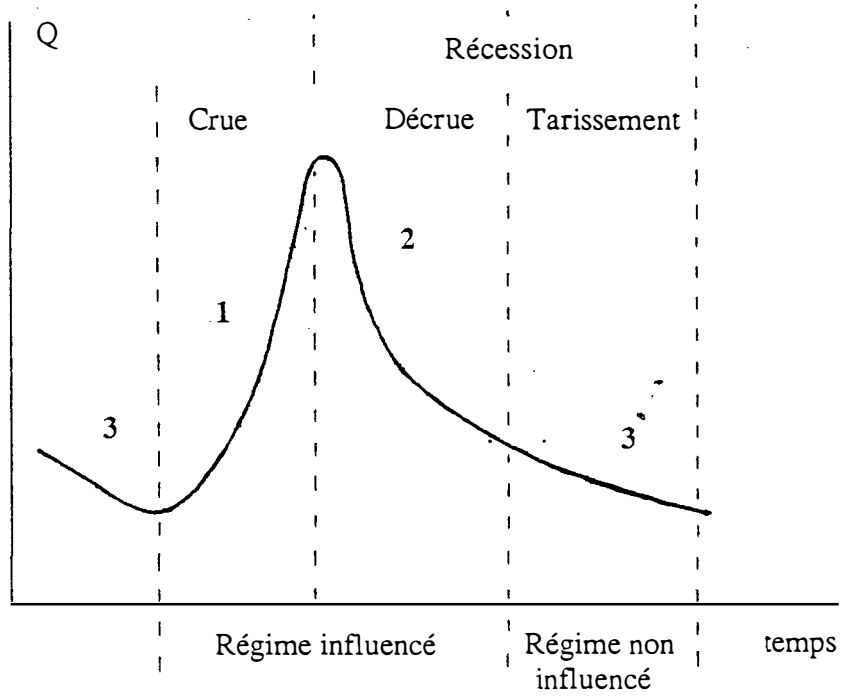


Figure 8 : Nom des différentes étapes hydrologiques se succèdant lors d'une brusque augmentation de débit Q (d'après CASTANY et MARGAT, 1977).

II LES SYSTEMES KARSTIQUES ETUDIES.

1 TERMINOLOGIE D'HYDROLOGIE UTILISEE.

On peut aborder l'étude des écoulements à l'exutoire d'un système suivant une échelle de temps journalière ou annuelle. Les termes qui seront employés sont tirés du dictionnaire français d'hydrogéologie de CASTANY et MARGAT (1977) et du vocabulaire de l'hydrologie et de la météorologie du Conseil International de la Langue Française (1978).

1-1 ECHELLE DE TEMPS JOURNALIERE.

Avec une telle échelle de temps, les évènements hydrologiques décelables sont ceux provoqués par des brusques montées de débits en **régime influencé**, c'est-à-dire en période de précipitations, de fonte des neiges ou de ruissellement superficiel. Ces variations de débits peuvent être décrites graphiquement par un hydrogramme qui comporte plusieurs parties (fig. 8). On distingue ainsi :

- la **crue** et la **décrue** qui sont respectivement la croissance et la décroissance du débit en régime influencé donc en période d'alimentation des réservoirs ;
- le **tarissement** qui correspond à la décroissance du débit en régime non-influencé donc en période de vidange des réservoirs qui ne sont plus alimentés ;
- la **récession** qui, formée de la décrue et du tarissement, correspond à la baisse du débit sans tenir compte de l'origine des écoulements.

Le terme de **"crue"**, bien qu'abusif, est souvent utilisé pour désigner l'**ensemble** de ces étapes ; c'est celui qui sera employé ici.

1-2 ECHELLE DE TEMPS ANNUELLE.

A cette échelle de temps, il faut envisager la notion de **cycle hydrologique**, qui est défini par le Conseil International de la Langue Française (1978) comme étant "la période au début et à la fin de laquelle on se trouve en présence d'un même état de réserve d'eau pour un bassin donné". Cette définition ne se référant pas directement aux écoulements, il convient donc de préciser les termes qui seront employés au cours de cet exposé pour désigner les différentes sous-périodes de ce cycle en fonction de leur débit moyen. On parlera donc :

- de la période de **hautes-eaux** qui, en régime influencé, est caractérisée par des débits importants ;
- de la période de **basses-eaux**, ou **étiage** (bien que ce terme soit surtout utilisé pour les cours d'eau), qui correspond aux plus faibles débits de l'année ; on limitera cette période au régime non-influencé.

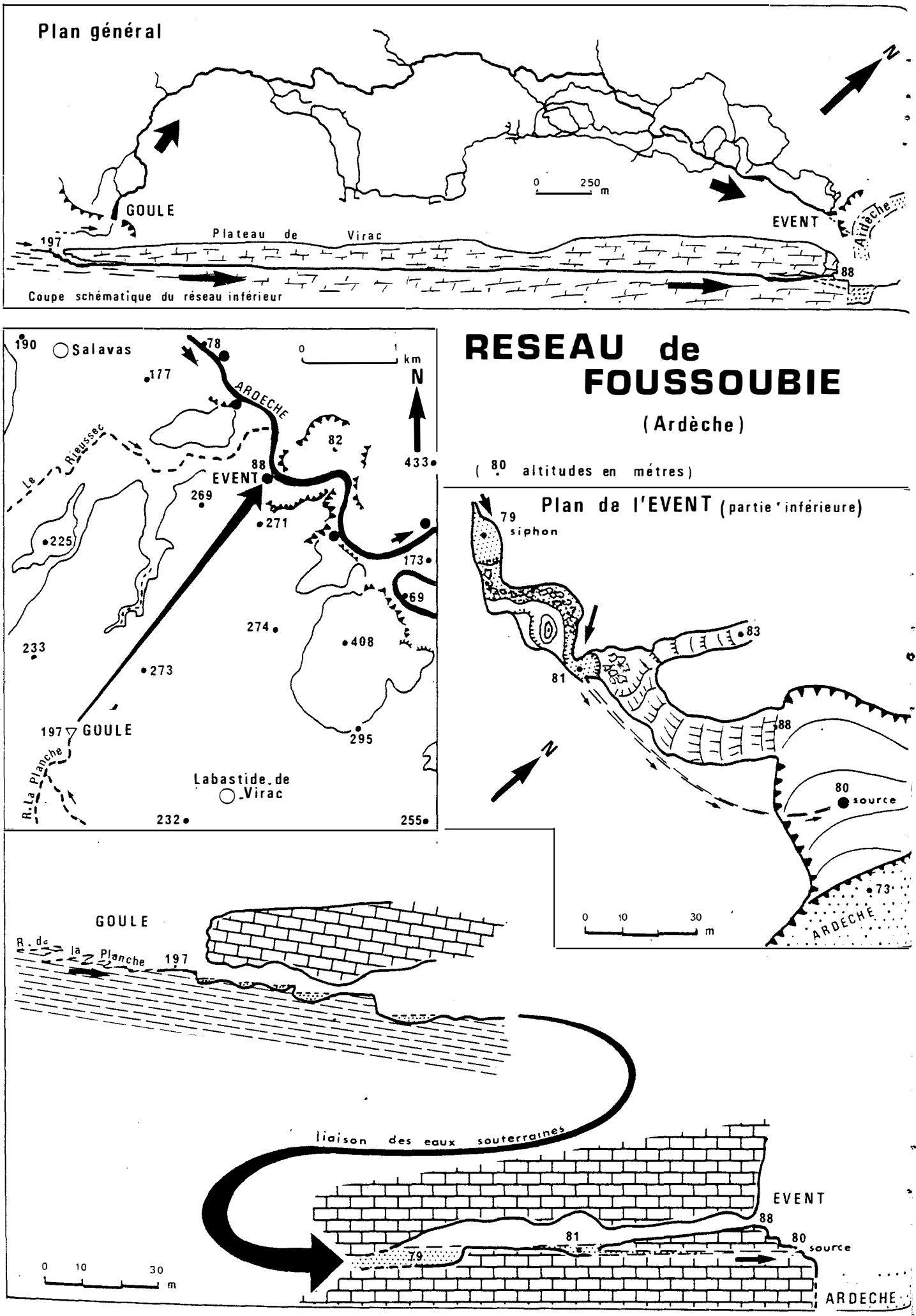


Figure 9 : Le réseau de Foussoubie (d'après le Groupe de Recherches Biospéléologiques, LE ROUX, 1984) (dessin R. LAURENT).

2 PRESENTATION DU RESEAU DE FOUSSOUBIE.

Le "réseau", qui désigne l'ensemble des drains actuels et anciens (MANGIN, 1975-b) est la dimension la plus facile à percevoir sur le terrain dans une première approche. Ce sont donc ces entités géographiques et spéléologiques qui seront présentées avant de considérer les systèmes et leur fonctionnement.

2-1 SITUATIONS GEOGRAPHIQUE, GEOLOGIQUE ET DONNEES SPELEOLOGIQUES.

Le réseau de Foussoubie prend place dans le plateau des Gorges de l'Ardèche en rive droite de celles-ci et au SE de la commune de Salavas.

Cette étude s'attachant surtout aux phénomènes liés aux circulations d'eau, ce réseau peut être décrit selon le sens des écoulements apparaissant à un observateur situé en surface.

Il est composé d'une entrée ponctuelle d'eau située dans la dépression de Labastide-de-Virac provenant d'un ruisseau temporaire "la Planche" (CALLOT, 1978) (fig. 9). Les eaux ainsi drainées en surface s'enfoncent dans le réseau au niveau de la **goule de Foussoubie** (tab. 3) qui constitue la "perte de la Planche", pénétrable par l'homme (planche 2).

Après une dénivellation de 115 m, sur une distance linéaire de 3300 m (pente de 3,5 %), se trouvent les exutoires suivants (tab. 3) :

- un regard sur les écoulements en milieu souterrain est possible au niveau du ruisseau d'une grotte, l'**évent de Foussoubie**, qui peut fonctionner en exutoire lors de très grosses crues (LE ROUX, 1984) (planche 2);
- plus en aval, à 10 m sous la sortie de l'évent, une source temporaire (**source de Foussoubie**) qui ne se situe qu'à 3 m au-dessus du niveau moyen de la rivière Ardèche, permet d'analyser les eaux sortant du karst et qui sont donc en contact avec le milieu superficiel (planche 2) ;
- enfin, des émergences pérennes, dont l'une est très importante, prennent place dans le lit de la rivière Ardèche elle même (MAZELLIER, 1971).

Tableau 3 : Situations géographiques des stations étudiées dans le réseau de Foussoubie .

lieu	coordonnées Lambert	commune	feuille IGN
goule de Foussoubie	763,00-230,60-200	Vagnas	Bourg-St-Andéol
évent de Foussoubie	764,87-233,40-85	Labastide de Virac	Bourg-St-Andéol
source de Foussoubie	764,87-233,40-70	Labastide de Virac	Bourg-St-Andéol

D'un point de vue spéléologique, ce réseau, considéré comme une des principales cavités souterraines françaises, comprend 23134 m de développement topographié (LE ROUX, 1984). De nombreux travaux spéléologiques s'y sont déroulés surtout depuis 1894 (MARTEL, 1894 *in* LE ROUX, 1984). Selon la description de CALLOT (1978), le réseau est constitué de deux parties principales qui sont doublées par des réseaux de moindre importance non décrits ici. En suivant le sens de l'écoulement des eaux, plusieurs zones peuvent être distinguées.

Photo 1

Ruisseau
de La Planche

Photo 2

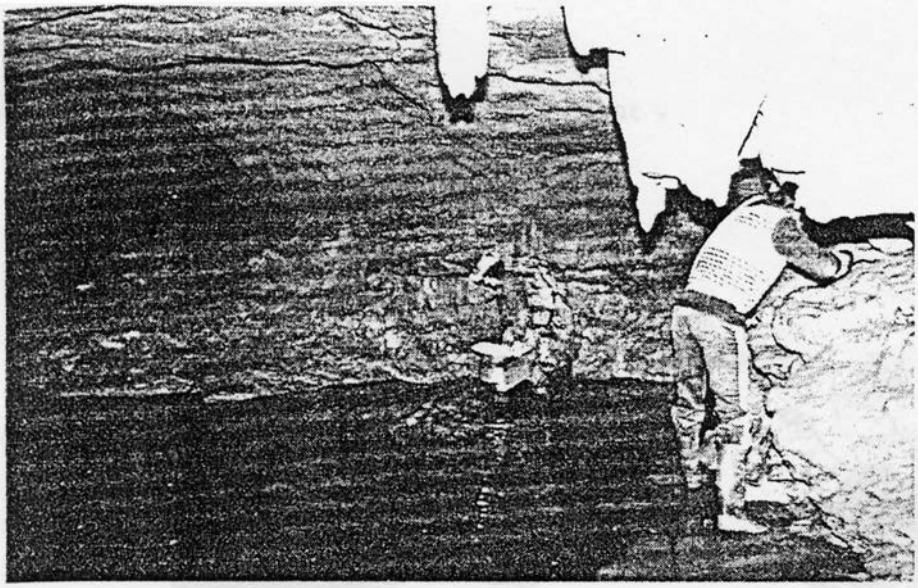


Photo 3

Planche 2 : La dépression de Labastide-de-Virac (photo. 1) est drainée par le ruisseau temporaire de La Planche dont les eaux se perdent dans le réseau au niveau de la goule de Foussoubie (photo. 2). Les écoulements souterrains sont accessibles dans la partie située à l'aval du système au niveau du ruisseau pérenne de l'évent de Foussoubie (photo. 3). Cette grotte s'ouvre dans les Gorges de l'Ardèche à 15 m au-dessus du niveau moyen de la rivière (photo. 4). Plus en aval, à 3 m au-dessus de l'Ardèche (photo. 4), la source temporaire de Foussoubie constitue un exutoire du système (photo. 5).

Photo 4

Rivière Ardèche

Photo 5

Photo 1

Photo 2

Planche 3 : La source de Foussoubie est caractérisée par des variations de débit soudaines et de fortes amplitudes (**photo. 1**) et par de longues période d'assec (**photo.2**).

La première ou zone d'entrée des eaux sert de secteur de raccordement entre le niveau de la goule et celui de la rivière Ardèche. Elle est donc caractérisée par de nombreuses verticales et par de fortes déclivités. Les galeries principales, fréquemment doublées dans leur partie supérieure, sont souvent vastes mais présentent quelques rétrécissements. Tout au long de ce secteur des traces d'activité hydraulique sont présentes (embâcles dont les plus spectaculaires sont des troncs d'arbres, absence de dépôts fins et marmites de géant). Après 300 mètres, une voûte mouillante marque le début de la seconde partie.

Celle-ci comporte deux tronçons. La galerie principale, située à l'amont et longue de 3500 m, montre une succession de vastes couloirs larges, mais de faible hauteur, qui semblent être le siège de phénomènes alternatifs de sédimentation et d'érosion. Ceux-ci ne peuvent s'exercer que pendant le passage des eaux qui ne se ferait que lors des "crues". La galerie principale qui lui fait suite est de dimension plus réduite. Soumise à des phases de circulation d'eau qui paraissent plus fréquentes que celles d'assec, cette galerie possède de nombreuses formes d'érosion. Après 2000 mètres, elle aboutit dans un siphon long de 250 mètres qui débouche dans l'évent de Foussoubie. C'est à ce niveau et à la suite de nombreuses tentatives, que la liaison entre la goule et l'évent a été réalisée par plongée en 1967 (LEFEBVRE et Coll., 1967 *in* LE ROUX, 1984).

2-2 KARSTOGENESE.

Le plateau des Gorges de l'Ardèche a subi plusieurs phases de mouvements tectoniques qui ont généré de nombreuses failles (BELLEVILLE, 1985) nécessaires au développement des karsts.

Le phénomène de karstification souterraine peut être favorisé si le niveau de base du massif baisse, créant ainsi un soutirage. Selon BELLEVILLE (1985), l'enfoncement de la rivière Ardèche, drain principal actuel du plateau des Gorges de l'Ardèche, aurait accéléré le creusement des réseaux contemporains au cours du Miocène supérieur. C'est ainsi que se serait développé celui de Foussoubie, l'eau ayant créé, en s'infiltrant verticalement par l'intermédiaire des diaclases, la zone d'entrée. Puis aux dépens des joints de stratification, l'eau aurait eu un cheminement plus horizontal et aurait façonné l'amont et l'aval des galeries principales (LE ROUX, 1984).

2-3 ETAT DES CONNAISSANCES DU CYCLE HYDROLOGIQUE DU SYSTEME DE FOUSSOUBIE.

2-3-1 Les hautes eaux.

Le ruisseau temporaire de la Planche constitue le drain d'écoulement des eaux de la dépression de Labastide-de-Virac. CALLOT (1978) estime le bassin d'alimentation à 14 km^2.

La dépression est recouverte de formations argileuses, marneuses et grèseuses du Crétacé (MAZELLIER, 1971 ; CALLOT, 1978) qui obligent toutes les eaux de ruissellement à converger vers la Planche et à pénétrer dans la goule de Foussoubie.

Ainsi, lors de précipitations violentes, des quantités importantes d'eau peuvent s'engouffrer vers la perte ; le débit de la Planche pouvant alors passer en quelques heures "de quelques litres à plus d'un mètre cube par seconde" (novembre

1976, SLAMA et Coll., 1981). Lors de ces épisodes, l'eau peut traverser le réseau de l'amont à l'aval en 10 heures seulement (SLAMA et Coll., 1976).

Ces transits d'eau provoquent des crues aux exutoires. Lors de très grosses crues, l'eau peut jaillir par l'évent et se jeter dans l'Ardèche en une chute de plus de 10 mètres, comme pour celle du 16/11/1984 (planche 3).

Si ce phénomène d'apport ponctuel de grandes quantités d'eau est très spectaculaire, il ne faut pas oublier que les précipitations s'effectuent sur toute la surface du karst. Ces eaux peuvent pénétrer dans le système par infiltration avant leur ruissellement superficiel.

2-3-2 Les basses eaux.

Les circulations sont pérennes à l'évent de Foussoubie et temporaires à la source. Celle-ci s'est tarie durant toute la longue période aride de juillet 1985 à fin janvier 1986, alors que la rivière souterraine coulait toujours (VERVIER, 1986) (planche 2).

2-4 STATIONS D'ETUDE.

Bien que quelques prélèvements aient été réalisés dans la Planche au niveau de la goule de Foussoubie, les principales analyses ont été faites aux exutoires du système et notamment à l'évent.

Les données les plus nombreuses ont été récoltées au niveau de la "rivière souterraine". Ce ruisseau emprunte une galerie de section rectangulaire qui se développe sur trente mètres et qui se situe à une vingtaine de mètres de l'entrée de l'évent de Foussoubie. Issu d'un conduit noyé, il comporte une partie lénitique longue de 10 m, large de 3 m et dont la profondeur varie, de l'amont à l'aval, de 2 à 1 m. Il est prolongé par une zone lotique longue de 15 m, large de 0,40 à 1 m et dont la profondeur varie entre 0,05 et 1 m, selon l'endroit et la période du régime hydrologique. Ensuite, le cours d'eau se perd dans une vasque de 5 m de diamètre (planche 2).

2-5 RESUME.

Le système très karstifié de Foussoubie possède un réseau important organisé autour d'un axe principal qui conduit les eaux du plateau vers la rivière Ardèche.

La période de hautes-eaux est marquée par l'intrusion ponctuelle d'eau de ruissellement qui constitue une entrée supplémentaire à celle des infiltrations diffuses. Ceci provoque dans le système de Foussoubie des débits remarquables par leur valeurs et par leurs fluctuations. Les exutoires fonctionnent alors en résurgence.

Lors de l'étiage, les écoulements pérennes sont seulement accessibles au niveau du ruisseau de l'évent, c'est donc en ce lieu que la plupart des prélèvements ont été réalisés.

3 PRESENTATION DU RESEAU DE L'AIGUILLE.

Ce réseau, inaccessible à l'homme car peu karstifié (BELLEVILLE, 1985), a été beaucoup moins étudié que celui de Foussoubie et sera présenté d'une façon plus succincte. Les observations portent essentiellement sur son exutoire.

3-1 SITUATIONS GEOGRAPHIQUE ET GEOLOGIQUE.

A l'aval du Pont d'Arc, en rive gauche de la rivière Ardèche et perpendiculairement à celle-ci, s'ouvre une reculée de 2,5 km créée par la source du Tiourre qui alimente le ruisseau du même nom. A une centaine de mètres à l'aval de la confluence des deux cours d'eau, au pied d'une falaise de calcaire à faciès Urgonien de 325 m de haut, la source de l'Aiguille domine l'Ardèche de 15 m. (fig. 4) (planche 4).

Les eaux qui jaillissent par un griffon circulaire de 0,20 m de diamètre remplissent une petite vasque de 1,50 m^2 de surface avant de dévaler jusqu'à la rivière Ardèche (planche 4).

Cette source est entourée de nombreux dépôts de tufs qui marquent les différents joints de stratification utilisés par les eaux (MAZELLIER, 1971 ; BELLEVILLE, 1985). Actuellement, les eaux continuent de construire du tuf avec les débris végétaux provenant de la végétation autochtone mais aussi avec ceux amenés par les "crues" importantes de la rivière Ardèche.

3-2 ETAT DES CONNAISSANCES DU CYCLE HYDROLOGIQUE DU SYSTEME DE L'AIGUILLE.

Ce système présente une période de hautes-eaux dont les écoulements ne sont influencés que par les eaux d'infiltration, puisqu'aucune alimentation par perte de ruisseau n'a été mise en évidence à l'amont. Au cours de l'étiage, les écoulements pérennes de l'exutoire sont caractérisés par des temps de décrue rapides survenant après des épisodes orageux (BELLEVILLE, 1985).

Les écoulements présentent de faibles valeurs et de faibles variations de débit. En effet, MAZELLIER (1971) a estimé les fluctuations entre 1 et 5 l/s et BELLEVILLE (1985) a mesuré des débits compris entre 1 et 10 l/s.

3-3 STATION D'ETUDE.

Les expériences ont été réalisées, dans la vasque, le plus près possible du griffon pour que les paramètres chimiques et la faune soient caractéristiques des eaux souterraines.

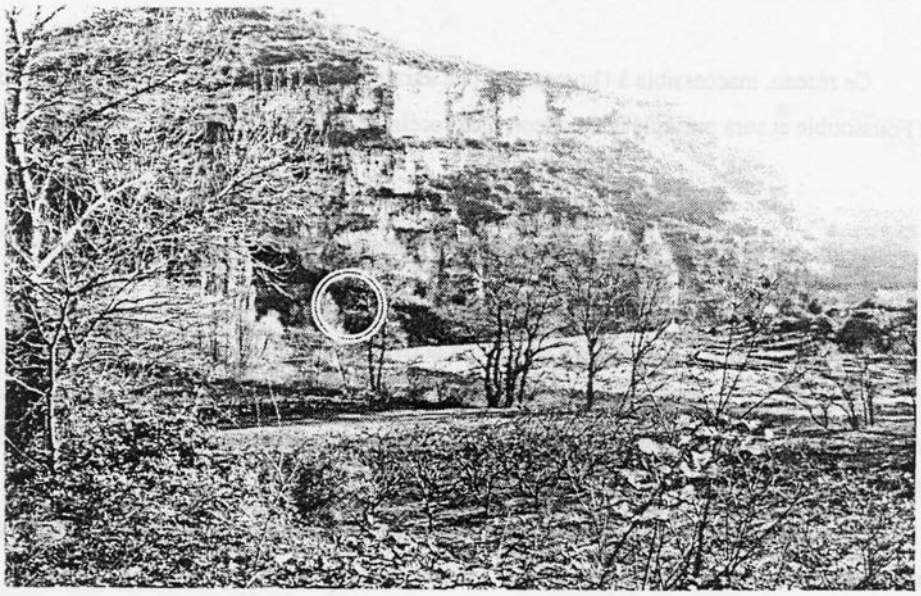


Photo 1

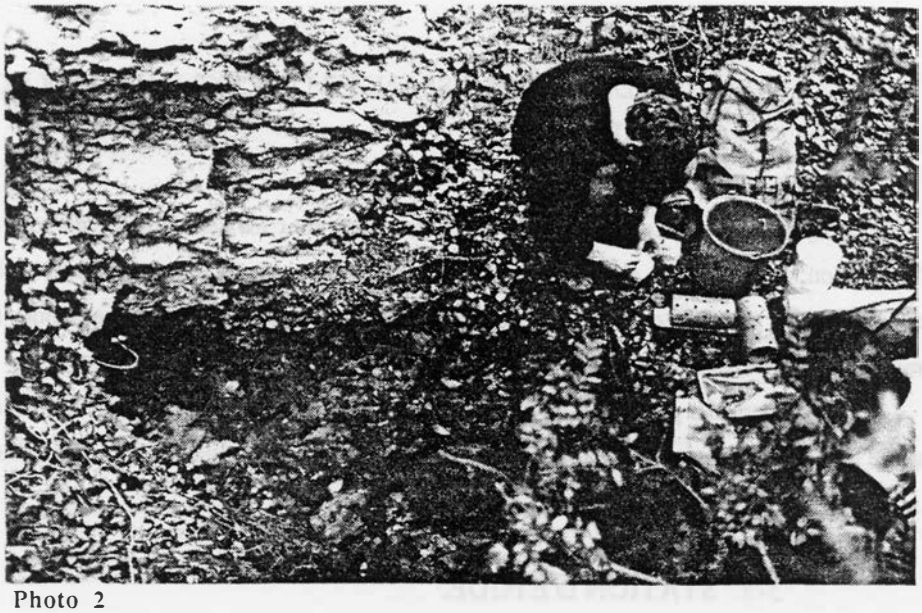


Photo 2

Planche 4 : L'exutoire du système de l'Aiguille se situe au pied d'une falaise calcaire de 325 m de haut (**photo. 1**). Les eaux jaillissent par un griffon circulaire de 0,20 m de diamètre, remplissent une petite vasque entourée d'une végétation dense (**photo. 2**), avant de dévaler les 15 m qui séparent la source de l'Ardèche.

3-4 RESUME.

Ce système fonctionnant en exsurgence, relativement peu karstifié, ne montre pas, contrairement à celui de Foussoubie, de phénomènes hydrologiques spectaculaires. Les écoulements pérennes présentent des débits relativement constants. Les relevés ont été effectués au griffon à l'interface entre les milieux souterrain (ou hypogé) et superficiel (ou épigé).

4 CONCLUSION.

Dans ce relief pittoresque que sont les Gorges de l'Ardèche, coule la rivière du même nom au niveau de laquelle se situent les émergences de plusieurs systèmes karstiques. Parmi eux ont été choisis le système à **résurgence** de Foussoubie et celui à **exsurgence** de l'Aiguille.

L'étude va porter sur les caractéristiques dominantes, pour ces deux systèmes, du fonctionnement hydrologique qui est soumis aux influences méditerranéennes et tempérées de cette zone climatique.

III FONCTIONNEMENT HYDROLOGIQUE DES SYSTEMES ETUDIES.

1 METHODES D'ETUDE.

1-1 ANALYSES DES DEBITS.

1-1-1 Buts et méthodes employées.

L'étude des débits aux exutoires des aquifères karstiques fournit de précieux renseignements sur l'hydrodynamisme des systèmes karstiques considérés, comme le montrent par exemple les travaux de DROGUE (1969, 1983) et MANGIN (1975-a, 1983, 1984, 1985). Pour mener à bien de telles investigations, il faut mettre en place des limnigraphes qui mesurent en continu les débits.

C'est ce qui a été tenté à l'évent de Foussoubie (la source étant temporaire), mais les crues brusques et importantes ont noyé à plusieurs reprises les appareils. Bien que ces expériences aient du être abandonnées, quelques indications seront apportées par des mesures de vitesse du courant réalisées lors du filtrage des eaux (cf 2° partie). Les valeurs obtenues, multipliées par la hauteur de la lame d'eau pénétrant dans le filet, donnent une estimation du débit instantané. Cette même méthode a été utilisée à la source de l'Aiguille.

1-1-2 Intervalle des mesures.

Pour les systèmes de Foussoubie et de l'Aiguille, les mesures ponctuelles de vitesse du courant ont été effectuées d'octobre 1984 à mai 1986 à raison de deux à trois fois par mois.

1-2 ETUDES DU CHIMISME ET DE LA THERMIQUE DES EAUX.

En se basant sur le principe que les éléments chimiques contiennent "l'histoire de l'eau" (BAKALOWICZ, 1979), ils peuvent être utilisés comme des traceurs naturels révélant le cheminement des eaux (BAKALOWICZ, 1979 ; MISEREZ, 1973 ; KIRALY et MÜLLER, 1979 ; MÜLLER et PLANCHEREL, 1982).

Ces renseignements peuvent être complétés par la thermique des eaux (ANDRIEUX 1978 ; KIRALY et MÜLLER, 1979 ; TISSOT et TRESSE, 1978), et permettent de mieux comprendre la structure et le fonctionnement des aquifères karstiques.

1-2-1 Eléments analysés et méthodes employées.

1-2-1-1 Mesures sur le terrain.

Les relevés sur le terrain ont été effectués à l'aide des appareils à affichage numérique suivants :

		variabilité
conductivité (µS/cm)	AQUADATA 570 WTW du 10/1984 au 07/1985	± 2%
	WTW LF 91 du 07/1985 au 0 5/1986	± 1%
température (°C)	AQUADATA 570 WTW du 10/1984 au 07/1985	± 0,2°C
	WTW LF 91 du 07/1985 au 05/1986	± 0,2°C
oxygène dissous (mg/l)	AQUADATA 570 WTW du 10/1984 au 07/1985	± 1%
pH	AQUADATA 570 WTW du 10/1984 au 12/1984	± 0,1

La conductivité et la température ont été mesurées pendant toute la période d'étude (fig. 10). Les deux appareils utilisés donnent pour la température des mesures comparatives, alors que pour la conductivité, une correction a dû être effectuée. Les valeurs présentées seront donc des valeurs corrigées. Les variations de ce paramètre pourront être vérifiées dans certains cas par celles de la conductivité calculée qui s'obtient en additionnant les valeurs en µS/cm que représente chaque ion (RODIER, 1984).

L'oxygène dissous n'a pas été mesuré après juillet 1985 car les valeurs antérieures ne montraient jamais de déficit.

Le pH n'a pu être estimé correctement après décembre 1984. Les valeurs observées aux exutoires sont comprises entre 7 et 7,4 (VERVIER, 1984).

1-2-1-2 Mesures au laboratoire.

Les échantillons prélevés sur le terrain ont tous été analysés au laboratoire le lendemain. Les paramètres mesurés sont :

- la **dureté totale** qui représente la somme des ions calcium (Ca^{++}) et des ions magnésium (Mg^{++}). Ces deux éléments sont dosés simultanément par dosage complexomètrique à l' E.D.T.A. (RODIER, 1975) ;
- l'**alcalinité totale** est titrée à l'aide de l'acide chlorhydrique en présence d'un indicateur mixte (vert de bromocrésol et rouge de méthyl). Etant donné que le pH des eaux analysées est compris entre 6,5 et 8, cette mesure donne les concentrations en **bicarbonates** (HCO_3^-) (BAKALOWICZ, 1979) ;
- la **silice** est mesurée par colorimétrie (colorimètre HACH I.R-D.R.) à l'aide de réactifs à l'amino-acide ;
- les **sulfates** sont dosés par colorimétrie (colorimètre HACH I.R-D.R.) à l'aide de réactifs au sulfaver IV ;
- les **orthophosphates** sont analysés par colorimétrie (colorimètre HACH I.R-D.R.) à l'aide de réactifs au phosver 3.

Les marges d'erreurs inhérentes aux méthodes de dosage, sont les suivantes :

HCO_3^- (mg/l)	± 2%	SiO_2 (mg/l)	± 5%
Ca^{++} (mg/l))	± 1%	SO_4^{--} (mg/l)	±5%
Mg^{++} (mg/l)	± 5%	PO_4^{3-} (mg/l)	± 5%

1-2-2 Echelle temporelle des analyses.

Les informations, obtenues au cours d'un cycle hydrologique par le chimisme des eaux sur la hiérarchisation des vides d'un aquifère karstique, sont confirmées et souvent complétées par l'analyse des mêmes éléments chimiques lors d'une crue (BAKALOWICZ et AMINOT, 1974 ; MUDRY et Coll., 1979 ; BAKALOWICZ et MANGIN, 1980 ; GIBERT, 1986).

Pour les eaux du système de Foussoubie, les éléments chimiques retenus ont été dosés d'octobre 1984 à mai 1986, à raison de 1 à 3 fois par mois, et lors de la "crue" (28-29/01/1986) qui a mis fin à l'étiage de l'année 1985 (fig. 10).

Il faut préciser que la durée de l'étude a été choisie de façon à couvrir plus de temps que le cycle hydrologique, pour bien le cerner. Ainsi, a-t-elle débuté en période de hautes-eaux (octobre 1984) pour s'achever au cours des hautes-eaux suivantes (mai 1986). La période d'étude correspond donc à un cycle hydrologique, avec recouvrement des hautes-eaux.

La fréquence des analyses est plus élevée pendant les mois de novembre et décembre. En effet, les précipitations étant relativement fréquentes au cours de ces mois, il était donc nécessaire de se rendre souvent en Ardèche pour prévenir le déclenchement d'une crue. Des relevés devaient être réalisés durant cet évènement hydrologique qui mettrait fin à l'assec.

L'hydrochimisme de l'Aiguille a été étudié au cours d'une période qui comprend un cycle hydrologique, avec recouvrement des hautes-eaux.

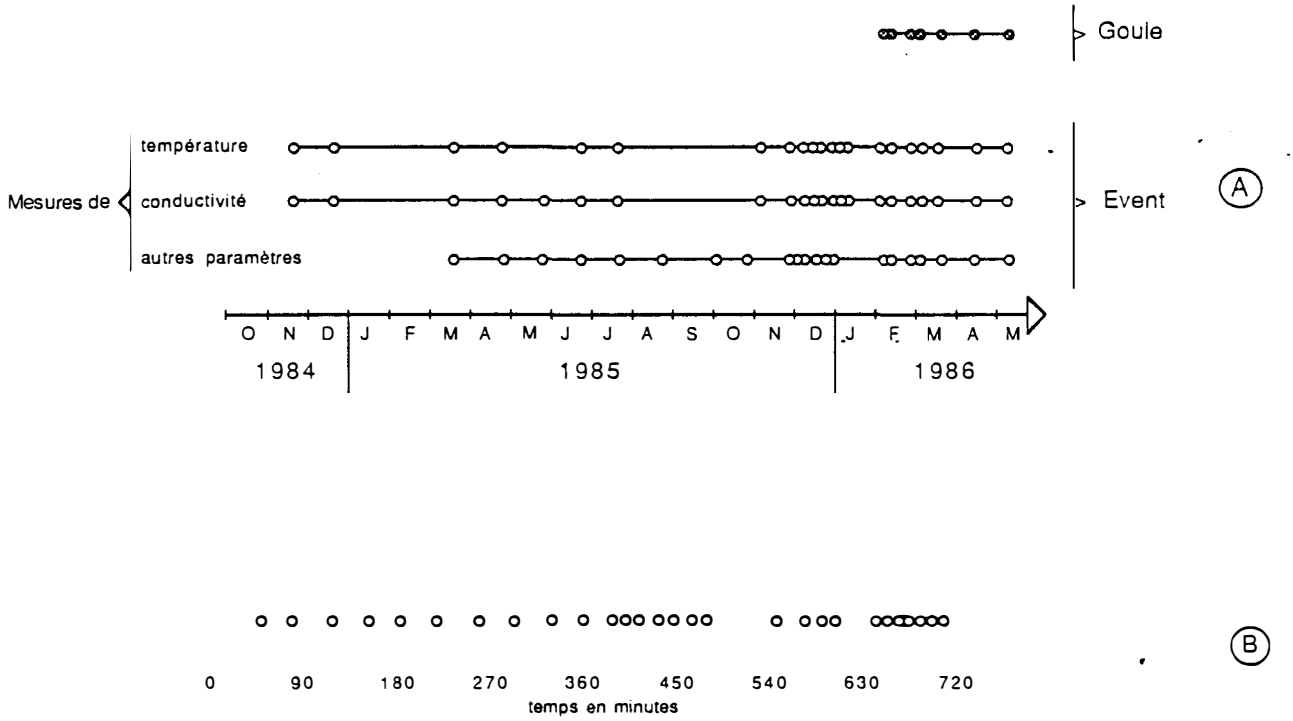


Figure 10 : Calendrier des analyses physico-chimiques effectuées dans le système de Foussoubie :
-A- de l'automne 84 au printemps 86, à l'évent et à la goule ;
-B- au cours de la "crue" du 28-29/01/86 à la source.

Les relevés sont effectués dans le ruisseau de la Planche avant qu'il ne s'engouffre dans la goule de Foussoubie. A l'évent, les prélèvements sont faits dans le ruisseau souterrain. Au cours de la crue, les analyses sont réalisées à la source de Foussoubie, l'évent étant noyé.

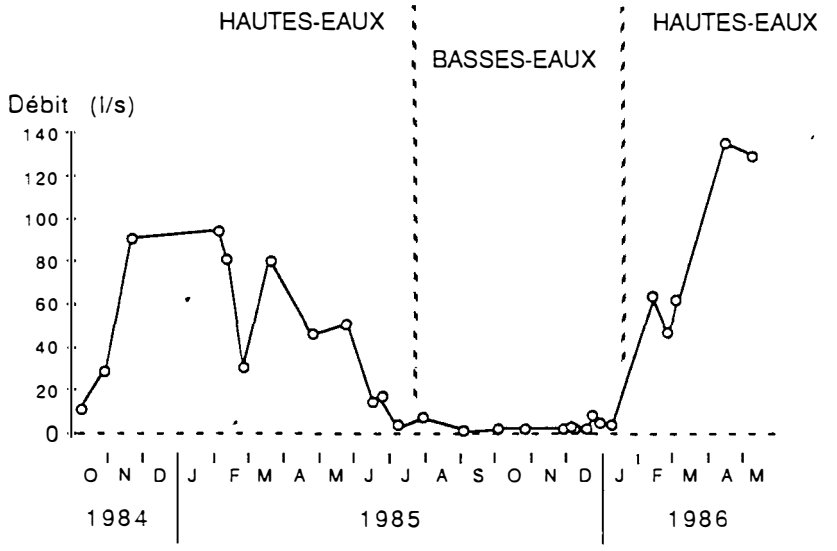


Figure 11 : Variations de débits estimées à l'évent de Foussoubie.

L'estimation du débit est obtenue à partir d'une mesure ponctuelle de la vitesse du courant lors des prélèvements. Ceci permet de situer les relevés par rapport aux périodes de hautes-eaux et de basses-eaux.

2 FONCTIONNEMENT HYDROLOGIQUE DU SYSTEME DE FOUSSOUBIE.

Dans cette étude c'est surtout l'évolution temporelle du chimisme des eaux qui va permettre de comprendre les grandes caractéristiques de l'aquifère. Cependant, les données hydrodynamiques connues, bien que peu nombreuses, seront utilisées car "les observations du chimisme et de l'hydraulisme ne doivent pas être contradictoires" (KIRALY et MÜLLER, 1979).

2-1 DONNEES HYDRODYNAMIQUES.

Du fait de la méthode employée (cf § 1-1-1) les forts débits sont sous-estimés puisque toute la veine d'eau ne passe pas dans le filet. Ainsi, un jaugeage réalisé le 9/05/1986 donne un débit de 224,9 l/s alors que celui estimé au niveau du filet est de 129 l/s. Pour les faibles débits, l'eau du ruisseau est entièrement filtrée par le filet, les valeurs obtenues sont donc plus proches de la réalité que les précédentes.

La courbe de débits présentée doit donc être considérée seulement comme une indication des grandes tendances hydrologiques (fig. 11). Les mesures réalisées d'octobre 1984 à mai 1986 permettent de définir les différentes périodes hydrologiques au cours du cycle étudié :

- la première période de hautes-eaux qui débute le cycle hydrologique s'étend d'octobre 1984 à fin juillet 1985. Les premières valeurs, obtenues à la suite du mois de septembre 1984 déficitaire pour les précipitations (cf § I-4-2), marquent la reprise des forts débits ;
- la période d'août 1985 à fin janvier 1986 représente l'étiage (ou celle des basses-eaux) qui prend fin avec la crue du 28 janvier 1986 ;
- la deuxième période de hautes-eaux, qui correspond au début du cycle hydrologique suivant, a été étudiée jusqu'en mai 1986.

2-2 EVOLUTION DE L'HYDROCHIMISME AU COURS D'UN CYCLE HYDROLOGIQUE.

2-2-1 Méthode de traitement de données.

L' analyse en composantes principales (A.C.P.), qui a pour objet la description des données contenues dans un tableau "individus-caractères numériques" (BOUROCHE et SAPORTA, 1983), s'applique aux tableaux comportant n relevés (individus) en ligne et p variables (caractères) en colonnes (CARREL et Coll., 1986). Pour l'analyse de données physico-chimiques, de nature et de grandeurs différentes, il convient d'utiliser une A.C.P. normée (A.C.N.) qui réduit les données à la même échelle. Cette méthode permet la représentation géométrique des individus et des caractères par une réduction du nombre de ceux-ci (BOUROCHE et SAPORTA, 1983) ; elle est basée sur la construction de nouveaux caractères synthétiques (les composantes principales) obtenus par combinaison linéaire des caractères initiaux.

L'utilisation de l'analyse en composantes principales permet de choisir une aide graphique à l'interprétation des résultats (CARREL et Coll., 1986 ; DOLE et CHESSEL, 1986 ; DOLEDEC et CHESSEL, 1987), "l'outil graphique"

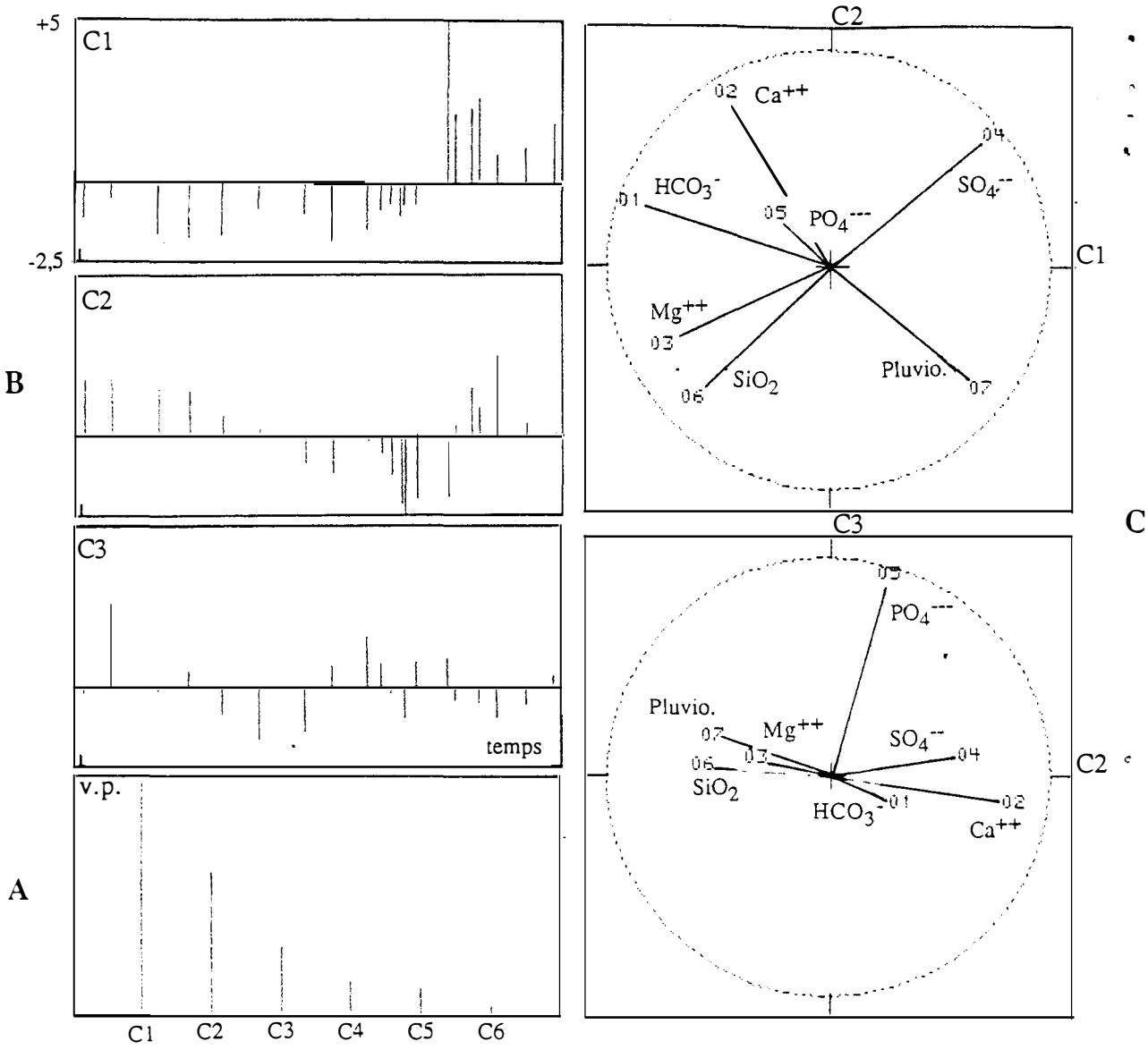


Figure 12 : Représentations graphiques des résultats de l'analyse en composantes principales normée (ACN) réalisée sur les données obtenues à l'évent de Foussoubie à une échelle de temps mensuelle.

-A- Valeurs propres des composantes.

Les trois premières composantes contiennent 85% de l'information.

composantes	valeurs propres	inertie	inertie cumulée
1	3,1	44,9%	44,9%
2	1,9	27,7%	72,6%
3	0,9	13%	85,6%

-B- Graphiques des coordonnées factorielles des prélèvements sur les axes 1, 2 et 3, en fonction du temps. Les minimums et maximums sont identiques sur les 3 axes.

-C- Projection des variables physico-chimiques en fonction de leurs coordonnées factorielles sur les plans formés par les composantes 1x2 et 2x3. Sur ces cartes factorielles figure le cercle des corrélations de rayon 1.

Ces différentes représentations graphiques permettent de visualiser l'évolution du chimisme des eaux de l'évent de Foussoubie au cours du temps. Les principaux paramètres responsables de ces fluctuations sont mis en évidence, de même que les relations qu'ils ont entre eux.

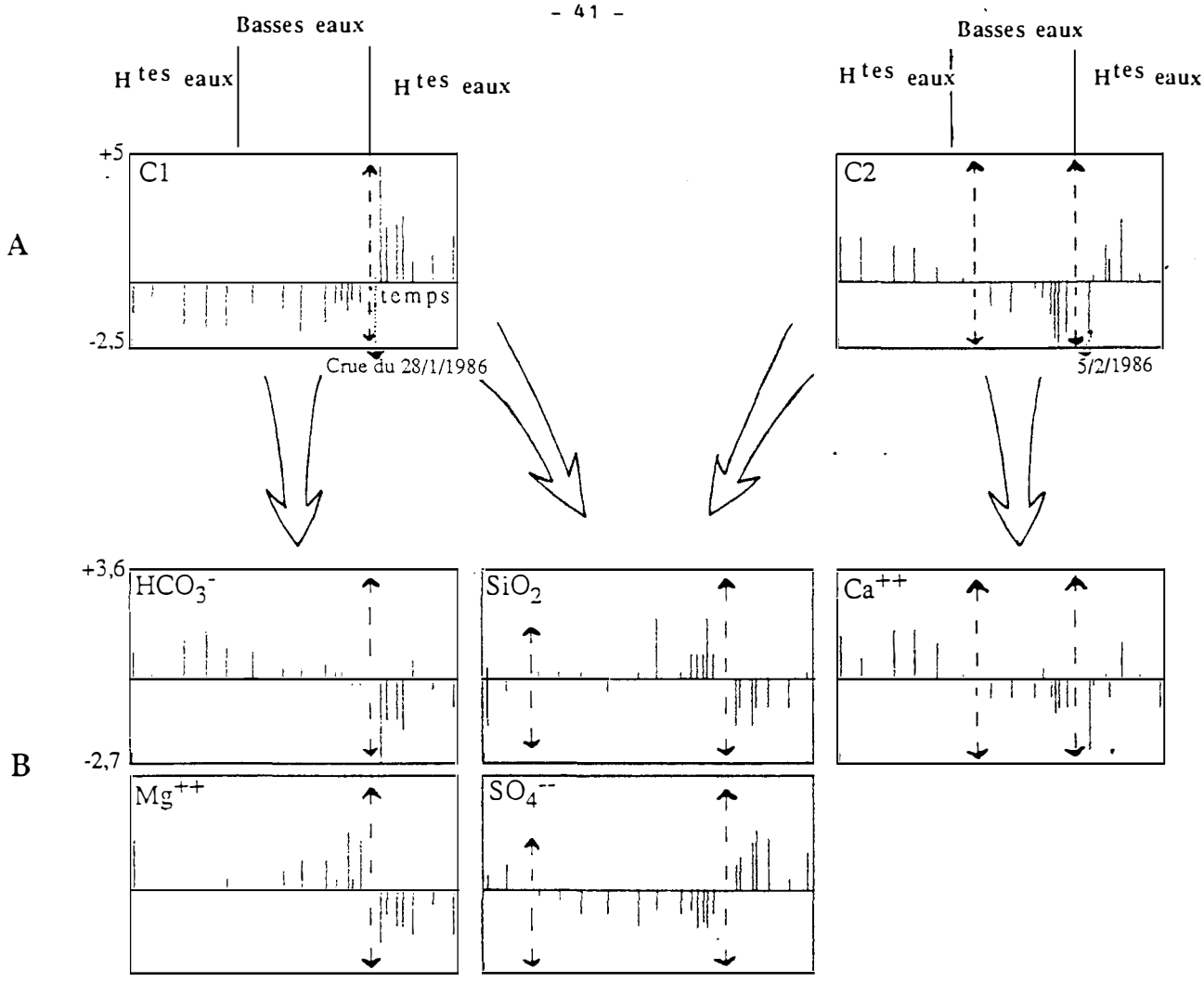
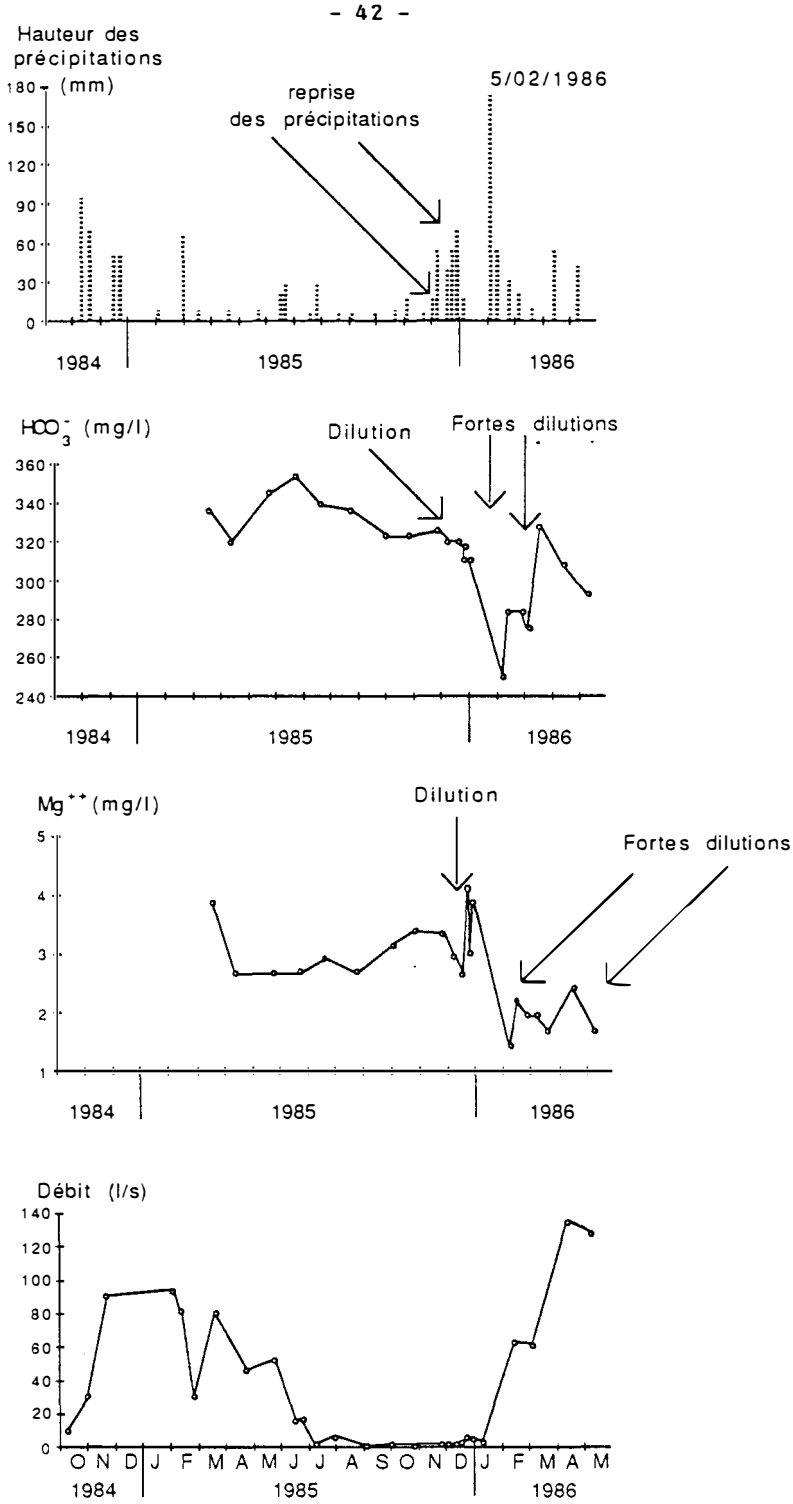


Figure 13 : Distribution, en fonction du temps, des valeurs centrée-réduites (= X-moy(X)/S) des variables physico-chimiques analysées à l'évent de Foussoubie.
Ce réajustement permet la représentation de toutes les variables à la même échelle.

-A- Les coordonnées factorielles des prélèvements sur les composantes 1 et 2 donnent une image synthétique de l'évolution temporelle du chimisme des eaux.

Selon la première composante, les relevés peuvent être séparés en deux groupes. Selon la deuxième composante, les relevés sont séparés en trois groupes.

-B- Les bicarbonates et le magnésium reconstituent le mieux l'évolution temporelle mise en évidence sur le premier axe. Le calcium traduit le mieux les variations montrées par la deuxième composante. Les évolutions de la silice et des sulfates sont expliquées en partie par les deux composantes.



coef. de corrélation	HCO_3^-	Mg^{++}
Pluvio.	- 0.70	- 0.29

$P_{0,05} = 0,49$

Figure 14 : Evolution, à l'évent de Foussoubie, du magnésium et des bicarbonates en fonction de la pluviosité et du débit.

La reprise des précipitations provoque des dilutions des eaux d'écoulement sans modification de débit notable. En revanche, les pluies importantes du 5/02/86 à mai 86 entraînent de fortes dilutions des eaux de ruissellement souterrain avec une augmentation du débit.

devenant alors une méthodologie à part entière (AUDA, 1983). Ceci peut se faire à l'aide de différents outils graphiques qui proviennent des programmes réalisés par AUDA (1985) et CHESSEL et THIOULOUSE (1987).

Le nombre de composantes retenues dépend de leur valeur propre, donc de la quantité d'information apportée par chacune d'elle (% d'inertie) (exemple fig.12 A).

Dans un second temps, les relations existantes entre les variables (paramètres physico-chimiques) sont estimées par leur projection sur les plans formés par deux composantes (exemple fig. 12 C). Les coordonnées des individus (les échantillons) sur les trois premières composantes sont représentées sous forme de diagrammes en bâtons en fonction du temps, formant ainsi des images synthétiques de l'évolution du chimisme des eaux (exemple fig.12).

Enfin, ces images sont comparées avec l'évolution temporelle des valeurs des paramètres (variables) pour détecter ceux qui reconstituent le mieux les phénomènes mis en évidence. Dans ce but, sont utilisées les valeurs centrées réduites qui ramènent les données à la même échelle.

2-2-2 Résultats.

A l'évent de Foussoubie, pour l'étude du cycle hydrologique, seuls les éléments suivants ont pu être traités par l'A.C.N. : les ions bicarbonates, calcium, magnésium, sulfates, ortho-phosphates et la silice. La pluviométrie correspond au cumul des précipitations au cours des 11 derniers jours précédant le prélèvement ainsi traité (cet intervalle de temps a été retenu après plusieurs essais). La conductivité, la température et le débit n'ont pu être inclus dans ce lot de données. Leur mesure n'a pas toujours pu être réalisée simultanément aux analyses des éléments précédents. Ces paramètres sont cependant pris en considération lors de l'interprétation des résultats fournis par l'A.C.N.

Seules les deux premières composantes représentant 72% (44,3% + 27,7%) d'inertie, ont été retenues (fig. 12). La troisième composante ne contient que peu d'informations (13%) et décrit exclusivement les variations des ortho-phosphates qui ne peuvent être expliquées (fig. 12 C). Aussi ce paramètre, ainsi que la composante 3, ne seront plus pris en compte par la suite.

En étudiant la répartition des paramètres dans le plan formé par les deux premières composantes (fig.12), on peut séparer les éléments en trois groupes :

- celui qui est mis en évidence par le premier axe, réunit les bicarbonates (HCO_3^-) et le magnésium (Mg^{++}) qui semblent être en relation avec la pluviométrie ;
- le second, décrit par la deuxième composante, ne contient que le calcium (Ca^{++});
- enfin, le dernier groupe expliqué en partie par les deux axes, associe les sulfates (SO_4^{--}) et la silice (SiO_2).

2-2-2-1 Les bicarbonates et le magnésium

La première composante de l'A.C.N. individualise deux ensembles de prélèvements séparés par la "crue" du 28/01/1986 (fig. 13). Le premier groupe correspond à la première période de hautes-eaux et à celle de basses-eaux qui la suit, et le second groupe, à la seconde période de hautes-eaux. C'est au cours de celle-ci que les concentrations en

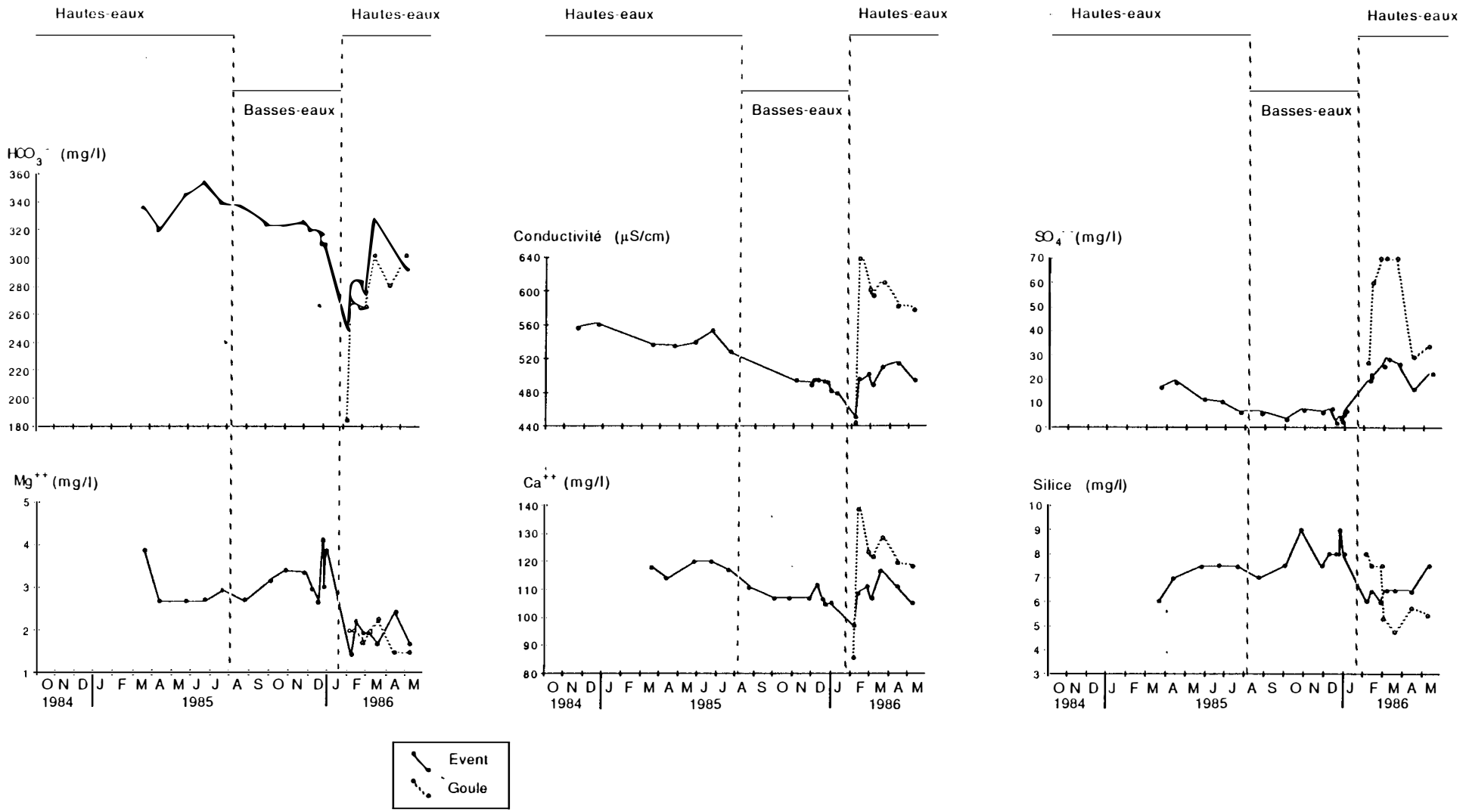


Figure 15 : Evolutions comparées des teneurs en bicarbonates, magnésium, calcium, sulfates, silice, et de la conductivité entre l'entrée (goule) et la sortie (évent) du système de Foussoubie.

Les eaux de la Planche qui s'engouffrent dans le système de Foussoubie au niveau de la goule sont plus fortement minéralisées que celles de l'évent. Toutefois, les concentrations en ions bicarbonates et magnésium des eaux qui entrent dans le système sont inférieures à celles observées à sa sortie pendant la première période de hautes-eaux et au cours de l'étiage. Les eaux de la planche se caractérisent par de fortes teneurs en SO_4^{--} et des valeurs relativement plus faibles en SiO_2

bicarbonates et en magnésium sont les plus basses (fig.13). Ceci est en partie lié à la pluviométrie qui leur est inversement corrélée sur l'ensemble du cycle, et significativement, avec les valeurs des bicarbonates (fig. 13).

En ce qui concerne la seconde série de prélèvements, l'**action** de la pluie peut être qualifiée d'**indirecte**. En effet, les précipitations entraînent la reprise des écoulements superficiels drainés par la Planche dans le système de Foussoubie et, pour celui-ci, l'augmentation des débits à l'exutoire. On peut alors envisager deux types d'influence des eaux ainsi introduites, sur la qualité chimique des eaux d'écoulements du système.

D'une part, les précipitations importantes de fin janvier et début février 1986 et la fonte de la neige (cf § I-4) ont provoqué un ruissellement superficiel d'eaux peu chargées en ions. Ces eaux, introduites dans le système par infiltration rapide, marquent leur transit par de faibles concentrations en bicarbonates et en magnésium. Ceci est bien observé à l'exutoire le 5/02/1986, date qui correspond à des précipitations très importantes mesurées pendant cette période de hautes-eaux (fig. 14).

D'autre part, après les phases de ruissellement intense, les écoulements superficiels s'étant établis, il faut considérer que les eaux de la Planche parvenant dans le système de Foussoubie, peuvent être riches en éléments minéraux. Mais ces eaux présentent des teneurs en bicarbonates et en magnésium inférieures à celles observées pendant la période d'étiage à l'évent (fig.15). Les faibles valeurs obtenues à l'évent après le 5/02/1986 indiqueraient alors l'influence de ces **eaux chimiquement distinctes de celles assurant les écoulements en étiage**, qu'elles remplaceraient partiellement ou en totalité.

Ces phénomènes peuvent expliquer individuellement la différence chimique entre la deuxième période de hautes-eaux et celle de l'étiage. La distinction entre les deux périodes de hautes-eaux analysées peut être due à un phénomène de dilution lié aux précipitations importantes.

Les précipitations peuvent aussi avoir une **action directe** se traduisant par un transit de l'information d'entrée sans qu'une modification sensible du débit ne soit enregistrée. Selon MUDRY (1987), il y aurait alors remobilisation d'eaux des milieux peu profonds (sol, épikarst, zone non-saturée). Pour le système de Foussoubie, ceci correspondrait dans un premier temps à la baisse des valeurs des bicarbonates et de magnésium (éléments peu solubles) lors de la reprise des précipitations de décembre 1985 qui ont mis fin à un automne très déficitaire (cf § I-4). Dans un second temps, les précipitations continuant, il y aurait apparition d'eau riche en magnésium, mise en évidence par les brusques augmentations de magnésium observées en fin d'étiage (fig. 14).

En résumé, les bicarbonates et le magnésium mettent en évidence le transit des eaux de ruissellement superficiel peu chargées en ions après des épisodes de crues. En régime établi, la part que prennent les eaux superficielles dans les écoulements souterrains ne peut être quantifiée. Enfin, la mesure de ces paramètres montre que les modifications hydrochimiques peuvent se produire en étiage, sans modification sensible du débit.

2-2-2-2 Le calcium et la conductivité.

Le calcium, décrit par la deuxième composante de l'A.C.N., est également lié à la pluviométrie (fig. 12 C). Il est sous la dépendance directe du régime pluvial et reproduit donc plus précisément le cycle hydrologique que les bicarbonates et le magnésium.

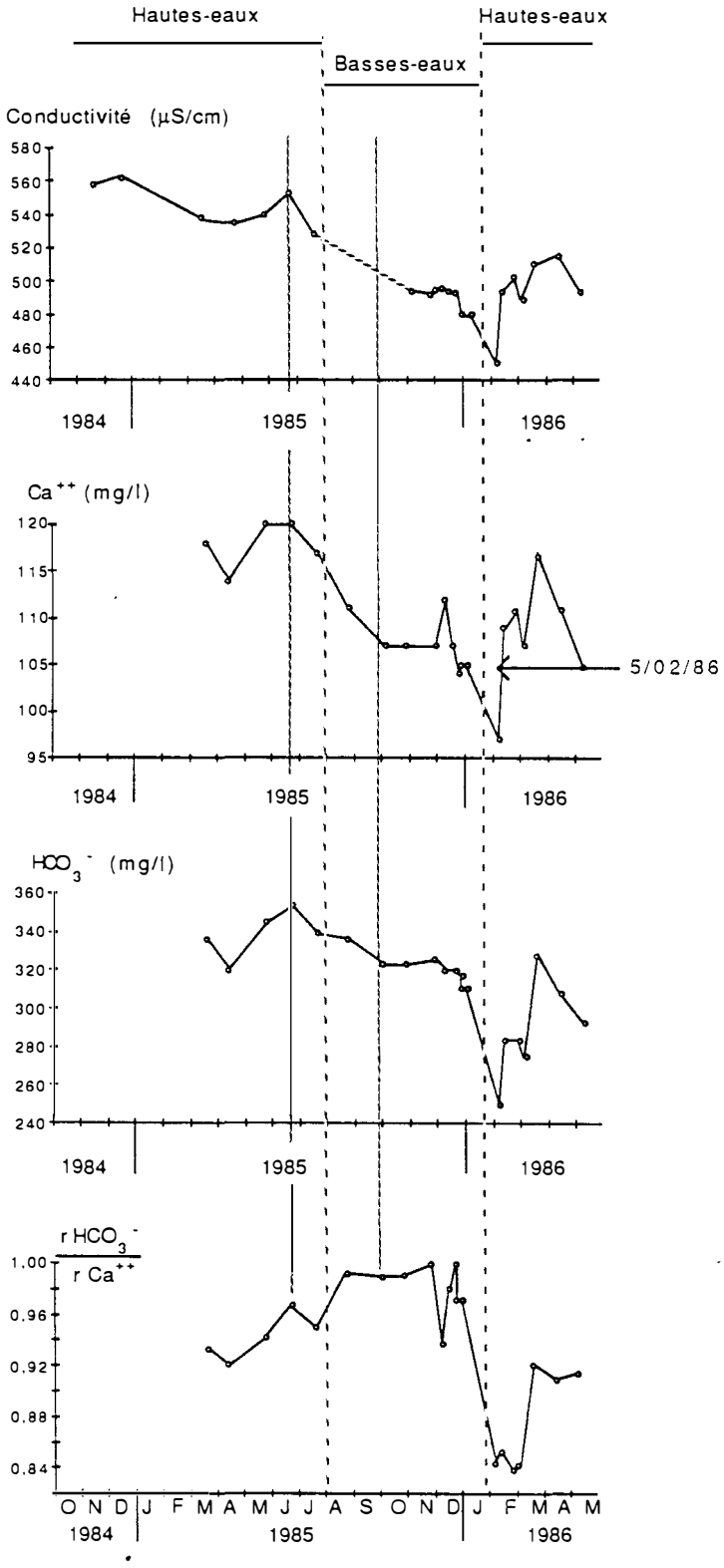


Figure 16 : Comparaison de l'évolution du rapport des teneurs en bicarbonates et calcium, avec celles de ces éléments au cours des périodes successives de hautes-eaux et basses-eaux à l'évent de Foussoubie.

Globalement, la conductivité (paramètre synthétique représentatif de la minéralisation), les concentrations en calcium et bicarbonates évoluent de façon parallèle au cours du temps. Les hautes-eaux sont caractérisées par des teneurs en ions importantes, même si plus faibles durant la seconde période de forts débits. Au début de la période de basses-eaux il existe une diminution progressive des concentrations en ions, alors que le rapport entre les teneurs en bicarbonates et calcium augmente. Ceci met en évidence un changement de la composition chimique de l'eau au cours de cette période.

Il présente de fortes concentrations en période de forts débits, exception faite du prélèvement du 5/02/1986, alors que les teneurs les plus faibles sont observées lors des basses-eaux. Ceci est confirmé par l'évolution des valeurs de la conductivité (fig. 15-16) qui représente une variable synthétique de la minéralisation de l'eau (BAKALOWICZ, 1974).

Le fait que les périodes en régime influencé présentent les plus fortes concentrations minérales est contradictoire avec les résultats obtenus par de nombreux auteurs (BAKALOWICZ et AMINOT, 1974 ; BARTHELEMY, 1984 ; GIBERT, 1986). En effet, ceux-ci considèrent, selon la conception actuelle de l'hydrogéologie karstique, que ce sont les réservoirs à fort volume mais à faible perméabilité qui alimentent les drains pendant les basses eaux. L'eau ayant séjourné relativement longtemps dans ces drains a pu dissoudre la roche encaissante et augmenter sa concentration en minéraux, puisque selon BAKALOWICZ (1975) la dissolution maximum s'effectue dans la zone noyée.

Si ce fonctionnement existe pour l'aquifère de Foussoubie, il ne s'observe pas par l'intermédiaire du calcium et de la minéralisation. En effet, il doit être masqué par l'apport des eaux de la Planche, elles aussi fortement minéralisées et riches en calcium (BELLEVILLLE , 1985) (fig. 15 ; tab. 4), qui s'introduisent dans le système par la goule de Foussoubie.

Comme pour les bicarbonates et le magnésium, mais d'une façon moins marquée, les deux périodes de hautes-eaux sont chimiquement différentes. Ceci confirmerait l'hypothèse de la dilution des eaux, car les valeurs du calcium de la première période de forts débits sont généralement supérieures à celles de la seconde période (fig. 16).

Les teneurs en calcium baissent progressivement de juin à septembre 1985, au cours de la fin de la première période de hautes-eaux, pour se stabiliser à un minimum pendant le tarissement. Cette évolution est identique à celles des bicarbonates et de la conductivité. En effet, elle est due pour 90 à 97% aux ions calcium et bicarbonates (annexe 5). Il est alors très intéressant d'observer que le rapport entre ces deux ions suit une tendance inverse (fig. 16). L'évolution de l'équilibre entre le calcium et les bicarbonates au cours de cette phase traduirait une modification chimique des eaux d'écoulement.

En résumé, le calcium montre, pour la période de hautes-eaux, la participation des eaux de la Planche aux écoulements dans le système. La différence de composition chimique des eaux (donc de leur origine), en période de forts débits et en étiage, est confirmée par les variations de l'équilibre entre le calcium et les bicarbonates. A la fin des périodes de hautes-eaux, il existe une phase de transition hydrologique pendant laquelle la part des eaux de la Planche dans l'alimentation des écoulements du système diminue progressivement.

2-2-2-3 Les sulfates et la silice.

Les variations de ces éléments, corrélés inversement l'un à l'autre, sont décrites par les deux premières composantes (fig. 13) qui traduisent deux phénomènes.

- Le premier exprime l'opposition de la première période de hautes-eaux et de celle de basses-eaux à la deuxième période de forts débits. Ainsi, les plus fortes valeurs de sulfates et les plus faibles valeurs de silice sont mesurées après la crue de janvier 1986.

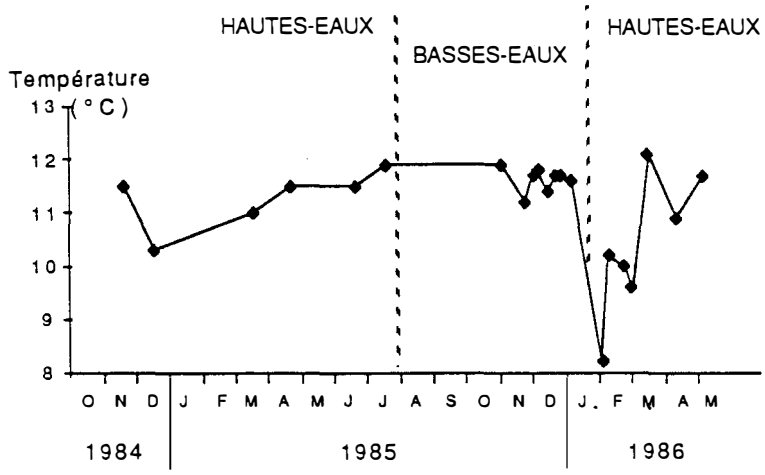


Figure 17 : Evolution de la température des eaux à l'évent de Foussoubie en fonction des périodes du cycle hydrologique représenté par le débit.

La température est caractérisée par d'importantes fluctuations de ses valeurs au cours des périodes de hautes-eaux.

- Le second correspond au cycle hydrologique. Ainsi, ces paramètres regroupent la deuxième période de hautes-eaux et le début de la première. Ils les opposent à l'étiage et à la fin de la première période de hautes-eaux qui correspond à la phase de transition hydrologique.

Pour comprendre l'évolution des sulfates il faut rappeler qu'ils ont, dans les eaux calcaires, trois origines essentielles (BAKALOWICZ, 1979) :

- la dissolution des gypses (forme hydratée de l'association du sulfate et du calcium) ;
- l'oxydation dans l'atmosphère de l'anhydride sulfureux qui provient de celle du soufre lors de la combustion du charbon ou du pétrole. Les pluies qui dissolvent cet élément se transforment alors en "pluies acides" riches en sulfates;
- l'oxydation des sulfures comme la pyrite. La dissolution de ces oxydes est relativement longue et leur présence caractérise donc des eaux ayant longuement séjourné à leur contact.

C'est ainsi que BAKALOWICZ et AMINOT (1974) considèrent cet élément comme un traceur des zones noyées dans le karst du Baget. En revanche, TISSOT et TRESSE (1978) attribuent les fortes teneurs en sulfates mesurées en hautes-eaux aux exutoires du système karstique du Verneau (Jura), aux eaux de ruissellement des terrains marneux du bassin d'alimentation. Ce cas de figure se retrouve pour le système de Foussoubie dont les eaux de ruissellement, qui rejoignent l'aquifère par la goule de Foussoubie, sont en effet riches en sulfates (BELLEVILLLE, 1985) (fig. 15 ; tab. 4). Ceux-ci proviennent des niveaux marneux présents dans la dépression de Labastide-de-Virac/Vagnas (CALLOT, 1978).

Tableau 4 : Valeurs moyennes des variables physico-chimiques analysées à l'entrée (goule) et à la sortie (évent) du système de Fousssoubie.

		HCO_3^- mg/l	Ca^{++} mg/l	r HCO_3^- / r Ca^{++}	SO_4^{--} mg/l	SiO_2 mg/l	Conductivité µS/cm
goule	moyenne	267,1	119,6	0,7	51,4	6,3	578,3
	écart-type	39,1	16,2	0,1	20,5	1,3	63,4
évent	moyenne	314,9	110,2	0,9	13,6	7,2	508,7
	écart-type	25,2	5,9	0,1	8,4	0,8	29,0

Bien qu'elles soient moins marquées, les variations des concentrations de la silice sont inverses de celles des sulfates (fig. 13). La silice caractérisant par ses fortes valeurs les eaux de l'étiage, pourrait provenir de la dissolution de la roche et de ses impuretés (BARTHELEMY, 1984) qui serait favorisée par des circulations lentes ou par un long temps de séjour. Ce scénario se retrouve pour les eaux souterraines du milieu interstitiel de la plaine alluviale du Rhône qui sont marquées par de fortes teneurs en silice (REYGROBELLET et Coll., 1981 ; REYGROBELLET et DOLE, 1982 ; DOLE, 1983 ; MARMONIER, en prép.).

En **résumé**, les sulfates confirment le rôle des eaux de ruissellement, drainées par la Planche, sur l'hydrologie du système. Ils apparaissent comme des traceurs naturels de la fonction entrée "ruissellement", qui permettent de mesurer

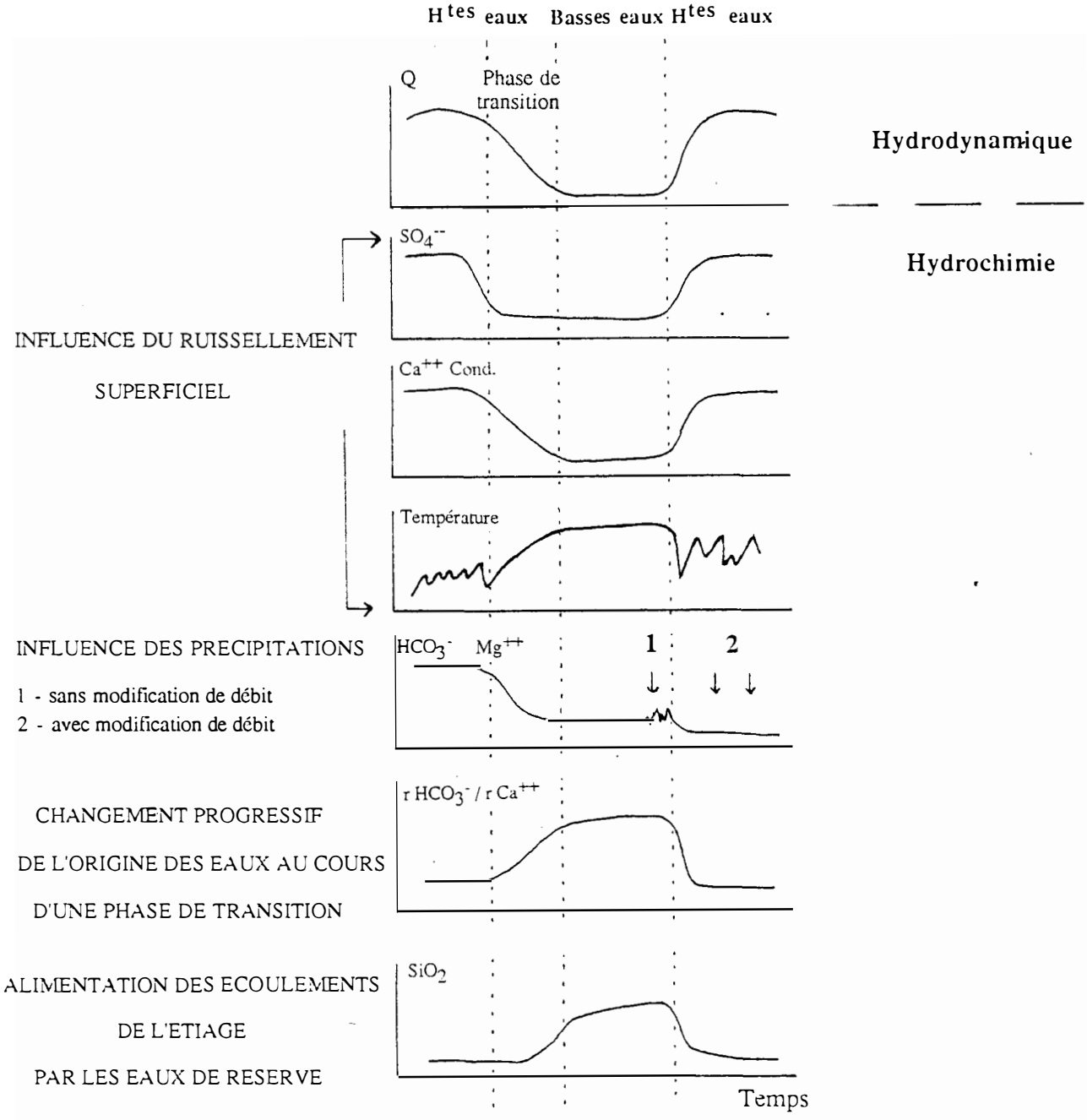


Figure 18 : Synthèse de l'hydrodynamique et de l'hydrochimie à la sortie du système de Foussoubie (évent), au cours de la période d'étude (automne 84-printemps 86).

la capacité du système à filtrer l'information d'entrée. La silice caractérise les eaux à temps de séjour important donc celles qui soutiennent les écoulements en étiage.

2-2-2-4 La température.

Ce paramètre est différent des précédents car il ne caractérise pas le contenu de l'eau. Cependant, son analyse aide à connaître le cheminement de l'eau selon qu'elle a atteint ou non l'équilibre thermique avec la roche traversée (ANDRIEUX, 1978).

Pour la Foussoubie, les valeurs mesurées confirment les phases hydrologiques mises en évidence ci-dessus (fig. 17). La deuxième période de hautes-eaux est caractérisée par des variations importantes de la température au cours desquelles les minimums et les maximums de la période d'étude sont atteints ; ceci est sûrement à mettre en rapport avec les fluctuations observées pour les eaux de la Planche qui subissent directement les variations saisonnières. Les valeurs élevées et relativement stables mesurées en basses-eaux opposent cette période à celle des hautes-eaux. Les oscillations observées à la fin de l'étiage traduiraient l'infiltration rapide des eaux de précipitations de décembre 1985.

Ce paramètre fournit des informations supplémentaires en ce qui concerne le karst noyé. Les variations relativement fortes, observées au niveau de l'exutoire de l'aquifère (de 8 à 11 °C), peuvent être dues à un faible volume de la zone noyée (ANDRIEUX, 1972) ou au fait que celle-ci est en contact avec un grand nombre de vides résultant d'une karstification importante (BELLEVILLE, 1985). Des études hydrochimiques plus poussées que celles-ci n'ont pu trancher entre ces deux solutions (TISSOT et TRESSE, 1978).

En résumé, la température, par ses valeurs très fluctuantes, met en évidence l'impact des eaux de ruissellement sur les écoulements en période de hautes-eaux. Les fortes amplitudes alors observées traduisent l'existence d'un faible volume noyé et/ou d'une karstification importante.

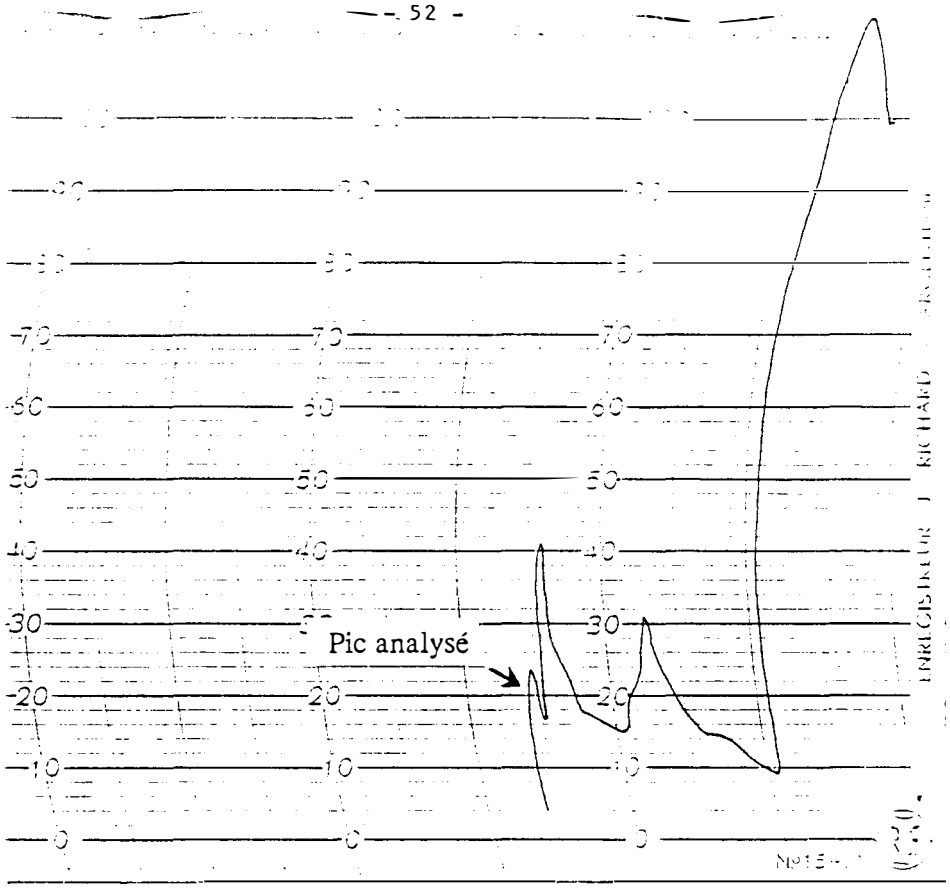
2-2-3 Conclusion.

Ces quelques paramètres hydrochimiques apportent des compléments aux informations obtenues à l'aide de l'hydrodynamisme. Ainsi peut-être reconstitué le mécanisme des écoulements du système karstique de Foussoubie.

• Les données hydrodynamiques permettent de distinguer la période de hautes-eaux influencée par l'alimentation en eaux superficielles (infiltrations diffuse et ponctuelle), de celle de basses-eaux au cours de laquelle les écoulements ne peuvent être dus qu'à des eaux de réserves dans le système. Les éléments chimiques permettent de connaître l'origine des eaux de ce système et décrivent leur dynamique. Ils peuvent être considérés comme des descripteurs chimiques caractérisant le fonctionnement du système (BOURNAUD et AMOROS, 1984) (fig. 18) :

- les sulfates, le calcium, la conductivité par leurs fortes valeurs et la température par ses fluctuations importantes qui montrent le transit des eaux du ruissellement superficiel, pour la période en régime influencé ;
- la silice et le rapport entre bicarbonates et calcium qui caractérisent, par leurs fortes valeurs, l'alimentation des écoulements en étiage par les réserves du système.

A



B

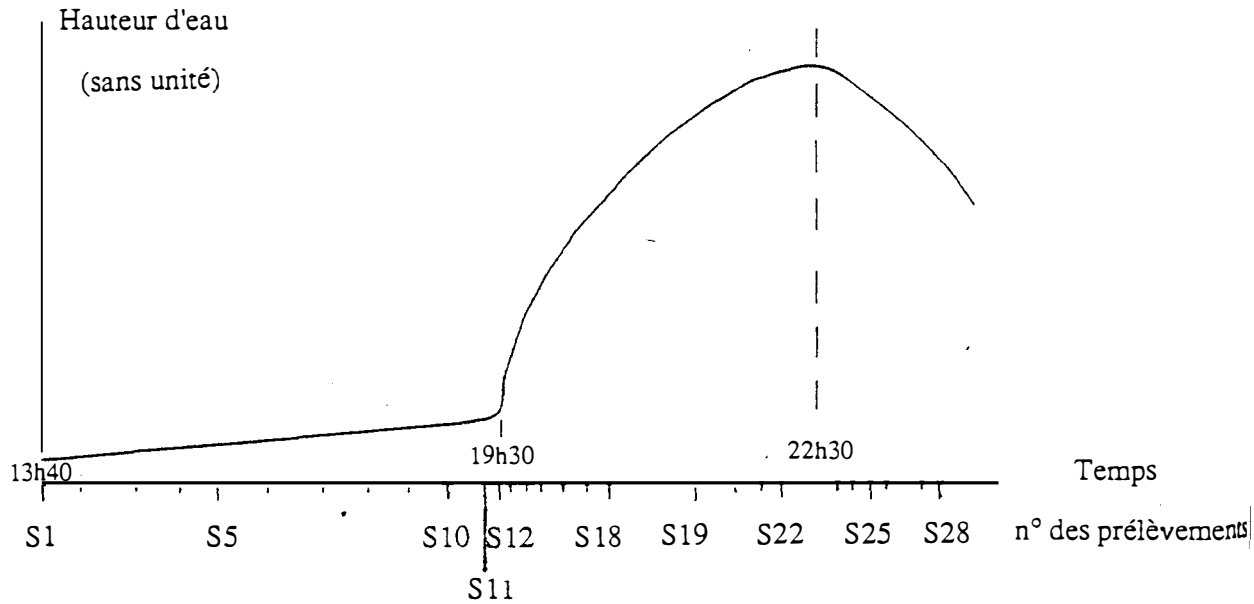


Figure 19 : -A- Situation de la "crue" analysée le 28/01/86 par rapport aux variations de débit enregistrées fin janvier et début février 1986.
-B- Courbe hypothétique du débit de la "crue" en fonction des variations de hauteur d'eau. Situation des prélèvements par rapport à ses différentes phases hydrodynamiques.

• Certaines données hydrochimiques apportent des précisions à ce fonctionnement hydrodynamique en montrant (fig. 18) :

- l'existence, à la fin de la période des hautes-eaux, d'une phase de transition au cours de laquelle la part que prennent les eaux d'infiltration (diffuse ou ruissellements du plateau, drainés par la rivière la Planche dans l'aquifère) diminue progressivement au profit des eaux des réserves du système, le rapport bicarbonates/calcium étant un bon descripteur de ce fonctionnement ;

- des transits d'eau sans modification du débit lors de la reprise des précipitations à la fin de l'étiage ; MUDRY (1987) parle alors "d'infiltration immédiate". Des familles d'eau de composition différente de celles soutenant l'étiage sont alors mises en mouvement. Le magnésium et dans une moindre mesure les bicarbonates, décrivent ce phénomème ;

- l'influence de la pluviosité en régime établi qui peut modifier la qualité chimique des eaux circulant dans le système d'une période de hautes-eaux à l'autre. Des précipitations importantes ou la fonte de neige agissent soit en provoquant une sorte de dilution des concentrations ioniques des eaux du ruissellement souterrain, soit en assurant totalement les écoulements. Les bicarbonates sont de bons descripteurs de cette influence.

L'étude mensuelle de l'hydrochimisme d'un cycle hydrologique a permis de mieux comprendre les modes de fonctionnement des circulations d'eau du système. Pour affiner ceci, une série de mesures très rapprochées sur un évènement, "la crue", a été entreprise. En effet, les eaux de précipitations s'introduisant dans le système peuvent pousser, par un "effet piston" (MUDRY, 1987) des masses d'eau préexistantes dans l'aquifère (GIBERT, 1986) jusqu'à l'exutoire. Ainsi, ces masses d'eau peu miscibles provenant de régions différentes du système peuvent aider à décrire avec plus de détails la structure et le fonctionnement de l'aquifère.

2-3 LA CRUE.

2-3-1 Présentation et méthodes utilisées.

La "crue" du 28/01/1986 est la première d'une série (fig. 19 A) qui a mis fin à la période d'étiage exceptionnellement longue de l'automne 1985 et du début de l'hiver 1986. Les prélèvements ont été réalisés à la source à partir de 13 h 40 alors que l'eau coulait déjà abondamment (environ 35 l/s). Du fait des forts débits et de la proximité entre l'évent et la source de Foussoubie, on peut supposer que les masses d'eau étaient les mêmes en ces deux points.

Le limnigraphe qui avait été installé en étiage a été noyé, l'eau ayant très vite envahi l'évent. Cependant, l'enregistrement a apporté quelques renseignements sur les principales étapes de cet épisode (fig. 19 B) :

- la première, de 13 h 40 à 19 h 15, est une légère montée du débit comme l'indique l'estimation qui a été réalisée à l'aide d'un moulinet AOTT ;

- la seconde correspond à une brusque et importante augmentation du débit : la crue. Elle a débuté vers 19 h 30 et a pris fin entre 22 h et 23 h ;

- enfin, la dernière est relative à la diminution du débit, la décrue.

Au cours de ces trois étapes ont été effectuées respectivement 11, 11 et 6 séries de mesures.

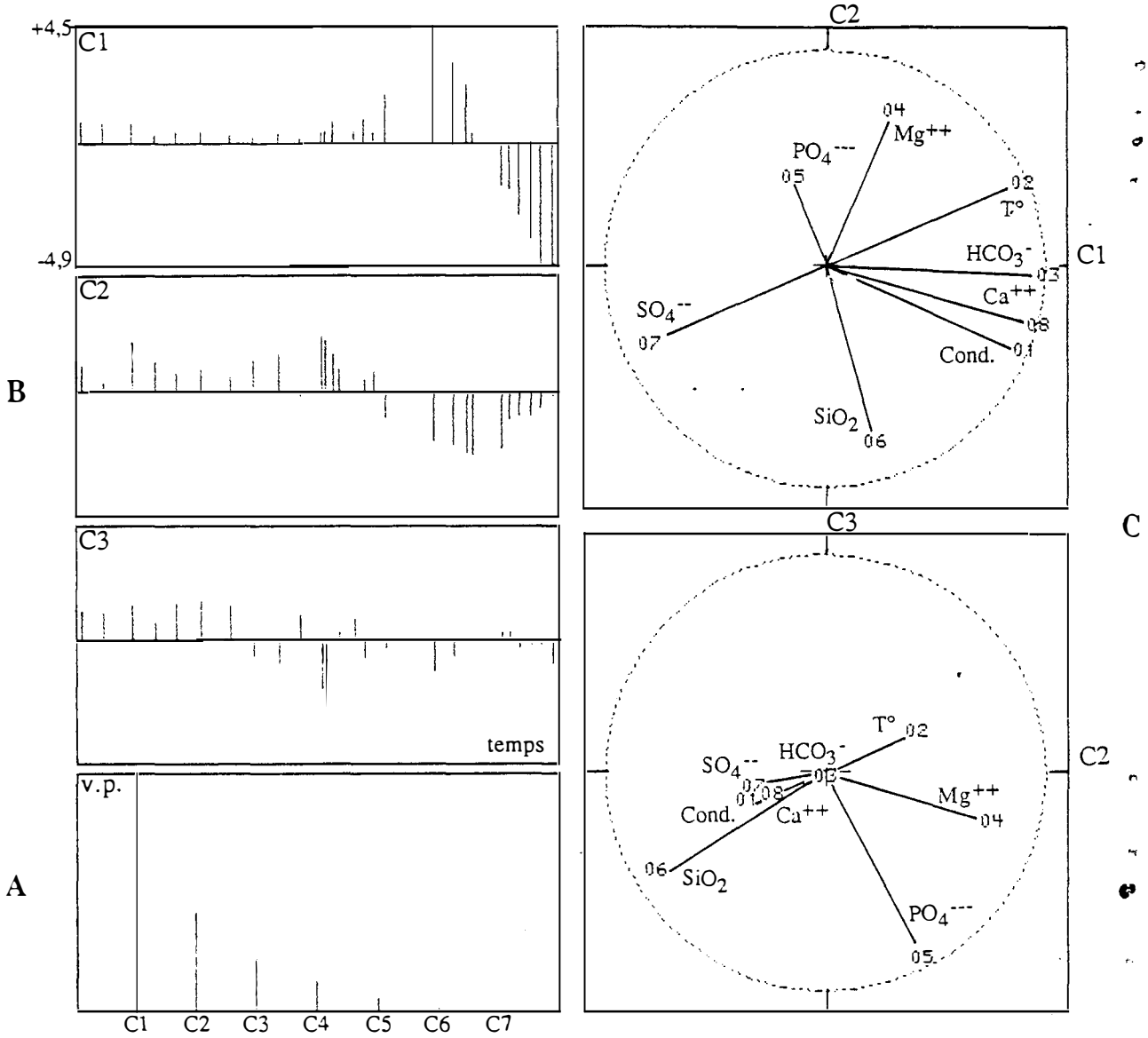


Figure 20 : Représentations graphiques des résultats de l'analyse en composantes principales normée (ACN) réalisée sur les données obtenues à la source de Foussoubie lors de la crue du 28/01/86.

-A- Valeurs propres des composantes.

Les trois premières composantes contiennent 88% de l'information.

composantes	valeurs propres	inertie	inertie cumulée
1	4,2	53%	53%
2	1,8	22,7%	75,7%
3	0,9	12,4%	88,1%

-B- Graphiques des coordonnées factorielles des prélèvements sur les axes 1, 2 et 3, en fonction du temps. Les minimums et maximums sont identiques sur les 3 axes.

-C- Projection des variables physico-chimiques en fonction de leurs coordonnées factorielles sur les plans formés par les composantes 1x2 et 2x3. Sur ces cartes factorielles figure le cercle des corrélations derayon 1.

Ces différentes représentations graphiques permettent de visualiser l'évolution du chimismé des eaux de la source de Foussoubie au cours du temps. Les principaux paramètres responsables de ces fluctuations sont mis en évidence, de même que les relations qu'ils ont entre eux.

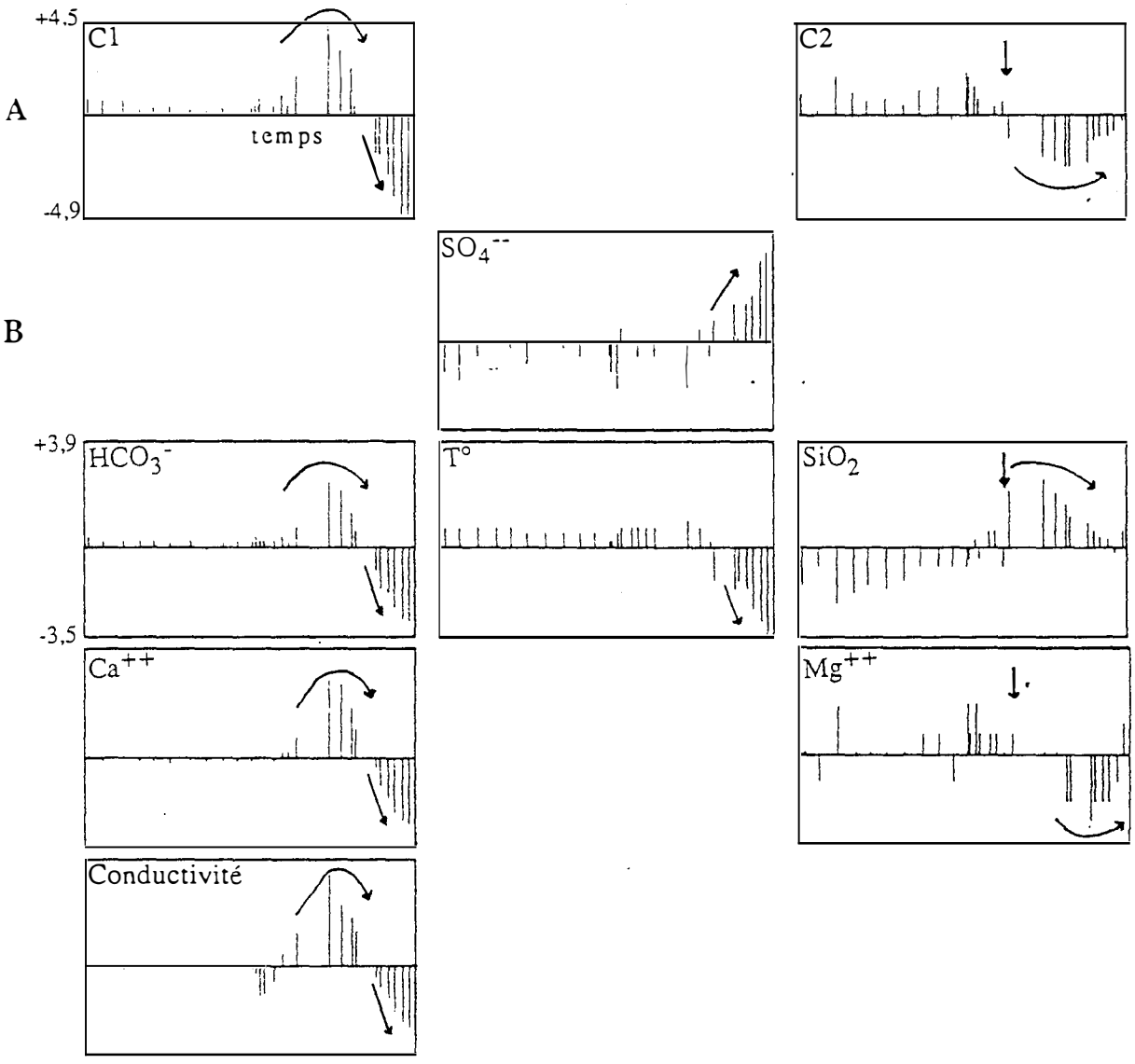


Figure 21 : Distribution, en fonction du temps, des valeurs centrée-réduites (=X-moy(X)/S) des variables physico-chimiques analysées à la source de Foussoubie lors de la crue du 28/01/86.
Ce réajustement permet la représentation de toutes les variables à la même échelle.

-A- Les coordonnées factorielles des prélèvements sur les composantes 1 et 2 donnent une image synthétique de l'évolution temporelle du chimisme des eaux.

La première composante met en évidence deux phénomènes. Le premier est un pic qui se situe au prélèvement 19. le second est une inversion brutale des variations du chimisme des eaux qui se produit au prélèvement 23. La deuxième composante montre une inversion de l'évolution du chimisme des eaux à partir du prélèvement 18. Cette évolution montre un pic situé entre les échantillons 21 et 22 .

-B- Les bicarbonates, le calcium et la minéralisation totale de l'eau reconstituent le mieux l'évolution temporelle mise en évidence sur le premier axe. La silice et le magnésium traduisent bien les variations montrées par la deuxième composante. Les évolutions de la température et des sulfates confirment le second phénomène mis en évidence par la première composante.

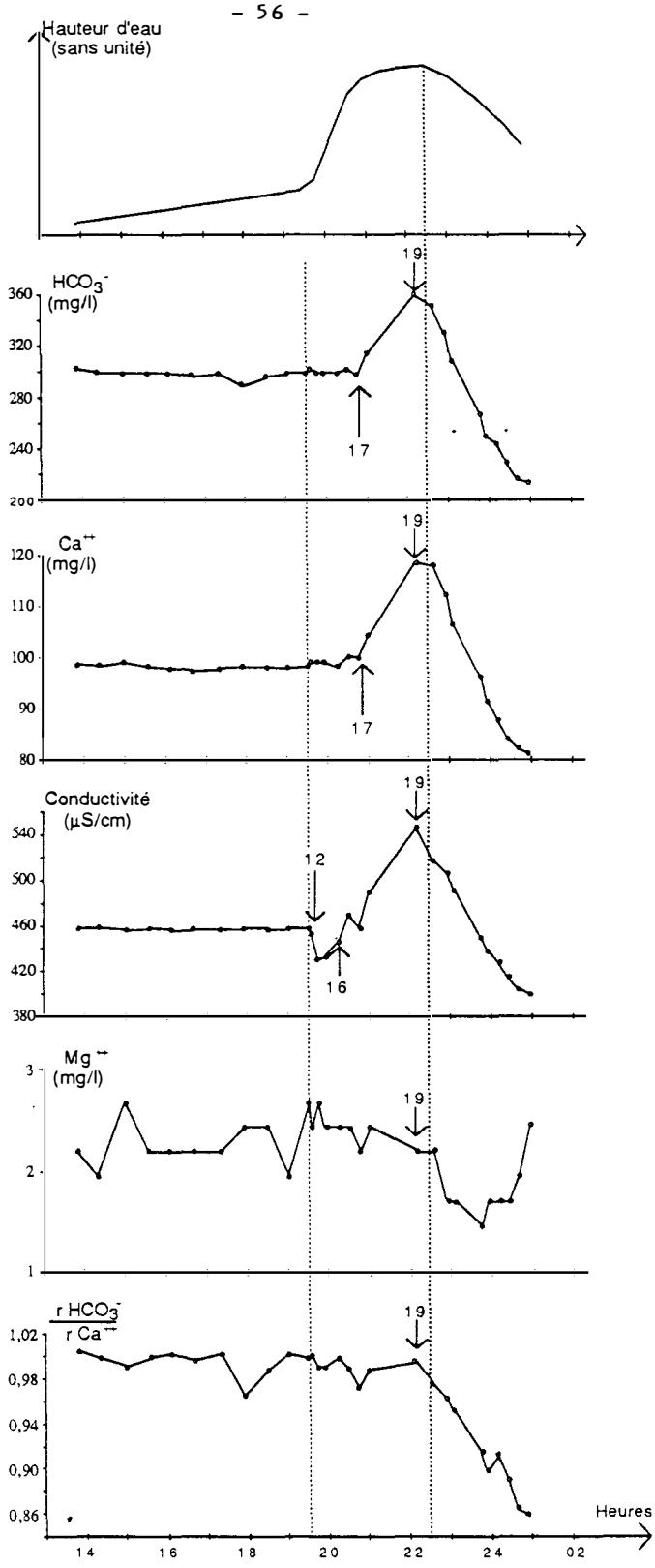


Figure 22 : Evolution de la conductivité, des teneurs en magnésium, bicarbonates, calcium, et du rapport entre les concentrations de bicarbonates et calcium au cours de la "crue" du 28 au 29/01/86 à la source de Foussoubie.

La minéralisation des eaux, et donc les teneurs en calcium et bicarbonates, augmentent après la brusque montée de débit. Cette progression atteint son maximum au 19ème prélèvement avant celui du débit. Le rapport entre ces ions reste stable jusqu'à l'échantillon 19 puis chute brusquement. Ceci signifie que, malgré une évolution des teneurs en bicarbonates et calcium des eaux, celles-ci sont de même origine jusqu'au 19ème prélèvement.

2-3-2 Résultats.

Les valeurs des paramètres chimiques mesurés lors de cet épisode ont été traitées par A.C.N. pour confirmer, et éventuellement compléter, les informations déjà acquises sur le fonctionnement hydrologique du système.

Seules les deux premières composantes, qui représentent 76% de l'information, ont été retenues (fig. 20 A). La troisième composante ne contient que peu de renseignements (12,4%) et décrit exclusivement les phosphates (fig. 20 C), dont les variations ne peuvent être interprétées ; aussi n'est-elle pas prise en compte.

Les deux premières composantes ont permis de regrouper certains paramètres (fig. 20 et 21) :

- les bicarbonates, le calcium et la conductivité expliqués par la première composante seront traités ensemble;
- les sulfates et la température, dont les variations sont prises en compte par la première et la seconde composante (fig. 20 et 21) ;
- la silice et dans une moindre mesure le magnésium, sont expliqués en partie par la deuxième composante et seront donc abordés simultanément.

2-3-2-1 Les bicarbonates, le calcium et la conductivité.

Les variations des bicarbonates, du calcium et de la conductivité, très corrélées entre-elles, sont traduites par la première composante qui prend donc en compte l'évolution de la minéralisation de l'eau (fig. 21). Celle-ci se décompose en trois phases que l'on peut situer par rapport à l'hydrodynamique (fig. 22).

- La première phase présente des valeurs de bicarbonates et de calcium stables pour les 17 premiers prélèvements (de 13 h 40 à 20 h 35). Les valeurs de la conductivité, constantes pour les 11 premiers échantillons, baissent presque simultanément à l'augmentation brusque du débit c'est-à-dire au 12ème prélèvement (à 19 h 30), et restent inférieures à celles mesurées précédemment jusqu'à 20 h 15 (16ème prélèvement). Cette baisse, qui n'est pas reproduite par la conductivité calculée (fig. 23), peut être attribuée à une déficience de l'appareil de mesure.

Pour les bicarbonates et le calcium, donc pour la conductivité, les valeurs obtenues au cours de cette phase sont moins élevées que celles enregistrées pendant le tarissement (fig. 24). La première montée de débit, responsable de la reprise des écoulements, est donc due à des eaux peu chargées. Ces faibles concentrations peuvent provenir soit de la dilution des eaux de réserve assurant les écoulements d'étiage par celles d'infiltration, soit du transit des eaux peu minéralisées du système poussées jusqu'à l'exutoire par les eaux d'infiltration.

- La deuxième phase montre une progression régulière des concentrations jusqu'à un maximum mesuré au 19ème prélèvement (22 h) qui précède le maximum du débit (fig. 22). Cette augmentation des concentrations est due à "l'effet piston", provoqué par l'arrivée des pluies, qui a chassé des eaux de réserves très minéralisées.

- Enfin, pendant la dernière phase, les concentrations en bicarbonates et calcium, ainsi que la minéralisation des eaux des 9 derniers échantillons diminuent très vite (de 22 h à 0 h 50) et semblent se diriger vers un minimum qui n'a pas été atteint durant la période d'analyse (fig. 22). Après le transfert de l'impulsion hydraulique, survient le transit des eaux qui se sont introduites dans le système par infiltration diffuse ou ponctuelle (par la goule de Foussoubie). Ces

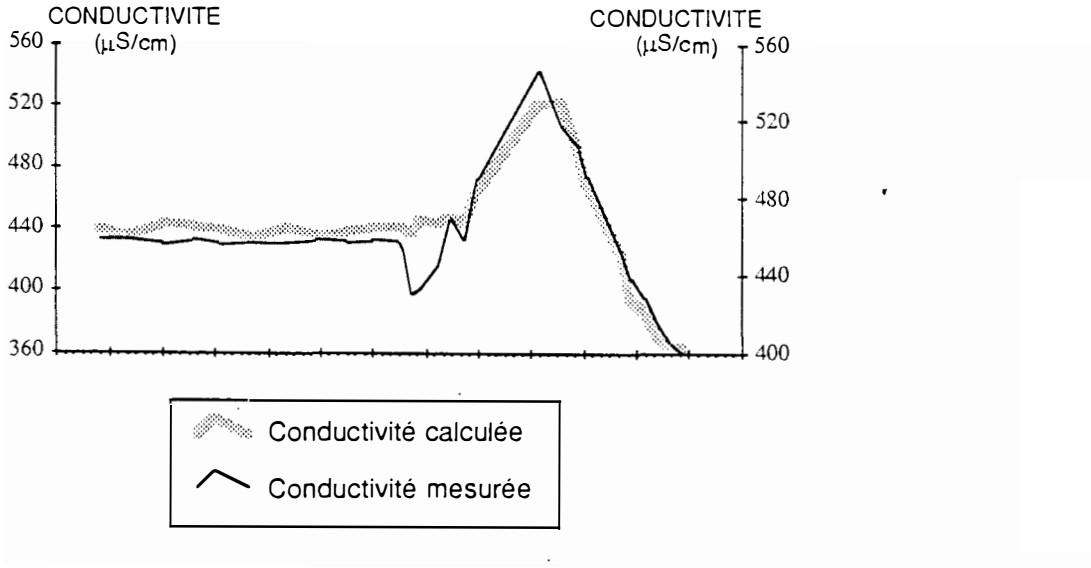


Figure 23 : Evolution comparée de la conductivité mesurée et de la conductivité calculée au cours de la "crue" du 28 au 29/01/86 à la source de Foussoubie.

La baisse de la conductivité mesurée pour les prélèvements 13,14 et 15 ne se retrouve pas par le calcul de la conductivité à partir des ions.

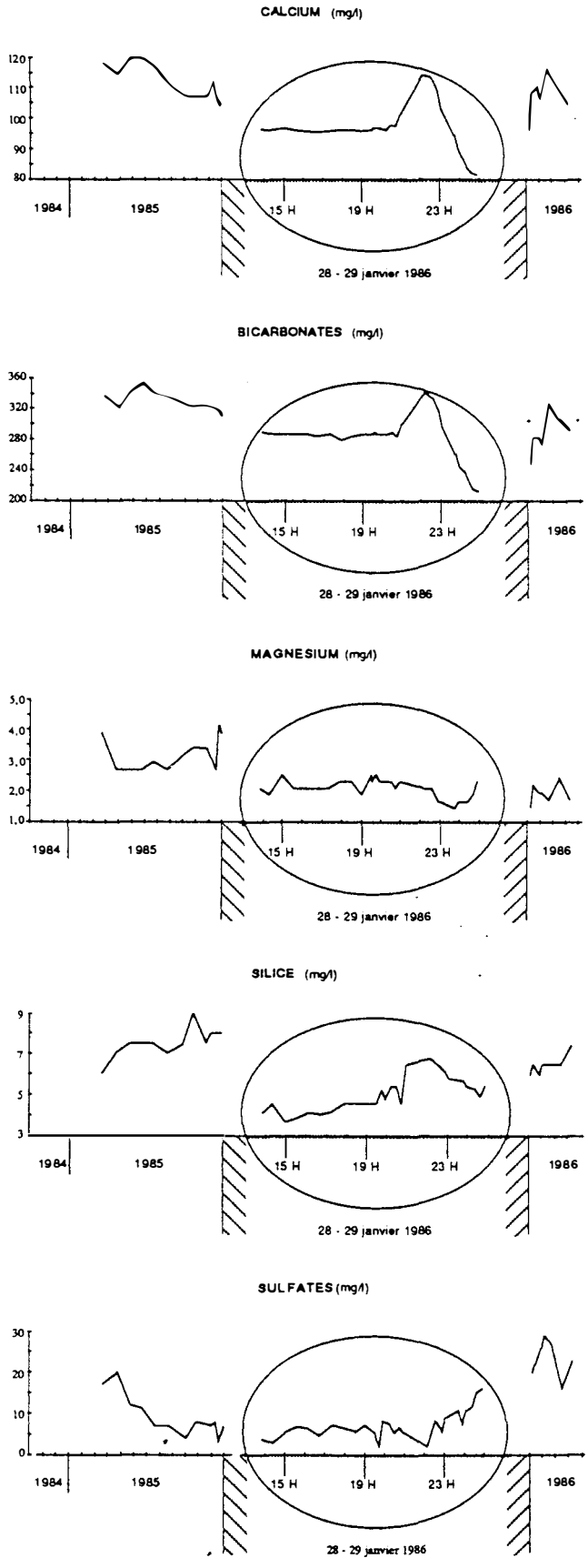


Figure 24 : Comparaison des valeurs des paramètres physico-chimiques observées au cours de la crue du 28 au 29/01/86 à la source de Foussoubie avec celles mesurées pendant le cycle hydrologique.

Au cours des premières phases de la crue, les concentrations en calcium, bicarbonates, silice et magnésium, sont inférieures à celles mesurées en étiage à l'évent de Foussoubie.

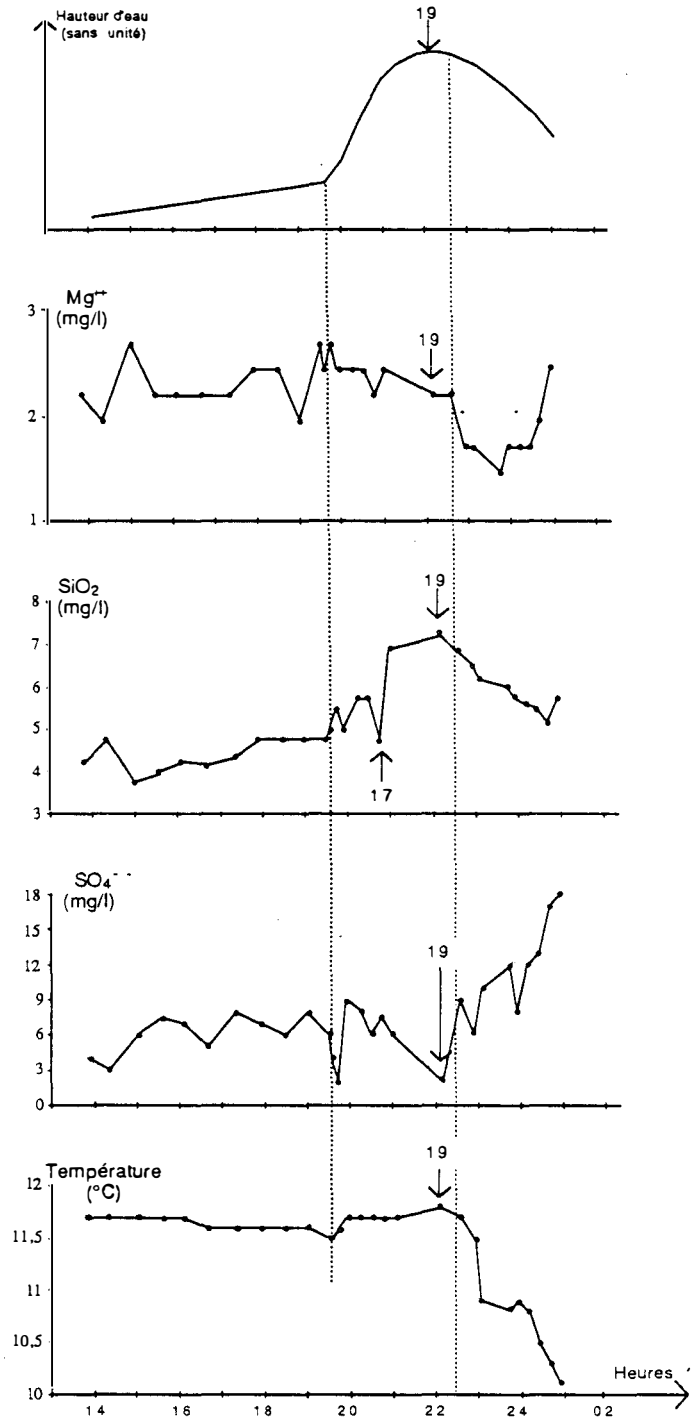


Figure 25 : Evolution des teneurs en magnésium, silice, sulfates et de la température au cours de la crue du 28 au 29/01/1986 à la source de Foussoubie.

A partir du 19ème prélèvement, les concentrations en silice et les températures diminuent alors que les concentrations en sulfates augmentent.

eaux n'ayant pas eu le temps de dissoudre les roches qu'elles ont traversées, ont de faibles concentrations ioniques. C'est ce même phénomène qui explique les faibles valeurs obtenues le 5/02/86 lors d'une décrue (fig. 24).

En résumé, les bicarbonates, le calcium et la conductivité mettent en évidence trois phénomènes hydrochimiques décalés par rapport à l'hydrodynamisme :

• les eaux correspondant à la première montée de débit sont diluées ;

• le transit d'eaux très minéralisées, du à une seconde impulsion hydraulique, s'effectue avec un certain temps de latence par rapport à la crue ;

• enfin, les eaux qui pénétrent dans le système, transitent jusqu'à l'exutoire. Elles montrent alors une faible charge ionique.

2-3-2-2 Les sulfates et la température.

Les variations de ces deux éléments sont assez bien expliquées par la première composante (fig. 21). Cependant les deux premières phases hydrochimiques mises en évidence ci-dessus ne peuvent être ici considérées comme significatives. La précision des mesures permet de ne prendre en compte que les grandes variations. Les valeurs de ces paramètres sont donc considérées comme stables jusqu'à 22 h (19ème prélèvement) (fig. 25), puis se déclenche une chute des températures et une augmentation des concentrations en sulfates.

La température marque alors le transit des eaux de précipitations (infiltration diffuse ou ponctuelle) qui, en raison de la saison, sont proches de 0 °C ; au cours de la nuit du 28 au 29, les précipitations se sont transformées en neige. L'arrivée des eaux de fonte, responsables de la chute thermique (fig. 25), confirme la baisse importante des concentrations observées pour les ions majeurs.

Les sulfates, quant à eux, marquent surtout le passage des eaux de ruissellement superficiel qui ont été drainées par la Planche dans le système. Ce traceur des terrains marneux ajoute une composante aux phénomènes mis en jeu, en montrant que les eaux de surface, provoquent non seulement une baisse des concentrations, mais introduisent aussi dans le système des eaux de composition chimique différente.

En résumé, la température et les sulfates montrent qu'à partir de 22 h (une demi-heure avant le maximum du débit), les écoulements qui parviennent jusqu'à l'exutoire du système de Foussoubie sont grandement influencés par les eaux d'infiltration. Celles-ci sont composées des eaux s'infiltrant sur tout le plateau (infiltration diffuse) et du ruissellement de surface qui pénètre à la Goule (infiltration ponctuelle).

2-3-2-3 La silice et le magnésium.

La deuxième composante sépare deux phases hydrochimiques (fig. 21) dont la frontière s'établit au niveau du 17ème prélèvement (20 h 35). Les valeurs de la première phase (de 13 h 40 à 20 h 35) sont supérieures à celles de la

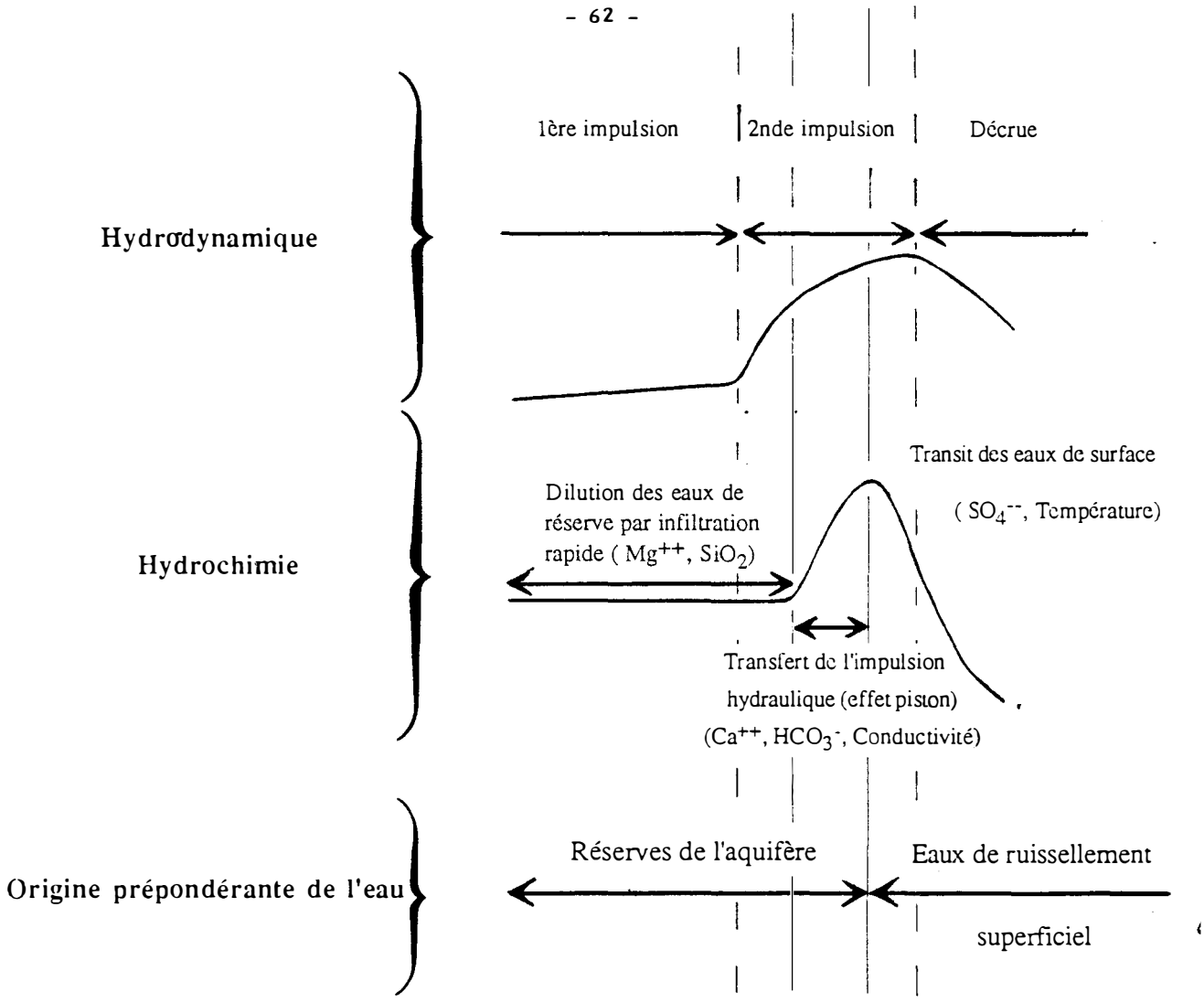


Figure 26 : Organisation et origine des écoulements lors de la crue du 28 au 29/01/1986 à la source de Foussoubie.

seconde qui recouvre les 11 derniers échantillons (de 20 h 35 à 0 h 50). La silice, dont l'évolution est inverse, et dans une moindre mesure le magnésium, décrivent ce phénomène (fig. 21).

Ces paramètres présentent, pour la première phase (de 13 h 40 à 20 h 35), des valeurs très inférieures à celles mesurées au cours de l'étiage précédent (fig. 24). Ces éléments ayant un temps de dissolution important, marqueraient le transit d'eau d'infiltration rapide qui aurait dilué les eaux assurant jusqu'alors les écoulements.

La silice met en évidence, au cours de la deuxième phase (fig. 25), l'arrivée à l'exutoire d'eaux très minéralisées (du 17ème au 19ème prélèvements) poussées par le ruissellement souterrain alimenté par les eaux d'infiltration rapide. Le transit de celles-ci se traduit par une baisse des teneurs en silice qui restent cependant supérieures à celles observées au cours de la première phase hydrochimique.

Le magnésium, quant à lui, n'indique pas le passage des eaux fortement concentrées entre le 17ème et le 19ème prélèvements (fig. 25). Ceci peut indiquer que ces eaux n'appartiendraient pas à une famille chimique différente des précédentes. Leur charge ionique élevée serait due à une remise en suspension d'éléments, provoquée par "l'effet piston". Cette hypothèse est confirmée par l'évolution du rapport bicarbonates/calcium (fig. 22) qui, contrairement à celle des ions, est stable jusqu'au 19ème prélèvement. La chute brutale qui suit, parallèle à celle du magnésium, marque le passage d'eau de qualité chimique très différente des précédentes.

En résumé, la silice et le magnésium mettent en évidence un phénomène de dilution des eaux de réserves au cours de la première phase de la crue. La silice confirme le transfert de l'onde de crue qui a chassé devant elle des eaux concentrées. Le magnésium et le rapport bicarbonates/calcium montrent que les eaux précédant le transit des eaux de surface (à partir de 22 h) sont de même nature chimique et sont donc probablement toutes originaires des réserves du système.

2-3-3 Conclusion.

Au cours de cette crue peuvent être mises en évidence plusieurs phases hydrochimiques qui correspondent, exactement ou avec un décalage, aux périodes hydrodynamiques. Ainsi, un scénario concernant l'organisation et les origines des écoulements lors de la crue peut être envisagé (fig. 26).

Les précipitations ayant entraîné la première augmentation du débit, auraient produit une dilution des eaux de réserves qui soutenaient l'étiage. Le magnésium et la silice sont de bons descripteurs de cette infiltration rapide.

Les eaux de ruissellement du bassin versant de la Planche, drainées dans le système de Foussoubie, se seraient jointes aux infiltrations rapides diffuses. Le transfert de cette impulsion hydraulique ainsi créée, aurait entraîné l'arrivée d'eaux à forte minéralisation inhérente à une remise en suspension de précipités minéraux due à "l'effet piston". Ce processus est bien décrit par le calcium, les bicarbonates et la conductivité.

Ensuite, les eaux ayant pénétré dans le système et ayant formé le ruissellement souterrain, auraient alors transité jusqu'à l'exutoire. Les sulfates et la température sont de bons descripteurs de ce phénomène.

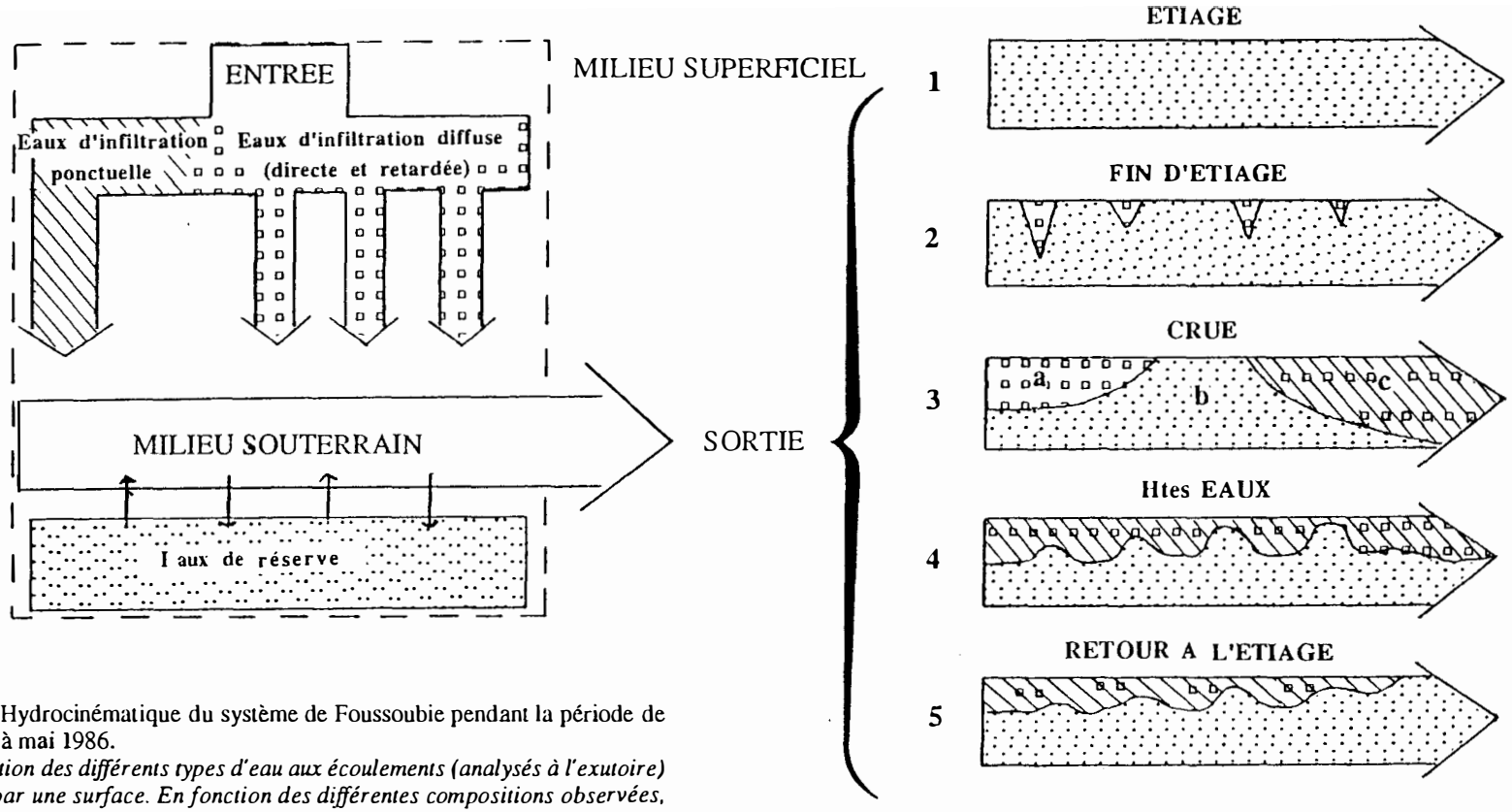


Figure 27 : Hydrocinématique du système de Foussoubie pendant la période de novembre 1984 à mai 1986.

La participation des différents types d'eau aux écoulements (analysés à l'exutoire) est symbolisée par une surface. En fonction des différentes compositions observées, 5 phases peuvent être distinguées :

*- **Phase 1** : d'août 1985 à décembre 1985, au cours de l'**étiage**, les écoulements sont assurés uniquement par les eaux de réserves.*

*- **Phase 2** : de décembre 1985 à fin janvier 1986, à la **fin de l'étiage**, les eaux d'infiltration diffuse parviennent sporadiquement à l'exutoire.*

*- **Phase 3** : au cours de la **crue** du 28/01/1986 qui met fin à l'étiage, 3 étapes se succèdent. La première montre la participation des eaux d'infiltration diffuse. La deuxième est caractérisée par l'arrivée brusque des eaux de réserve. La troisième montre l'arrivée à l'exutoire d'un mélange d'eaux de réserve et d'infiltrations diffuse et ponctuelle.*

*- **Phase 4** : de novembre 1984 à juin 1985 et de février 1986 à mai 1986, au cours des **hautes-eaux**, les écoulements sont assurés par un mélange des eaux de réserve et des eaux d'infiltrations ponctuelle et diffuse. La proportion entre ces différents composants varie au cours du temps.*

*- **Phase 5** : de juillet 1985 à août 1985, il existe une **transition hydrologique**, au cours de laquelle la participation des eaux d'infiltration aux écoulements diminue progressivement jusqu'à s'annuler. A cette dernière phase, fait suite la première.*

Les valeurs fortes, faibles ou très fluctuantes de certains éléments caractérisent ces différentes phases.

Phases / Descripteurs de fonctionnement	1	2	3 a	3 b	3 c	4	5
Valeurs faibles			Mg^{++} SiO_2		T°C		$\frac{r\,HCO_3^-}{r\,Ca^{++}}$ ↓ − +
Valeurs fortes	SiO_2 $\frac{r\,HCO_3^-}{r\,Ca^{++}}$			HCO_3^- Ca^{++} Cond.	SO_4^{--}	HCO_3^- Ca^{++} SO_4^{--}	
Fluctuations importantes		Mg^{++}				T°C	

Malgré les variations de minéralisation, les eaux précédant le transit de celles de surface sont de même origine puisque de même famille chimique. Le rapport bicarbonates/calcium et dans une moindre mesure le magnésium, en sont de bons descripteurs.

2-4 SYNTHESE DU FONCTIONNEMENT HYDROLOGIQUE DU SYSTEME DE FOUSSOUBIE.

Les analyses hydrochimiques et hydrothermiques effectuées mensuellement et lors d'une "crue" ont permis de préciser, pour le système de Foussoubie, la nature et l'origine des eaux qui alimentent ses écoulements.

Ainsi, au niveau d'un cycle hydrologique se sont succédés différents types d'alimentation décrits par certains éléments chimiques (fig. 27) :

- d'août 85 à décembre 85, au cours de l'étiage, les écoulements sont assurés par les réserves du système, caractérisées par des fortes valeurs du rapport bicarbonates/calcium et de la silice ;
- de décembre 85 à janvier 86, à la fin de la période de basses-eaux, aux eaux de réserves se sont jointes sporadiquement des eaux d'infiltrations diffuses directes. Les concentrations en magnésium ont subi dans un premier temps une baisse puis des augmentations ;
- pendant les périodes de hautes-eaux, de novembre 84 à juin 85 et de février 86 à mai 86, les eaux de ruissellement superficiel entrant dans le système par la goule ont participé activement aux écoulements. Ceci est mis en évidence par les fortes teneurs en calcium et sulfates, les valeurs élevées de la conductivité et les fortes variations de la température.

Au cours de la "crue" du 28 janvier 1986, différents types d'infiltration ont été mis en évidence :

- dans un premier temps l'infiltration diffuse rapide a participé aux écoulements. Ce phénomène est décrit par la silice et le magnésium dont les valeurs sont assez faibles ;
- dans un second temps est intervenue l'infiltration ponctuelle rapide qui est traduite par les sulfates et la température. L'augmentation des valeurs du premier descripteur et la baisse de celles du second montre l'importance grandissante de cette composante dans les écoulements au cours de la crue.

Ces différentes observations montrent que l'hydrocinématique du système de Foussoubie est caractérisée par le degré d'influence de la "composante infiltration" dans les écoulements souterrains (fig. 28). Trois cas peuvent alors être distingués :

• lorsque la composante d'infiltration est nulle, les eaux ne sont ni chimiquement, ni hydrodynamiquement influencées par la "fonction entrée". Cette phase, qui peut être qualifiée de tarissement, prendra fin différemment selon l'outil utilisé :

- d'un point de vue hydrochimique, c'est avec la reprise des précipitations qui induisent une "infiltration directe". Dans ce cas, contrairement au débit, le chimisme des eaux est modifié, on assiste alors à une **"crue hydrochimique"** (MUDRY, 1987) ;
- d'un point de vue hydrodynamique, la première montée de débit (crue) met fin à cette phase ;

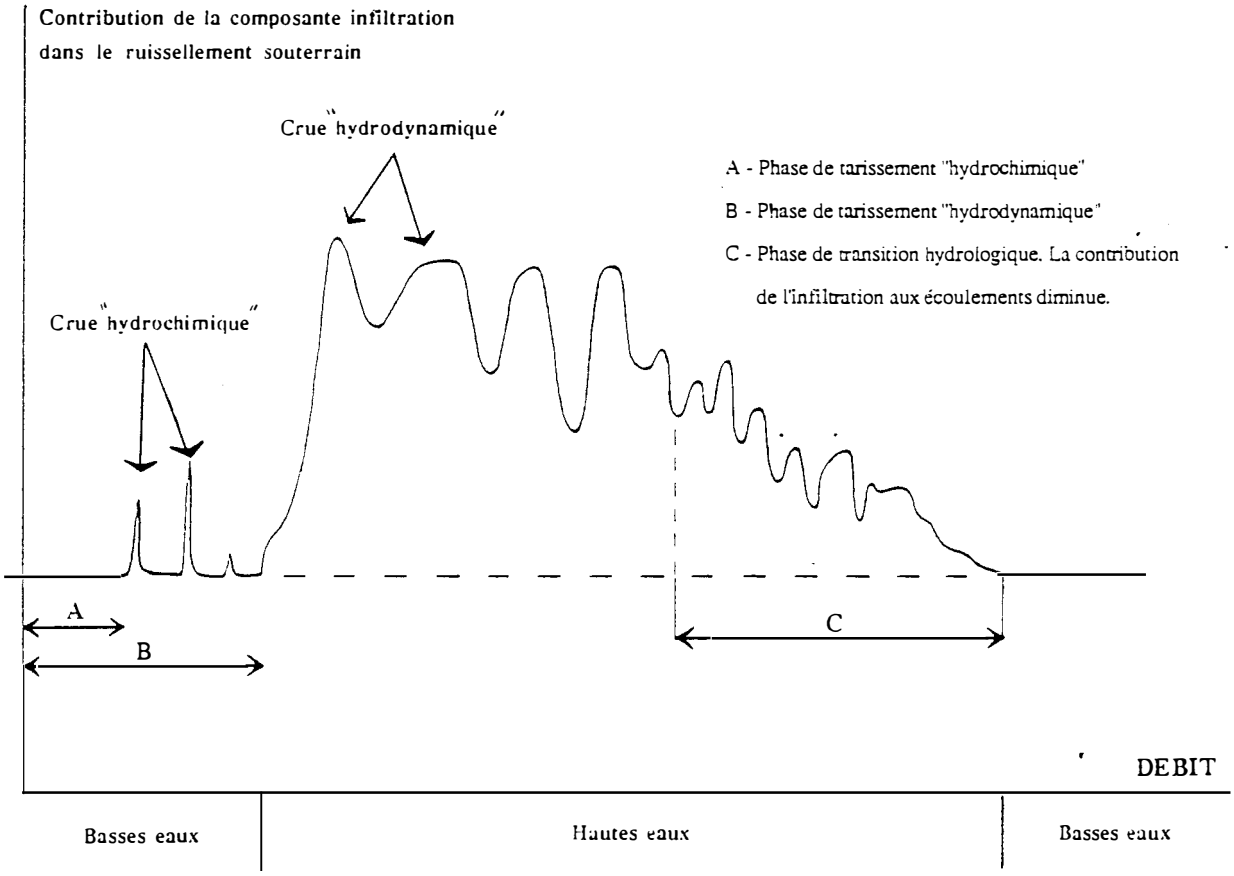


Figure 28 : Essai de modélisation de l'hydrocinématique du système karstique de Foussoubie en fonction de la contribution de la composante "infiltration" aux écoulements parvenant à l'exutoire du système.

En fonction de la chimie, les origines des eaux qui assurent les écoulements peuvent être décrites. Au cours de l'étiage, l'arrivée des eaux d'infiltration est signalée par des variations chimiques sans modification notable du débit. Au cours des hautes eaux, les infiltrations sont mises en évidences par des changements de débit (crue "hydrodynamique") ainsi que par des variations du chimisme des eaux.

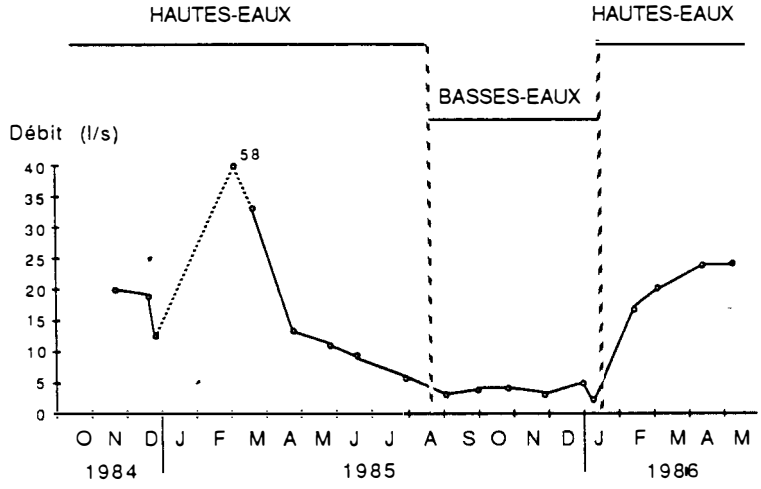


Figure 29 : Variations temporelles du débit à la source de l'Aiguille.

A l'aide de ces estimations, réalisées à partir de vitesses instantanées, les périodes de basses-eaux et de hautes-eaux peuvent être distinguées.

• lorsque les fonctions entrées existent, la contribution de la composante infiltration au ruissellement souterrain sera plus ou moins importante. Lors d'une crue, l'infiltration rapide peut être très importante et contribuer très fortement aux écoulements ;

• lorsque les précipitations et/ou les apports d'un autre système cessent, la participation de la composante infiltration aux écoulements va diminuer progressivement. Cette phase de transition (cf § II-2-2-3) est marquée par les modifications hydrochimiques.

3 LE FONCTIONNEMENT HYDROLOGIQUE DU SYSTEME DE L'AIGUILLE.

Cette étude a été entreprise sur un seul cycle hydrologique et, contrairement au système de Foussoubie, aucune crue n'y a été analysée en détail.

3-1 DONNEES HYDRODYNAMIQUES.

Les estimations de débit ont été réalisées avec la méthode employée dans la rivière souterraine de Foussoubie. Contrairement à celle-ci, les valeurs seront homogènes au cours du cycle hydrologique, la lame d'eau passant entièrement dans le filet quelle que soit la période.

Les valeurs obtenues dépassent largement les limites des intervalles de fluctuation qu'ont trouvé MAZELLIER (1971) et BELLEVILLE (1985). Il semble que les estimations soient en moyenne deux fois supérieures aux débits mesurés par ces auteurs (tab. 5), le maximum de 58 l/s n'ayant été enregistré qu'une seule fois.

Tableau 5 : Débits minimum et maximum (l/s) mesurés et estimés à la source de l'Aiguille.

Auteurs	Débit minimum	Débit maximum
MAZELLIER (1971)	1	5
BELLEVILLE (1985)	1	10
1984-1986 (présente etude)	2	61

Il faut donc davantage tenir compte de l'évolution temporelle des grandes tendances du régime hydrologique que des valeurs du débit (fig. 29). Ainsi de novembre 1984 à juillet 1985 et de février à mai 1986, les débits sont relativement élevés caractérisant deux périodes de hautes-eaux. Les valeurs obtenues d'août 1985 à janvier 1986, relativement stables et faibles, permettent d'assimiler ce temps à une période d'étiage.

Bien que l'analyse d'une crue n'ait pas été faite, soulignons toutefois que le 6/03/85, le débit est passé de 56 à 61 l/s en 7 h (la valeur moyenne de 58 l/s a été retenue pour situer cet épisode dans le cycle hydrologique). La dynamique des eaux de l'Aiguille semble donc relativement faible par rapport à celle de Foussoubie puisque le même jour l'évent était rempli d'eau.

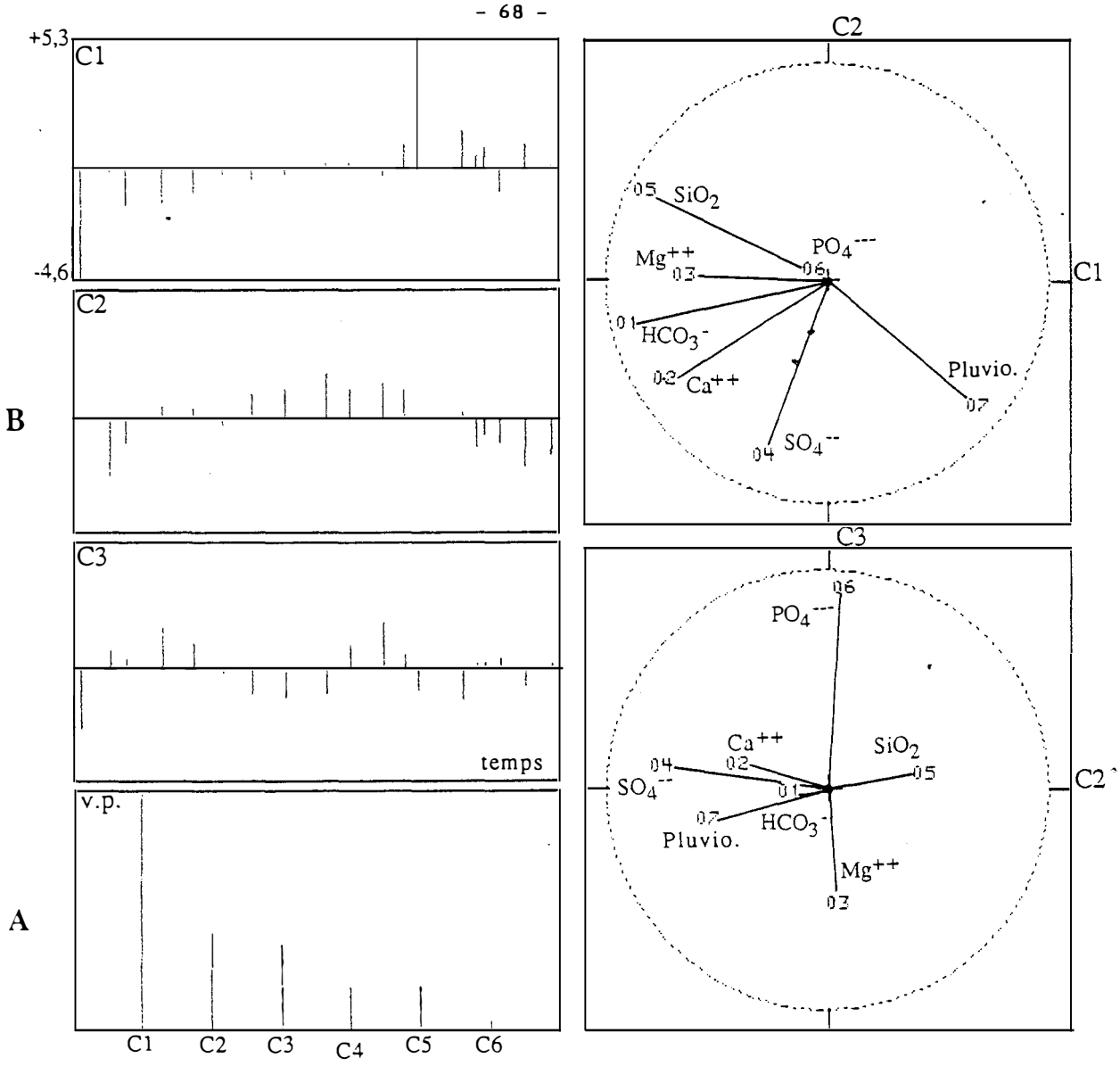


Figure 30 : Représentations graphiques des résultats de l'analyse en composantes principales normée (ACN) réalisée sur les données obtenues à la source de l'Aiguille à une échelle de temps mensuelle.

-A- Valeurs propres des composantes.

Les trois premières composantes contiennent 80% de l'information.

composantes	valeurs propres	inertie	inertie cumulée
1	3,1	44,7%	44,7%
2	1,3	18,9%	63,6%
3	1,1	16,5%	80,2%

-B- Graphiques des coordonnées factorielles des prélèvements sur les axes 1, 2 et 3, en fonction du temps. Les minimums et maximums sont identiques sur les 3 axes.

-C- Projection des variables physico-chimiques en fonction de leurs coordonnées factorielles sur les plans formés par les composantes 1x2 et 2x3. Sur ces cartes factorielles figure le cercle des corrélations de rayon 1.

Ces différentes représentations graphiques permettent de visualiser l'évolution du chimisme des eaux de la source de l'Aiguille au cours du temps. Les principaux paramètres responsables de ces fluctuations sont mis en évidence, de même que les relations qu'ils ont entre eux.

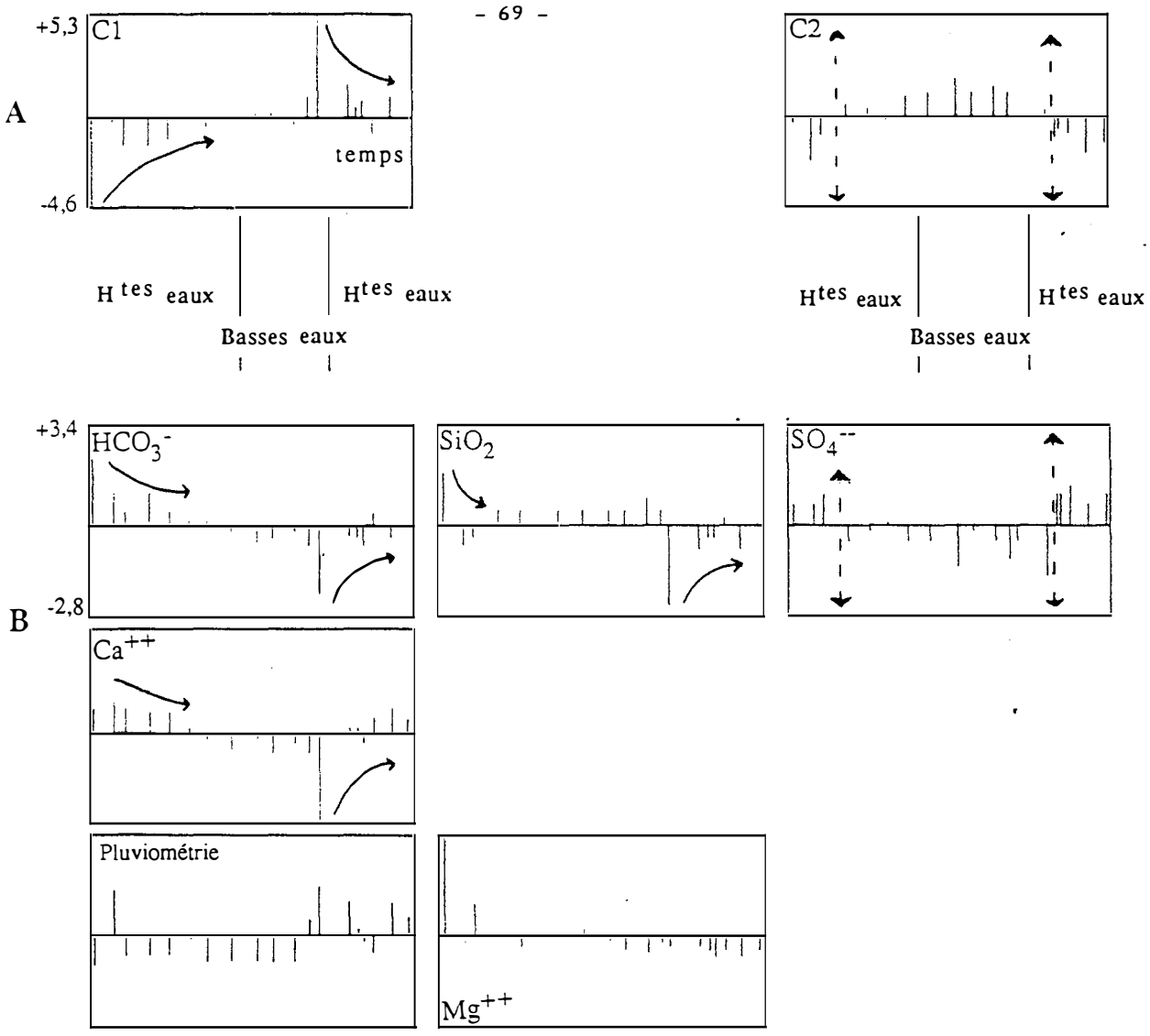


Figure 31 : Distribution, en fonction du temps, des valeurs centrée-réduites (=X-moy(X)/S) des variables physico-chimiques analysées à la source de l'Aiguille.
Ce réajustement permet la représentation de toutes les variables à la même échelle.

-A- Les coordonnées factorielles des prélèvements sur les composantes 1 et 2 donnent une image synthétique de l'évolution temporelle du chimisme des eaux.

Selon la première composante, les relevés peuvent être séparés en deux groupes. Dans chacun de ces ensembles, les évolutions débutent par un pic puis tendent vers zéro. Selon la deuxième composante, les relevés sont séparés en deux groupes. L'un rassemble les prélèvements effectués au début des périodes de hautes-eaux tandis que l'autre contient les prélèvements réalisés pendant l'étiage et la fin de la première période de hautes-eaux.

-B- Les bicarbonates et le calcium reconstituent le mieux l'évolution temporelle mise en évidence sur le premier axe. Les sulfates traduisent le mieux les variations montrées par la deuxième composante. Les évolutions de la silice sont expliquées en partie par les deux composantes. Le magnésium ne reproduit que le premier pic mis en évidence par la première composante.

En résumé, on peut distinguer pour le système de l'Aiguille deux périodes pouvant définir un cycle hydrologique, au cours de la durée de l'étude. Les épisodes de crue semblent moins violents que ceux qui ont été observés à la Foussoubie.

3-2 EVOLUTION DE L'HYDROCHIMISME AU COURS D'UN CYCLE HYDROLOGIQUE.

3-2-1 Analyse des résultats.

Les données obtenues pour les bicarbonates, le calcium, le magnésium, les sulfates, la silice, les phosphates et les hauteurs des précipitations des 11 derniers jours précédant l'analyse ont été traitées par A.C.N. La conductivité, la température et les estimations de débits seront utilisées pour dépouiller les résultats.

Les trois premières composantes rassemblent 80% de l'information (fig. 30 A). Etant donné que la troisième décrit uniquement les orthophosphates dont les variations ne peuvent être interprétées, seules les deux premières composantes et les 6 autres paramètres seront étudiés.

Les paramètres concernés par la première composante sont les bicarbonates, le calcium, la silice et dans une moindre mesure le magnésium. La deuxième composante individualise les sulfates (fig. 30).

3-2-1-1 Les bicarbonates, le calcium et la conductivité.

Les bicarbonates et le calcium, qui reconstituent le mieux les variations de l'hydrochimisme mis en évidence par la première composante (fig. 30), représentent 91 à 98% de la conductivité calculée (annaex 5). Ainsi la première composante traduit l'évolution de la minéralisation de l'eau et sépare la période d'étude en trois parties caractérisées chimiquement (fig. 31) :

- la première, correspondant aux fortes minéralisations, regroupe les premières hautes-eaux ;
- la seconde regroupe la plupart des prélèvements effectués en basses-eaux qui présentent des teneurs en bicarbonates et calcium relativement faibles ;
- la troisième qui couvre les deux derniers prélèvements du tarissement (18 et 30/12/1985) et la deuxième période de hautes-eaux, marque des eaux relativement peu minéralisées.

Cette partition par l'hydrochimie ne se synchronise pas directement avec le débit, mais avec la pluviosité (fig. 31). C'est en fonction des conditions météorologiques que certaines fluctuations de ces ions majeurs vont être étudiées.

Les bicarbonates et le calcium qui sont bien corrélés (coefficient de corrélation : 0,81), et donc la conductivité, présentent des fortes teneurs pendant la première phase caractérisée chimiquement (période de hautes-eaux). Puis une baisse progressive a lieu et les concentrations se stabilisent en période de basses-eaux (fig. 32).

Cette baisse au cours de l'étiage serait due, selon BELLEVILLE (1985), à un ralentissement des vitesses de circulation d'eau qui entraînerait un dégazage donc une précipitation de calcite ; ce phénomène serait à l'origine des tufs qui bordent ce griffon. On peut cependant envisager que ce dégazage se produit déjà à l'intérieur du système et non seulement au niveau de l'exutoire.

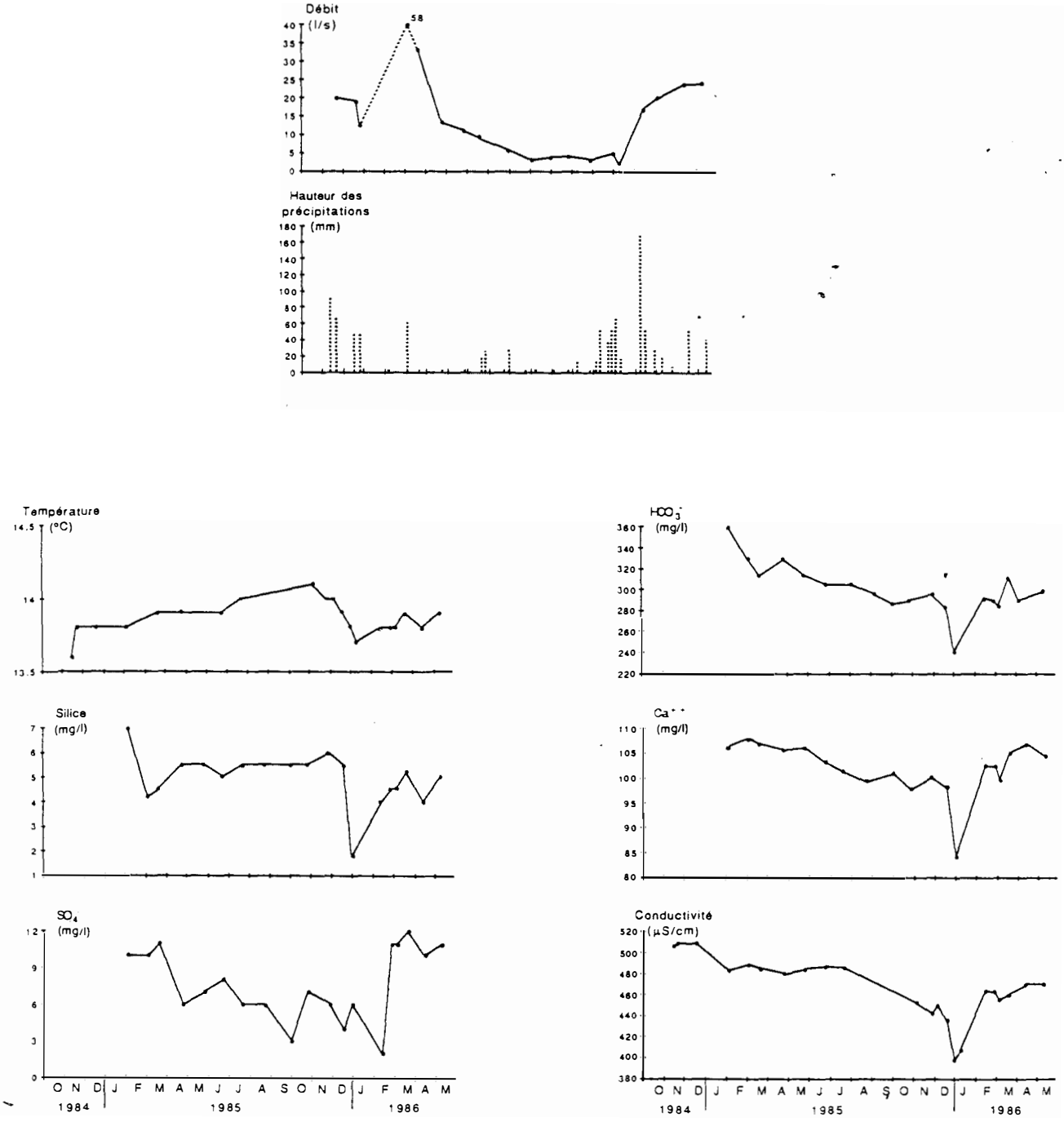


Figure 32 : Evolutions temporelles des teneurs en silice, sulfates, bicarbonates, calcium, de la conductivité et de la température des eaux de l'Aiguille.

Les fluctuations des valeurs de ces paramètres peuvent être comparées à celles du débit et aux quantités d'eau précipitées (exprimées en hauteur de précipitations cummulée au cours des 11 jours précédant le prélèvement).

La troisième phase mise en évidence par la chimie, débute par la chute des valeurs des trois paramètres le 30/12/1985 qui coïncide avec la reprise des précipitations du mois de décembre 1985, sans modification du débit (fig. 31 et 32). Ce seraient donc des "infiltrations directes" qui provoquent une dilution des eaux assurant les écoulements en étiage. Par la suite, l'augmentation du débit inhérente aux fortes précipitations entraîne à l'exutoire des eaux dont la minéralisation est proche, et même supérieure pour le calcium, de celle obtenue en étiage.

Ces valeurs relativement élevées des ions majeurs se retrouvent à la première phase chimique et notamment pour le prélèvement du 5/2/85 (Fig. 31 et 32). La minéralisation élevée, en période de forts débits, peut s'expliquer par :

- l'origine des eaux qui proviendraient de réserves différentes de celles alimentant les eaux d'étiage ;
- la vitesse d'écoulement des eaux qui empêcherait le dégazage et donc la précipitation des ions majeurs ; les eaux auraient alors la même origine.

En résumé, les eaux de l'Aiguille sont plus minéralisées en période de hautes-eaux qu'à l'étiage. Ce phénomène peut être du à l'existence de réserves différentes, sollicitées alternativement dans le temps, ou à un dégazage en basses-eaux relatif aux faibles vitesses d'écoulement.

Ce système semble posséder une structure permettant le transit rapide des eaux d'infiltration, jusqu'à l'exutoire, en fin d'étiage. Celles-ci, peu chargées en ions, diluent les eaux des réserves.

3-2-1-2 Les sulfates.

La deuxième composante met en évidence deux phases chimiques. La première regroupe les prélèvements effectués à des débits supérieurs à 10 l/s et s'oppose à la seconde qui contient les échantillons de la période de débit inférieur à 10 l/s (fig. 31).

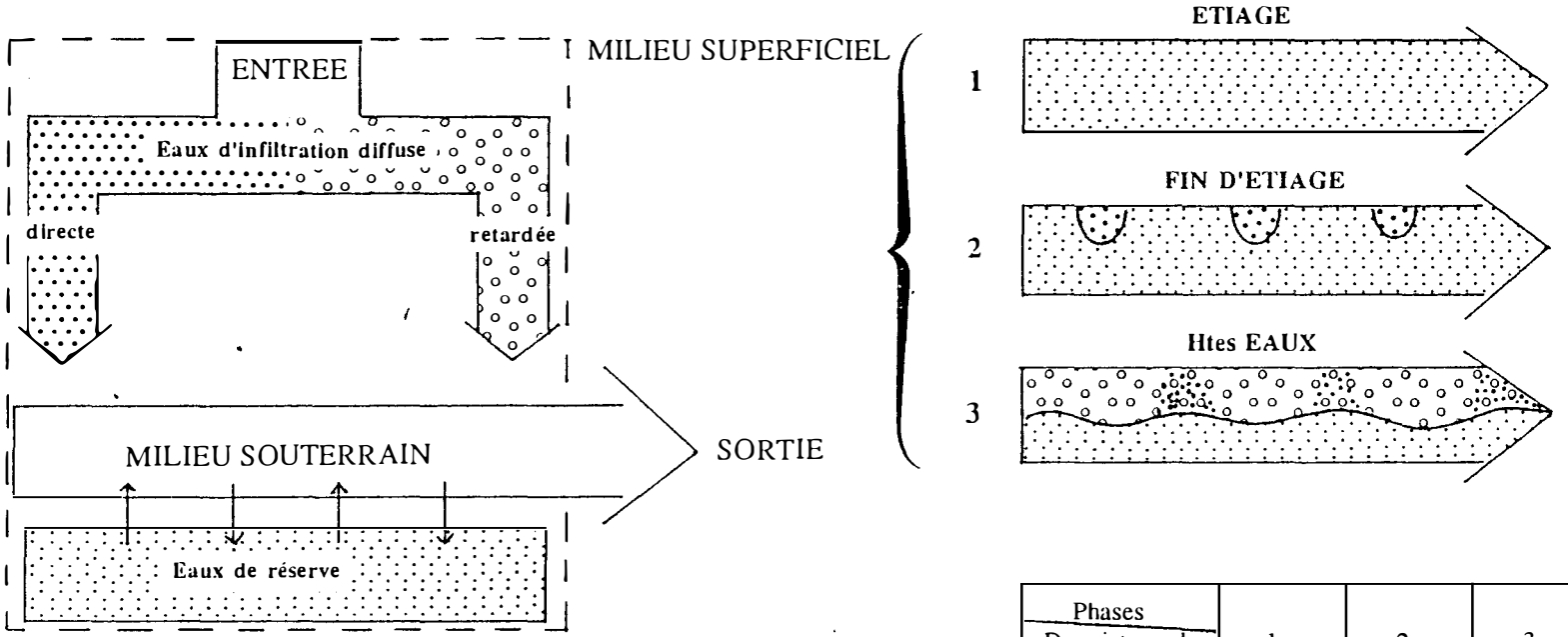
Les sulfates qui décrivent bien ce phénomène (fig. 31), présentent de fortes valeurs en période de fort débit et des teneurs plus faibles en basses-eaux (fig. 32)

Les concentrations des eaux de pluie obtenues par ADAM (1979) dans quatre stations appartenant au plateau des Gorges de l'Ardèche ou proches de celui-ci ne sont pas négligeables (tableau 6) et pourraient expliquer les fluctuations des sulfates. Cet anion apporté par les pluies serait reconcentré par les phénomènes d'évapotranspiration au niveau des couches superficielles du plateau et serait alors entraîné vers l'exutoire par les infiltrations rapides en période de hautes-eaux. L'anomalie que représentent les très faibles teneurs mesurées le 5/02/1986 en hautes-eaux pourrait être due à une forte dilution en raison de l'importante pluviosité des 11 jours précédents (fig. 32).

Tableau 6 : Teneurs en sulfates des eaux de pluie mesurées par ADAM (1979)

	Joyeuse	les Vans	Vallon-Pt-d'Arc	Bourg-St-Andéol
SO_4^{--} (mg/l)	0,2	0,42	0,27	0,48

En résumé, les sulfates montrent que pendant la période de hautes-eaux et de précipitations importantes, les eaux parvenant à l'exutoire sont de nature différente de celles alimentant les écoulements en régime peu ou pas influencé.



Phases / Descripteurs de fonctionnement	1	2	3
Valeurs faibles	HCO_3^- Ca^{++} SO_4^{--}	HCO_3^- Ca^{++} Cond.	
Valeurs fortes	SiO_2 T° C		HCO_3^- Ca^{++} SO_4^{--}

Figure 33 : Hydrocinématique du système de l'Aiguille pendant la période de janvier 1985 à mai 1986.

La participation des différents types d'eau aux écoulements (analysés à l'exutoire) est symbolisée par une surface. En fonction des différentes compositions observées, 3 phases peuvent être distinguées :

*- **Phase 1** : d'août 1985 à décembre 1985, au cours de l'étiage, les écoulements sont assurés uniquement par les eaux de réserves.*

*- **Phase 2** : au cours de décembre 1985, à la **fin de l'étiage**, les eaux d'infiltration diffuse directe parviennent sporadiquement à l'exutoire.*

*- **Phase 3** : de janvier 1985 à juin 1985 et de février 1986 à mai 1986, au cours des **hautes-eaux**, les écoulements sont assurés par un mélange des eaux de réserve et des eaux d'infiltration diffuse. La plupart du temps ce sont les infiltrations retardées qui participent aux écoulements. A ces eaux, se mélangent celles des infiltrations directes, lors des épisodes pluvieux importants.*

Les valeurs fortes ou faibles de certains éléments caractérisent ces différentes phases.

3-2-1-3 La silice et la température.

La silice est expliquée en partie par les deux composantes (fig. 31). Ses teneurs présentent les deux maximums mis en évidence par l'axe factoriel 1 et différencient la période des débits élevés (exception faite du premier prélèvement) de celle qui regroupe les faibles débits. Les variations de cet élément sont confirmées par celles de la température.

Les valeurs maximales de la silice et de la température observées à l'étiage (fig. 32) signalent une alimentation par des eaux ayant séjourné longtemps dans les roches qu'elles ont traversées.

Les faibles valeurs de ces paramètres concernent les eaux en régime influencé. La très faible concentration en silice du 30/12/85 et les températures basses mesurées le 16/11/84 et le 8/01/86 correspondent à de fortes précipitations et expriment ainsi la dilution par les eaux d'infiltration rapide (fig. 32). Les très fortes teneurs de silice mesurées le 5/02/85 indiqueraient l'arrivée à l'exutoire d'eaux très minéralisées dues à une remise en suspension de précipités ou à la présence de réserves différentes.

En résumé, les variations de la silice confirmées par celles de la température indiqueraient que les réserves de l'aquifère sont relativement importantes ou/et que les contacts entre la roche et les eaux sont nombreux. Les températures basses et les faibles concentrations en silice attestent l'influence des infiltrations rapides, en période de forts débits, qui agiraient en diluant les eaux des réserves.

3-2-1-4 Le magnésium.

Les variations de cet élément sont peu expliquées par les composantes principales de l'A.C.N. Il semble que les variations du magnésium suivent préférentiellement le phénomène mis en évidence par la première composante (fig. 30). En effet, ces fluctuations sont marquées par une très forte teneur mesurée le 5/2/85. Ceci marquerait le passage, déjà décelé par les bicarbonates et la silice, d'eaux très minéralisées dues à l'existence de réserves différentes de celles exploitées normalement, ou à une remise en suspension d'éléments précipités par l'augmentation du débit.

En résumé, le magnésium apporte peu de renseignements sur le fonctionnement hydrologique mais confirme le maximum observé le 5/02/1985 pour la silice et les bicarbonates.

3-2-2 Conclusion.

Le système de l'Aiguille comporte une période d'étiage au cours de laquelle les eaux sont moins minéralisées (bicarbonates, calcium, sulfates) que pendant la période de hautes-eaux. Cette caractéristique ne peut s'expliquer, contrairement au système de Foussoubie, par la participation d'eau provenant d'un système lotique superficiel.

L'hypothèse expliquant ce phénomène par dégazage en basses-eaux peut ne pas être satisfaisante et on peut envisager la participation d'eaux contenues dans les "blocs capacitifs de la zone non-saturée" qui, lors des hautes-eaux, délivreraient des eaux chargées en calcium et bicarbonates (CHEVALIER, 1988) (fig. 33). La contribution importante

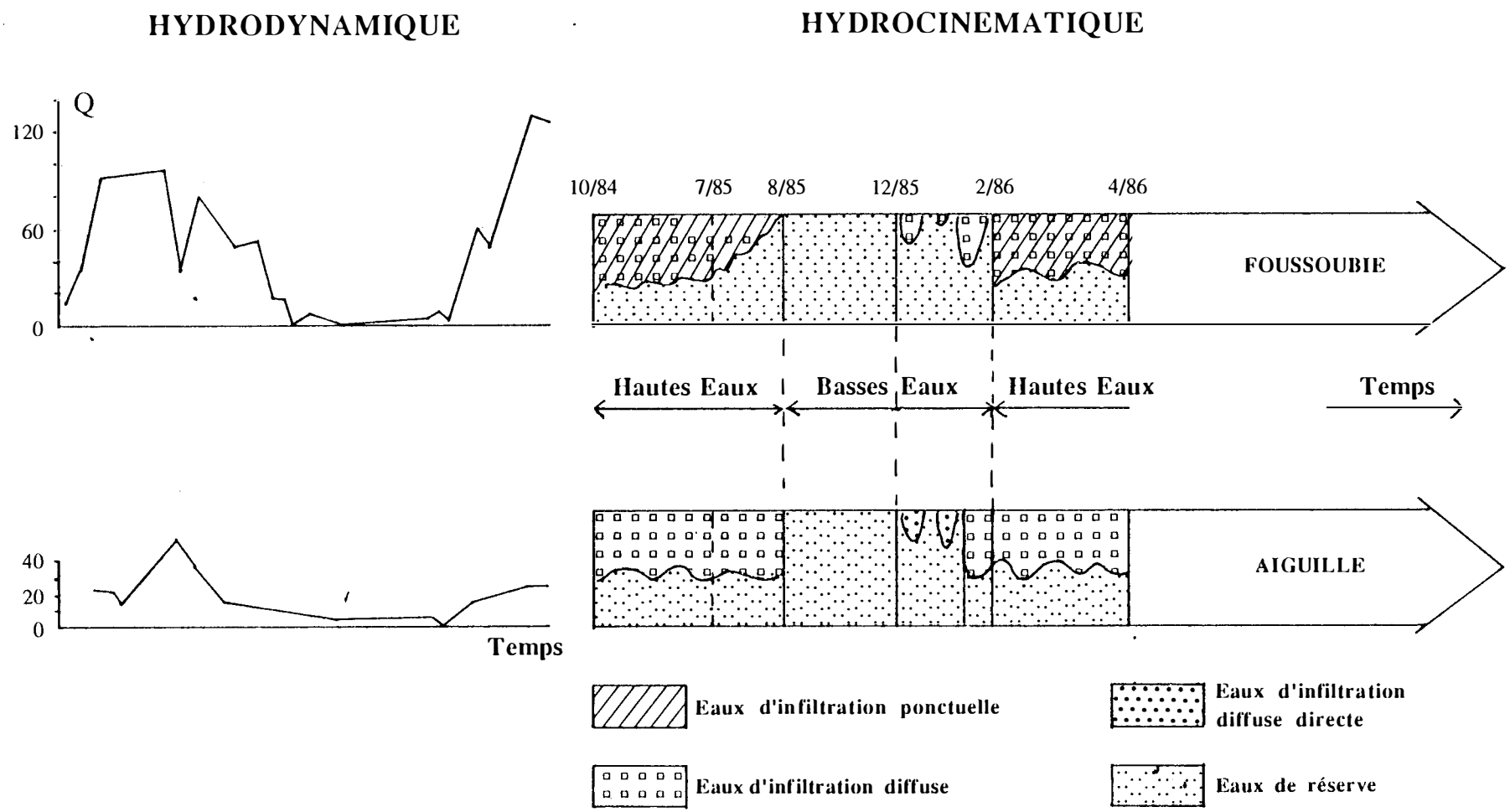


Figure 34 : Variations comparées de l'hydrodyamique et de l'hydrocinématique de Foussoubie et de l'Aiguille.
La fréquence et l'intensité des fluctuations des débits sont beaucoup plus élevées pour le système de Foussoubie que pour celui de l'Aiguille.
Les deux systèmes peuvent être comparés en fonction de l'origine des eaux assurant les écoulements. Ils se différencient l'un de l'autre par certains phénomènes :
- La résurgence de Foussoubie est caractérisée par des entrées d'eau par infiltrations ponctuelle et diffuse alors que l'exsurgence de l'Aiguille ne possède que des infiltrations diffuses.
- La période de transition hydrologique au cours de laquelle s'effectue une diminution progressive de l'influence des eaux d'infiltrations n'a été observée que pour le système de Foussoubie.
- A la fin de l'étiage, les deux systèmes ont une structure qui permet le passage de l'infiltration diffuse lors de la reprise des précipitations.
Les eaux d'infiltrations participent d'une façon permanente aux écoulements plus rapidement dans le système de l'Aiguille que dans celui de Foussoubie.

des eaux de la zone non-saturée aux écoulements en régime influencé est confirmée par les fortes teneurs des sulfates qui ont pu se concentrer au niveau de l'épikarst.

Les températures élevées et stables mesurées pendant les basses-eaux montrent la mobilisation d'eau de réserves de la zone saturée.

Ce système présente une structure permettant le passage de l'infiltration rapide qui dilue les eaux d'écoulement des réserves lors de la reprise des précipitations en période d'étiage et au cours des épisodes pluvieux, importants en hautes-eaux.

CONCLUSION

Au cours de la période d'étude des systèmes karstiques de Foussoubie et de l'Aiguille, deux événements météorologiques importants se sont déroulés. Une **sécheresse à caractère centenaire** a sévi durant l'automne 1985 et des **précipitations relativement abondantes** ont marqué la fin de l'hiver et le début du printemps 1986. Ces conditions météorologiques ont permis de mieux connaître le fonctionnement hydrologique de chacun des systèmes considérés. L'exsurgence de l'Aiguille et la résurgence de Foussoubie qui ont été simultanément soumises à ces mêmes conditions pluviométriques, présentent la même chronologie des périodes de hautes-eaux et de basses-eaux. Ceci autorise une comparaison de l'hydrocinématique de ces deux systèmes.

Dans les deux cas, les écoulements sont assurés par un mélange d'eau de réserves du karst et d'eau d'infiltration. La différence provient du type d'infiltrations qui sont uniquement diffuses pour l'Aiguille, diffuses et ponctuelles pour Foussoubie. Pour ce dernier (karst à résurgence), l'alimentation ponctuelle par la Planche joue un rôle très important dans le fonctionnement hydrologique. En effet, il entre ainsi dans le système des eaux qui ont déjà acquis une minéralisation caractéristique alors que pour l'Aiguille (karst à exsurgence), les eaux de précipitations qui s'infiltrent sont peu minéralisées. Elles se chargent au contact des roches du massif qu'elles traversent et notamment au niveau d'un épikarst ou/et de blocs capacitifs sous-jacents. Ce **marquage chimique** des eaux d'infiltrations permet de les reconnaître à l'exutoire et ainsi de mettre en évidence l'**origine des eaux qui s'écoulent.**

Une comparaison chronologique de la composition des eaux de ruissellement des deux systèmes est un moyen de comparer leur dynamique (fig. 34). Les deux systèmes montrent pendant les périodes de hautes-eaux une alimentation mixte et au cours de l'étiage une alimentation unique par les réserves. De même, la reprise des précipitations à la fin de la période de basses-eaux provoque dans les deux cas une crue "chimique" sans modification importante de débit. En revanche, le système de Foussoubie se singularise par une période de transition très nettement marquée, au cours de laquelle la part des eaux de la Planche dans les écoulements diminue progressivement jusqu'à devenir nulle. Elle prend place à la fin de la période de hautes-eaux lorsque les précipitations diminuent en fréquence et en importance et s'achève quand les eaux des réserves assurent la totalité des écoulements. **La résurgence est ainsi caractérisée par des crues qui provoquent une exclusion des eaux des réserves par celles de la Planche, qui assurent seules le ruissellement souterrain au cours des "crues".**

De ces quelques observations, il faut retenir que ces deux systèmes qui ont un fonctionnement hydrodynamique bien différent dans la fréquence et l'intensité des variations des flux hydriques (fig. 34), ont un relativement faible pouvoir de filtration de l'information d'entrée. Ils ont donc une faible inertie au niveau du cycle hydrologique face aux

flux provenant des systèmes adjacents. En revanche, à l'échelle de plusieurs cycles hydrologiques, ils possèderaient une certaine stabilité puisque ce sont relativement les mêmes conditions hydrochimiques et hydrodynamiques qui sont observées d'une période de hautes-eaux à l'autre. Ces systèmes conserveraient donc une certaine "mémoire" d'un cycle à l'autre.

DEUXIEME PARTIE

STRATEGIE D'ECHANTILLONAGE

ooooooo

INTRODUCTION

Les premiers travaux réalisés sur la faune souterraine ont permis d'aborder les problèmes concernant la biologie générale, la physiologie, la systématique, l'adaptation, l'éthologie, la zoogéographie, etc... (VANDEL, 1964 ; GINET et DECOU, 1977). Dans ce but, les animaux devant être récoltés dans leur milieu, de nombreuses techniques se sont développées et parmi les plus utilisées on peut citer la chasse à vue, le piégeage par attraction des animaux, le lavage des sédiments, le pompage des milieux interstitiels et le filtrage des eaux (bibliographie *in* GIBERT, 1986). Ces méthodes sont employées **directement** dans le milieu souterrain.

Le changement d'échelle, dû à l'étude des populations et des peuplements des systèmes karstiques, a posé le problème de la représentativité de l'échantillon ainsi récolté. A l'hétérogénéité des volumes qui composent l'aquifère correspond une diversité des habitats qui ne peuvent pas être tous prospectés directement. C'est pourquoi une méthode **indirecte** a dû être envisagée : le filtrage des eaux des émergences.

Si dès 1925, CHAPPUIS a utilisé cette technique (*in* ROUCH, 1968), ce n'est qu'au cours des vingt dernières années que cette méthode s'est développée (BARTHELEMY, 1984 ; GIBERT, 1986). Ainsi, nombreux sont les auteurs, cités par GIBERT (1986), qui ont mené, en filtrant les eaux des exutoires, des recherches autoécologiques et synécologiques.

Citons comme exemple, pour le premier cas, les travaux importants menés par TURQUIN sur les populations de *Niphargus* dans le Jura (TURQUIN, 1976, 1981, 1984, 1986). En ce qui concerne les études faites sur les peuplements, on se doit de citer les résultats obtenus par ROUCH, de 1968 à 1985, sur la communauté d'Harpacticoïdes du système pyrénnéen du Baget (ROUCH, 1986). Ces travaux ont permis de mettre en évidence une organisation des peuplements dérivants qui dépend de la structure et du fonctionnement du système (ROUCH, 1986). Ce phénomène, étudié parallèlement dans les systèmes lotiques superficiels (BOURNAUD et THIBAULT, 1973), montre la pertinence de la méthode du filtrage des eaux des émergences.

Ainsi, **l'étude de la dérive animale**, bien que "ne donnant qu'une image partielle des peuplements en place" (GIBERT, 1986), permet de comprendre l'écologie d'un système karstique.

Dans le but d'échantillonner le maximum des habitats potentiels du système, les récoltes de faune s'opèrent souvent lors des crues (GIBERT, 1986 ; GIBERT et LAURENT, 1982 ; GIBERT et Coll., 1984 ; MOESCHLER, 1982 ; MOESCHLER et Coll., 1982 ; ROUCH, 1972, 1980-a et b, 1982-a et b, 1984 ; ROUCH et BONNET, 1977-a et b ; ROUCH et CARLIER, 1985-a et b). Celles-ci entraînent une "hémorragie" (ROUCH, 1970) des organismes qui, en supposant que tous les habitats soient concernés par ce "lessivage", estompe les différences de composition faunistique qui peuvent être observées entre deux lieux différents comme l'exutoire et l'intérieur du système (JUBERTHIE et JUBERTHIE-JUPEAU, 1975).

L'étude de l'impact des crues sur le peuplement en place peut être envisagée si le milieu échantillonné est identique d'un prélèvement à l'autre. Ceci ne peut être réalisé par le filtrage des eaux, étant donné que le nombre et la qualité des habitats prospectés sont liés à l'état hydrologique du système lors des prélèvements. Il est alors apparu opportun d'envisager l'utilisation de la méthode "des substrats artificiels" qui repose sur la colonisation, par les

organismes, des espaces vides qui leurs sont expérimentalement offerts. Ainsi, chaque relevé correspondra à un espace connu qui sera le même pour chaque expérimentation, et ceci en situation hydrologique quelconque.

Cette méthode étant encore peu utilisée en milieu aquatique karstique, il a semblé nécessaire, dans un premier temps, de la présenter en s'appuyant sur les nombreuses données obtenues par les biologistes travaillant sur les eaux douces de surface. Dans un second temps, il est apparu indispensable d'effectuer des expériences pour en définir les conditions d'utilisation en fonction de différentes contraintes techniques et mésologiques.

I PRESENTATION DE LA METHODE DES SUBSTRATS ARTIFICIELS.

1 UTILISATION DES SUBSTRATS ARTIFICIELS EN MILIEU DULCAQUICOLE DE SURFACE.

Inspirée par SHELFORD et EDDY en 1929 (*in* CAIRNS, 1982), cette méthode d'échantillonnage des macro-invertébrés aquatiques a été utilisée dès 1935 par MOON (*in* CAIRNS, 1982). Au cours des trente années qui suivirent cette innovation, les travaux utilisant ce mode de prélèvement furent peu nombreux. Il fallut attendre le début des années 1970, pour voir se répandre la pratique de cette technique. Ce développement a nécessité une synthèse bibliographique dans laquelle ROSENBERG et RESH (1982), recensant 96 travaux traitant directement de la méthode des substrats artificiels de 1970 à 1980, présentent les avantages et les inconvénients de la méthode. Inspirés de cet ouvrage, les éléments principaux de cette dualité vont être résumés.

1-1 AVANTAGES DE LA METHODE.

Les biologistes ont tout d'abord vu dans cette méthode deux principaux avantages :

- d'une part les possibilités techniques qu'elle offre. Citons pour exemple, la prospection des milieux inaccessibles par d'autres moyens, comme les eaux lénitiques profondes (KREIS et Coll., 1971 ; LAVILLE, 1974 ; RICHARDOT-COULET et Coll., 1983) ou comme les grands cours d'eau en période de fort débit (CELLOT, 1982) et "l'échantillonnage à peu de frais" de milieux déjà étudiés (ROUX et Coll., 1976) ;

- d'autre part la possibilité de standardiser les prélèvements (CROSSMAN et CAIRNS, 1974), pour comparer des stations aux conditions de milieux différentes (*in* KHALAF et TACHET, 1978). Pour ce deuxième point, les conditions d'utilisation doivent être bien prises en considération. Certains travaux montrent l'importance de la position des appareils dans un même milieu naturel (en pleine eau ou reposant sur le fond) dans les résultats faunistiques obtenus (BOURNAUD et Coll., 1978 ; CELLOT, 1982). Ainsi, ROSENBERG et RESH (1982) conseillent de placer les appareils dans des conditions écologiques semblables si leur but est la comparaison des milieux .

1-2 CONTRAINTES DE LA METHODE.

1-2-1 Types de substrats.

Les recherches menées à l'aide de cette technique se sont heurtées aux problèmes liés à la structure des substrats artificiels. Ainsi, nombreux sont les travaux qui portent sur l'efficacité de tel ou tel type d'appareils (citons par exemple, BENFIELD et Coll., 1974 ; CROSSMAN et CAIRNS, 1974 ; KHALAF et TACHET, 1980 ; FLANNAGAN et ROSENBERG, 1982 ; SLACK et Coll., 1986).

Il faut dire que l'imagination des auteurs, les moyens dont ils disposent et la morphologie des stations prospectées ont permis la création de substrats artificiels très divers. Si les paniers remplis de graviers, de galets ou de pierres sont fréquemment utilisés (FULLNER, 1971 ; CROSSMAN et CAIRNS, 1974 ; ROUX et Coll., 1976 ; KHALAF et TACHET, 1977 ; BOURNAUD et Coll., 1978 ; WISE et MOLLES, 1978 ; WILLIAMS, 1980-b ; SLACK et Coll., 1986), certains, plus originaux, vont des plaques remplies de débris végétaux provenant du milieu échantillonné (LAPCHIN, 1977) aux plateaux en résine acrylique (DEUTSCH, 1980). Les deux premiers types, proches du substratum en place, sont un exemple des "representative artificial substrates" (R.A.S.), au sens de ROSENBERG et RESH (1982), alors que les seconds entrent dans la catégorie des "standardized artificial substrates" (S.A.S.) regroupant ceux qui diffèrent du milieu naturel.

1-2-2 Dynamique de colonisation.

Aux problèmes posés par cette diversité matérielle, s'ajoutent ceux inhérents à la durée optimale d'immersion des appareils pour atteindre l'équilibre du peuplement . Ceci est d'autant plus difficile à mettre en évidence que le temps de colonisation est différent selon les groupes faunistiques (KHALAF et TACHET, 1977) et selon la classe d'âge considérée (NILSON et SJÖSTROM, 1977 ; COWELL, 1984). Les nombreux travaux réalisés montrent que le temps nécessaire à la colonisation des substrats artificiels peut varier de 6 à 40 jours (bibliographie *in* CAIRNS, 1982 ; *in* DE PAUW et Coll., 1986). Ces travaux ne suffisent pourtant pas à dégager un mode d'emploi universel, les processus de colonisation apparaissant plus compliqués que prévus (SHAW et MINSHALL , 1980).

1-2-3 Conclusion.

La diversité des substrats artificiels employés ne doit pas faire oublier que des facteurs intrinsèques comme le volume et la qualité des vides colonisables influent sur les résultats (KHALAF et TACHET, 1978 ; WISE et MOLLES, 1979). A cette difficulté d'utilisation, s'ajoute le problème lié à la durée incertaine d'exposition des substrats dans le milieu que ROSENBERG et RESH (1982) considèrent comme l'un des plus importants désavantages de cette technique.

Toutes ces contraintes ont fait que les recherches sur les milieux non encore échantillonnés à l'aide de cette technique doivent être précédés d'expériences visant à connaître le temps optimum de colonisation selon le type de substrat employé .

1-3 OBJECTIFS DES ETUDES EMPLOYANT CETTE METHODE.

Les problèmes énoncés ci-dessus ont limité l'utilisation des substrats artificiels à des études bien précises. Les principaux objectifs recherchés avec l'emploi de cette méthode et figurant dans la littérature peuvent êtres regroupés ainsi :

• étude de problèmes particuliers d'écologie, comme par exemple :

- la recolonisation de zones soumises à des assèchements périodiques (WILLIAMS et HYNES, 1976 ; WILLIAMS, 1977 ; WILLIAMS, 1980-a) ;

- l'estimation de l'impact de faibles variations du débit sur la faune d'une grande rivière (CELLOT et BOURNAUD, 1986) ;

- la dynamique des mouvements de l'eau et des matières en suspension (CELLOT et BOURNAUD, 1984) ;

- l'effet des perturbations sur la faune installée sur des substrats artificiels (ROBINSON et MINSHALL, 1986) ;

- la distribution à petite échelle des macro-invertébrés, par exemple en fonction des détritus allochtones (RABENI et MINSHALL, 1977) ou leur distribution à plus grande échelle, par exemple celle des Trichoptères Hydropsychidés dans un fleuve (CELLOT et Coll., 1984) ;

- l'estimation de la production des invertébrés d'un cours d'eau (COVER et HARREL, 1978) ou de celle d'une espèce (DESSAIX, 1980).

• contrôle dans des milieux déjà connus :

- de la qualité des cours d'eaux (BENFIELD et Coll., 1974 ; VERNEAUX et Coll., 1977 ; DE PAUW et Coll., 1986) ;

- des transformations biocénotiques de cours d'eaux soumis à de grands aménagements comme les barrages (A.R.A.L.E.P.B.P., 1986-a) et les centrales nucléaires (A.R.A.L.E.P.B.P., 1986-b) ou à des épandages d'insecticides, dans le cadre de la lutte contre les parasites en Afrique (DEJOUX et Coll., 1983 ; ELOUARD, 1984).

2 UTILISATION DES SUBSTRATS ARTIFICIELS EN MILIEU DULCAQUICOLE SOUTERRAIN.

2-1 EN MILIEU POREUX.

La prospection du milieu poreux aquatique par l'intermédiaire des substrats artificiels, a débuté par l'étude de la faune hyporhéique des 30 et 50 premiers centimètres de profondeur (COLEMAN et HYNES, 1970 ; BISHOP, 1973). Cette méthode s'est ensuite développée pour l'étude de la faune interstitielle jusqu'à 70 cm de profondeur (HYNES, 1974).

Ces techniques ont été par la suite reprises avec quelques modifications pour étudier, dans les rivières, la répartition verticale des larves d'Insectes dans les sédiments (POOLE et STEWART, 1976 ; MORRIS et BROOKER, 1979) et l'hétérogénéité spatiale et temporelle des sédiments (BOISSON et PROST, 1984).

Cette méthode a aussi été employée pour suivre l'évolution d'une population phréatique d'Amphipodes en fonction de l'hydrodynamisme (MATHIEU et Coll., 1984 ; RIABOFF, 1985 ; MATHIEU et Coll., 1987).

2-2 EN MILIEU KARSTIQUE.

L'utilisation des substrats artificiels en milieu aquatique karstique, bien que suggérée par TURQUIN dès 1982, est beaucoup plus récente et encore peu répandue. Elle a permis d'échantillonner simultanément plusieurs émergences (PINAY, 1984 ; VERVIER, 1984) et des systèmes pour lesquels le filtrage ne peut être réalisé facilement (CHAUVIN, 1987 ; VERVIER et Coll., 1986).

Ces travaux fournissent quelques renseignements quant aux durées d'immersion utilisées dans ces milieux. Ainsi, ces périodes semblent plus longues que celles annoncées en milieu superficiel (cf § I-1-2-2) et peuvent aller de un mois (MATHIEU et Coll., 1984 ; PINAY, 1984 ; VERVIER, 1984) à deux mois (HYNES, 1974), voire trois mois (MORRIS et BROOKER, 1979). Il est intéressant de noter que POOLE et STEWART (1976) établissent leur protocole plus en fonction des effets saisonniers et hydrologiques, notamment ceux des crues, qu'en fonction d'une durée précise.

Ces résultats ont permis de cerner les durées à envisager pour les études réalisées dans le cadre de ce travail.

3 CONCLUSION.

L'analyse du milieu aquatique souterrain karstique des Gorges de l'Ardèche a pour but, d'une part l'étude directe de l'impact des phénomènes hydrologiques (comme les crues) sur la biocénose, d'autre part l'apport de données sur la répartition des organismes au niveau des zones de contact entre les systèmes écologiques superficiel et souterrain.

Dans cette optique, la technique des substrats artificiels a semblé mieux adaptée que celle du filtrage des eaux, qui accumule les organismes d'origines diverses. Cependant, cette méthode étant peu utilisée pour ce type de milieu et en fonction des difficultés techniques qu'elle présente, il est apparu d'abord nécessaire de la "contrôler". C'est pourquoi le peuplement obtenu a été d'abord comparé à celui dérivant au moment du retrait des substrats. Puis, dans un second temps, des expériences portant sur les contraintes techniques inhérentes à la méthode ont été réalisées. Ainsi, seront abordées les conditions d'utilisation portant sur la durée et le lieu d'immersion ainsi que sur l'impact des différentes parties de l'appareil.

II MATERIEL ET METHODE D'ECHANTILLONNAGE UTILISES.

1 MATERIEL UTILISE.

1-1 FILET POUR LE FILTRAGE DES EAUX.

Le filtrage des eaux aux différentes stations étudiées (cf 1° partie) a été réalisé à l'aide d'un filet d'une ouverture rectangulaire de l'ordre de 1250 cm^2 et dont la maille a un vide de 300 µ. Il faut signaler que ce dernier paramètre est important puisque la faune récoltée peut être qualitativement et quantativement différente selon que la maille est de 200 ou 300 µ (BARTHELEMY, 1984) et que, par exemple, l'étude des Crustacés Harpacticoïdes nécessite un filet de 110 µ de vide de maille (ROUCH, 1970). Pour cette étude, des filets de vide de maille de 300 µ ont été choisis en raison du phénomène de colmatage qui se produit facilement avec les filets à maille fine et qui nuit à l'efficacité du filtrage.

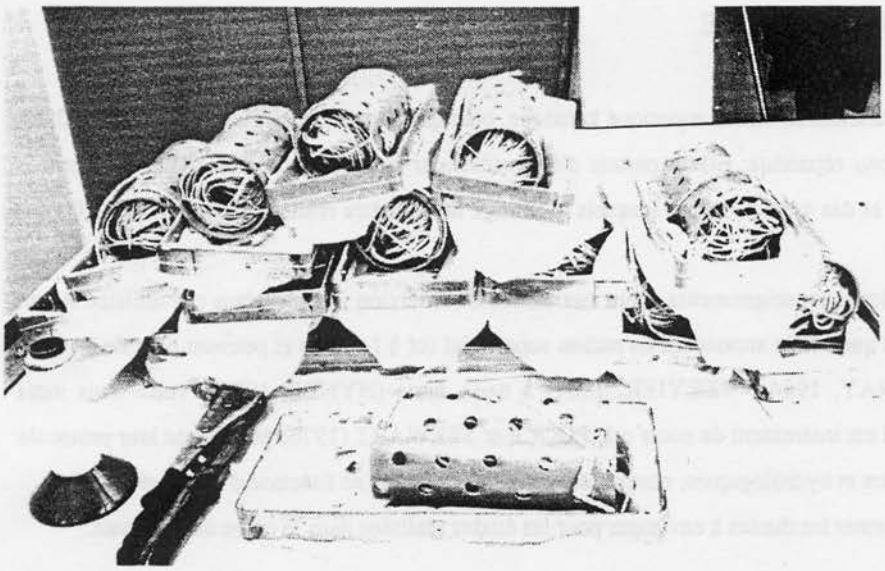


Photo 1

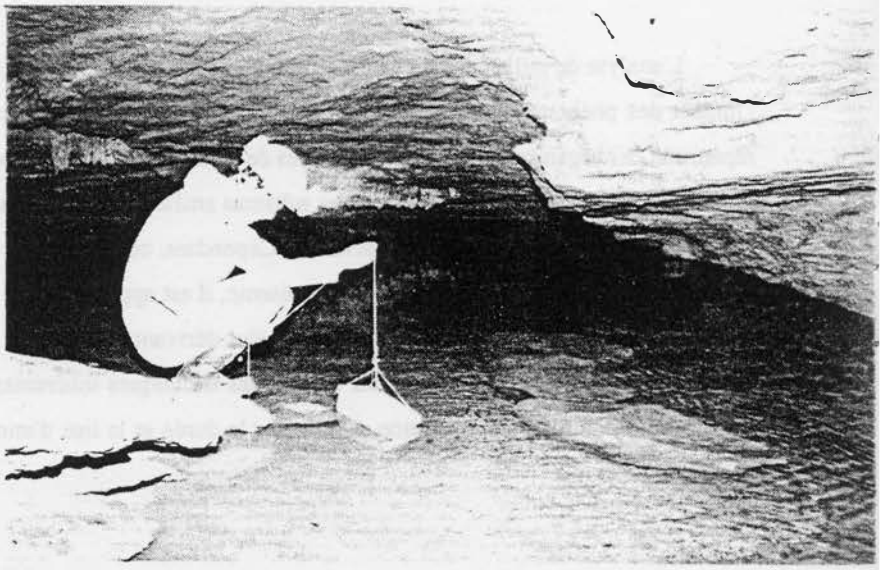


Photo 2

Photo 3

Planche 5 : Les substrats artificiels pour cette étude sont formés d'un tube en P.V.C., percé de trous, contenant 25 m de ficelle et fixé sur une plaque en acier inoxydable servant de lest (photo. 1). L'ensemble est placé dans un filet de vide de maille 160 µ qui previent la perte des organismes lors de l'émersion de l'appareil (photo. 2). Les contenus du tube (ficelle) et du filet sont récoltés séparément (photo. 3).

1-2 SUBSTRATS ARTIFICIELS.

1-2-1 Description.

1-2-1-1 Choix du type de substrat.

Plus qu'un échantillonnage représentatif des biocénoses en place, cette méthode, choisie pour observer l'impact des variations mésologiques au cours d'un cycle hydrologique sur la faune, doit être un mode de prélèvement reproductible d'une série à l'autre.

En effet, il est important d'offrir aux invertébrés un milieu présentant des micro-habitats les plus semblables possibles d'une série de prélèvements à l'autre. Cette condition aurait été assez mal respectée en garnissant les appareils d'éléments du milieu naturel souvent constitués de graviers et d'argile. De plus, en raison d'une "relation entre la faune et la granulométrie du sédiment, très délicate à établir" (GASCHIGNARD-FOSSATI, 1986) et d'une diversité faunistique changeante selon la granulométrie employée dans les substrats (WILLIAMS, 1980-b) ont écarté ce choix.

Aussi, le choix du matériau s'est porté sur un élément léger et facile à manipuler, la ficelle en fibre synthétique ; les substrats utilisés sont donc du type "S.A.S" (cf § I-2-2). Cette utilisation présente plusieurs avantages :

- la légèreté des appareils qui sont à placer en des lieux souvent difficiles d'accès dans les galeries souterraines ;
- une assez bonne reproductibilité d'un appareil à l'autre, la qualité et la dimension des interstices, due à l'égalité du volume du substrat (ficelle) et la facilité avec laquelle il est mis en place dans les tubes.

1-2-1-2 Structure des substrats artificiels employés.

Les appareils dérivent de ceux décrits par VERVIER (1984). Ils sont formés d'un tube en plastique P.V.C. (20 cm de longueur, 10 cm de diamètre) fixé sur une plaque en acier inoxydable (20 cm de longueur, 10 cm de large) percée aux quatre coins pour permettre le passage d'une ficelle d'arrimage. Le récipient est garni d'un peloton irrégulier de ficelle de 0,5 cm de diamètre et de 25 m de longueur. Le tube est percé de trous de 1 cm de diamètre pour augmenter la surface de contact avec le milieu (planche 5).

Cet ensemble est placé dans un filet rectangulaire de 15 x 35 cm d'ouverture et de vide de maille de 160µ, fixé sur un cadre en acier inoxydable, percé aux coins pour attacher les ficelles utilisées pour le retrait des substrats. Au cours de la remontée, le filet enveloppe le tube et la ficelle, évitant ainsi la perte des organismes présents dans le substrat artificiel (ROSENBERG et RESH, 1982 ; PINAY, 1984 ; VERVIER, 1984 ; SLACK et Coll., 1986) (planche 5).

1-2-2 Conclusion.

Bien que la disposition des substrats artificiels (flottant ou reposant sur le fond) soit importante (cf § I-2-1), le choix de leur emplacement a été guidé dans cette étude par les contraintes physiques du milieu étudié. En effet, les milieux lotiques prospectés ne présentent souvent qu'une fine lame d'eau (cf 1° partie) et empêchent ainsi de suspendre les appareils en pleine eau. C'est pourquoi les substrats artificiels ont été placés sur le fond. Cette disposition autorise la

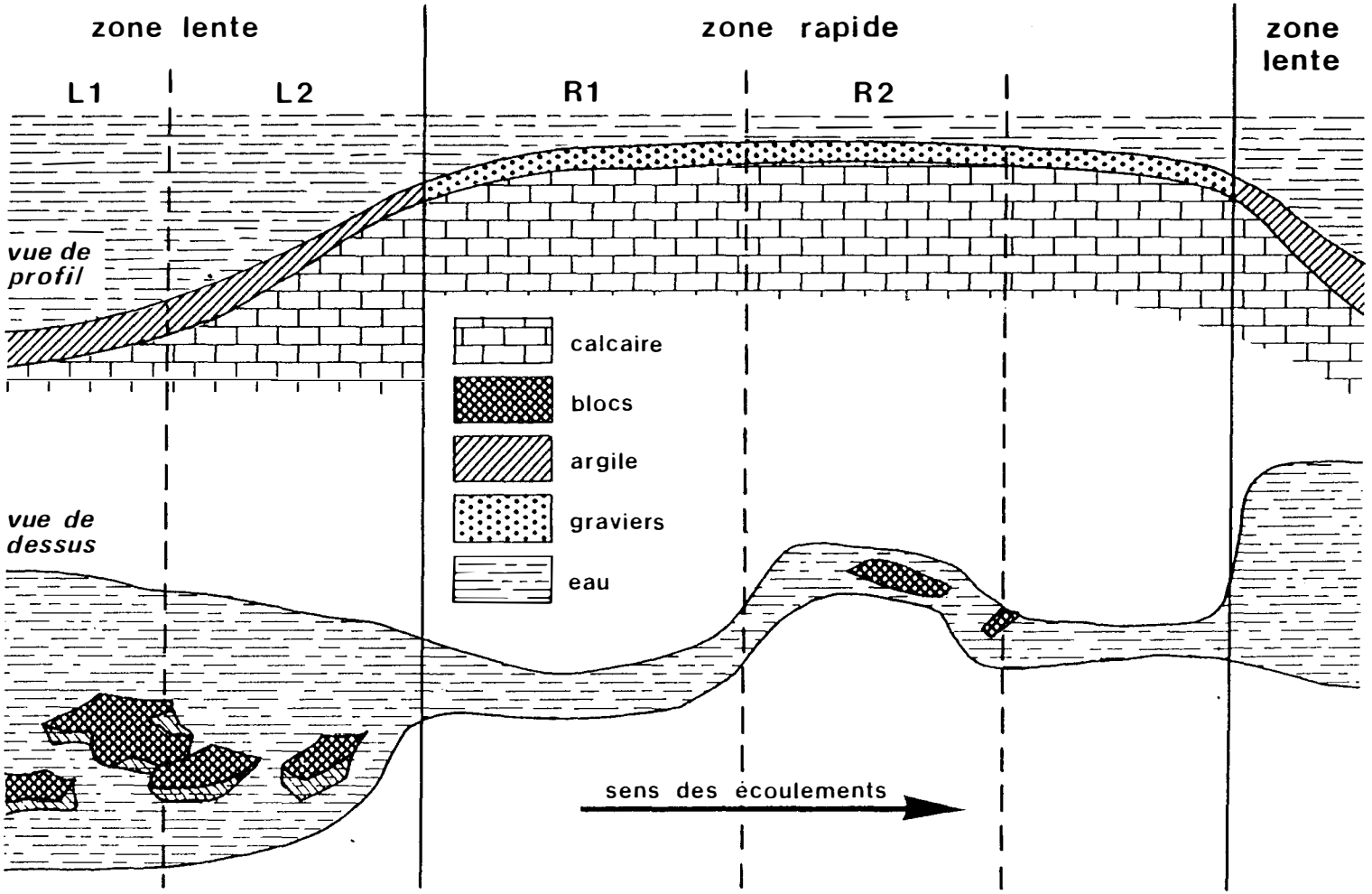


Figure 35 : Représentation des zones lente et rapide du ruisseau souterrain de l'évent de Foussoubie.

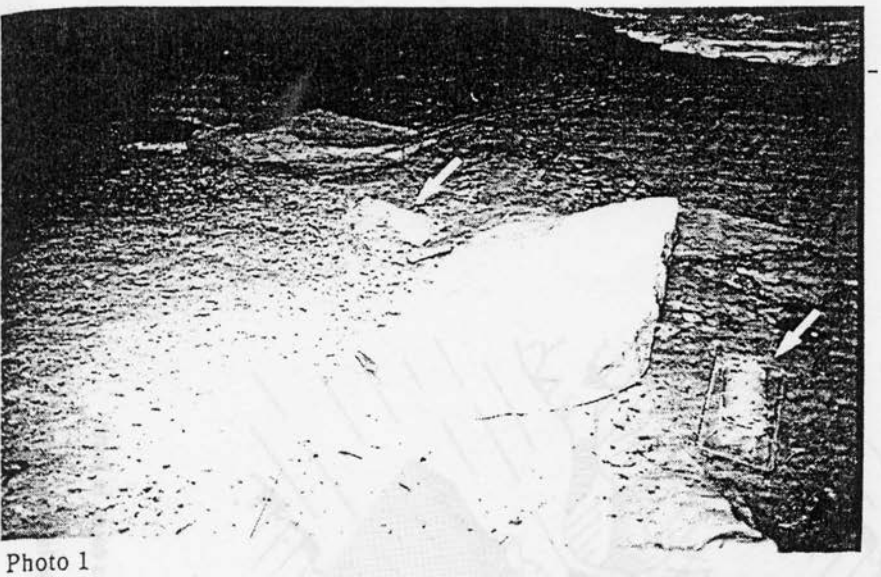


Photo 1

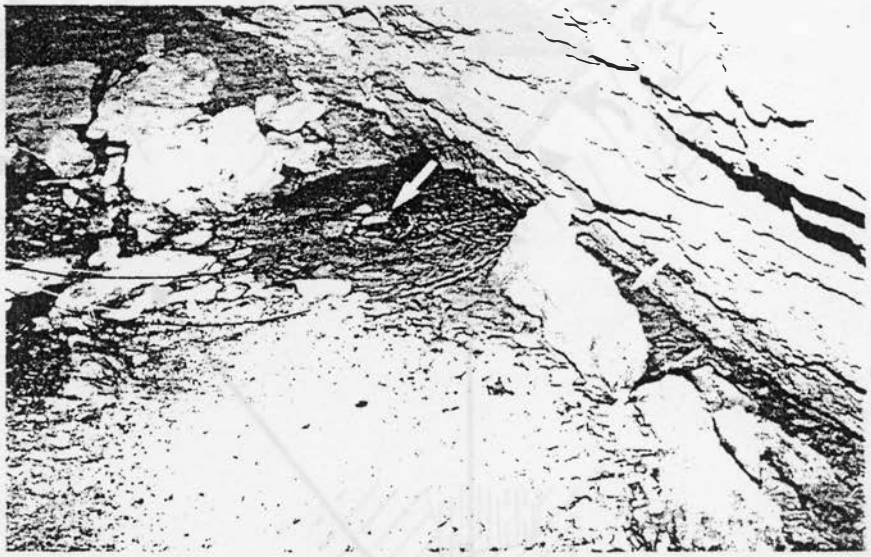


Photo 2

Photo 3

Planche 6 : La méthode des substrats artificiels est testée dans le ruisseau de l'évent de Foussoubie. Deux substrats sont placés en zone lente (**photo. 1**) et deux, en zone rapide (**photo. 2**), pour chaque durée d'immersion. A chaque pose et retrait des appareils un filtrage des eaux d'une durée de trois heures est réalisé à l'aval de la zone rapide (**photo. 3**).

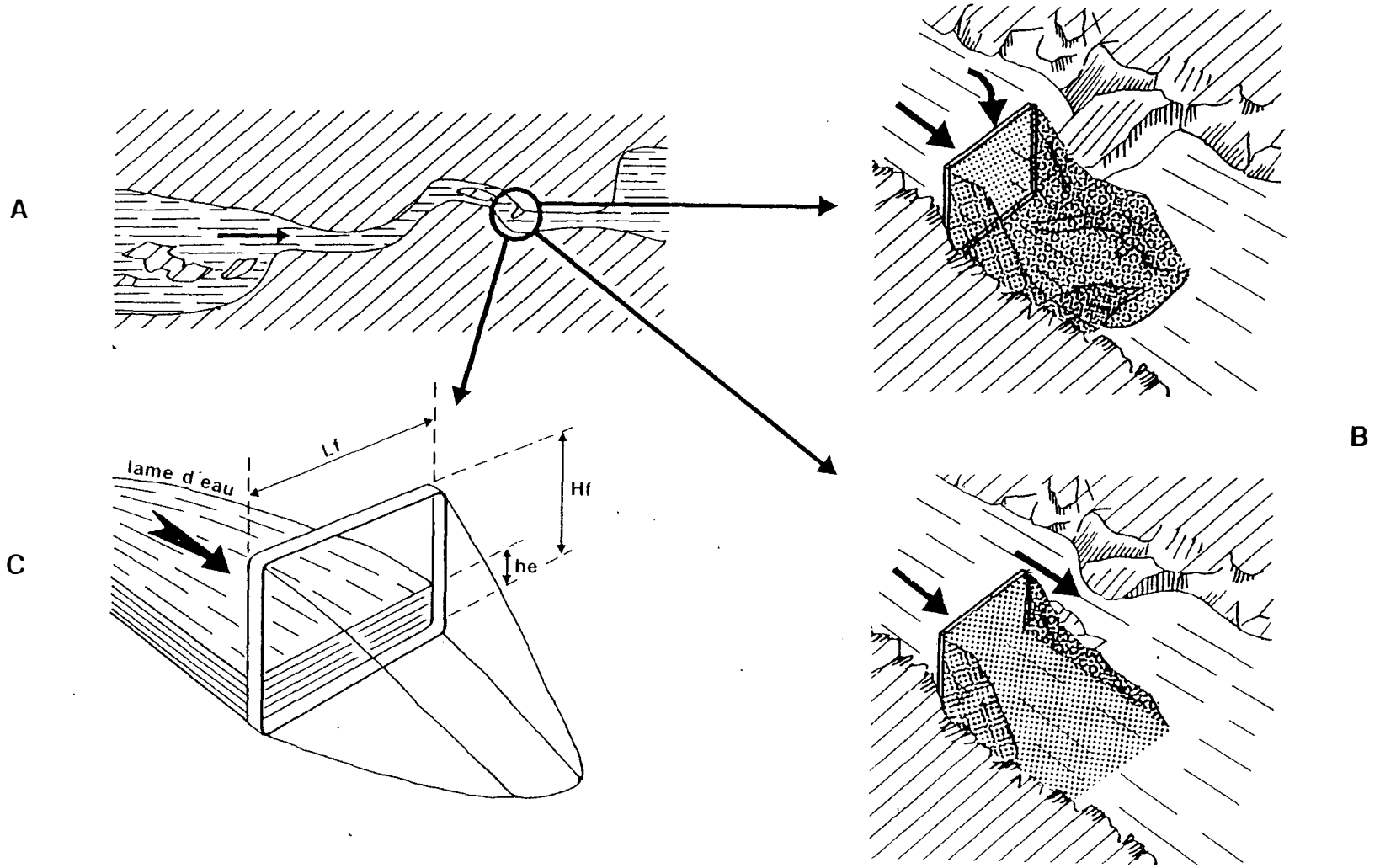


Figure 36 : Filtrage des eaux du ruisseau de l'évent de Foussoubie.

-A- Positionnement du filet à l'avant de la zone rapide.

-B- En basses eaux, la lame d'eau du ruisseau passe entièrement dans le filet. En hautes eaux, la lame d'eau du ruisseau n'est pas toute filtrée.

-C- Le volume d'eau filtré est estimé oar rapport à l'épaisseur (he) et à la largeur (LF) de la lame d'eau et en fonction de la vitesse instantanée du courant.

colonisation par la dérive et par le benthos; mais celle de la faune provenant du milieu interstitiel, mise en évidence par WILLIAMS (1977), est gênée par la présence du filet.

2 PROTOCOLES EXPERIMENTAUX.

2-1 OPTIMISATION DE LA METHODE DES SUBSTRATS ARTIFICIELS.

2-1-1 Choix de la station.

Le ruisseau souterrain de la Foussoubie a servi de support à l'optimisation de la méthode des substrats artificiels. Son écoulement est permanent et offre des conditions hydrauliques variées par la présence d'une zone lente et d'une zone rapide (fig. 35) (planche 6).

2-1-2 Méthode de référence : le filtrage des eaux.

Le filtrage des eaux, qui constitue un mode d'échantillonnage éprouvé en milieu aquatique karstique, a été réalisé à l'aval de la zone rapide lors de chaque pose et de chaque retrait de substrat. Les filets ont été mis en place pendant une durée moyenne de 3 h (fig. 36).

2-1-2 Méthode des substrats.

2-1-2-1 Durée et lieu d'immersion des substrats, répétition des expériences.

Un des premiers problèmes posés par l'utilisation des substrats artificiels est de trouver une durée d'immersion qui soit réellement informative. C'est pourquoi 5 **durées** d'exposition, soit **1 jour** (1 j), **8 jours** (8 j), **15 jours** (15 j), **1 mois** (1 m), **2 mois** (2 m), ont été testées.

Un deuxième problème provient du lieu d'immersion en fonction notamment de la vitesse du courant. Ainsi pour chacune des 5 durées, 2 substrats sont placés en **zone lente** (L1 et L2) et 2 autres en **zone rapide** (R1 et R2) (fig. 35) (planche 5).

Ainsi une telle **série** d'expérimentation comprend 5 (durées) x 4 (lieux d'immersion), soit 2O appareils.

Le calendrier d'immersion des appareils de chaque durée a été établi en fonction de la place disponible en zone rapide. En effet, tous les substrats des 5 durées, soit 5 x 2, ne peuvent y être placés simultanément sans être très proches les uns des autres. Cette proximité pourrait influencer la colonisation des appareils placés en aval et notamment ceux immergés pendant une courte période (1 j et 8 j).

Aussi, les 4 substrats de 1 j, puis ceux de 8 j ont été immergés seuls. Les substrats de 15 j, 1 m et 2 m ont été placés dans le milieu simultanément et à la date de retrait de ceux de 8 j (fig. 37).

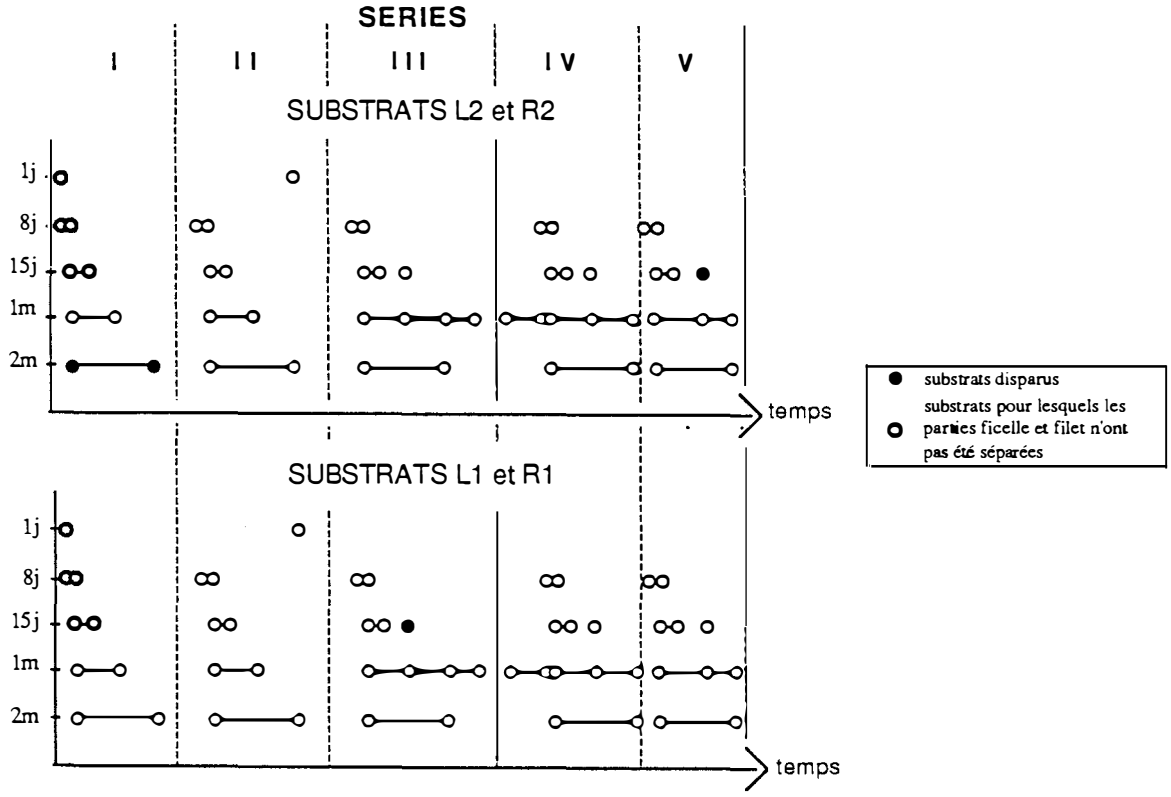


Figure 37 : Calendrier d'immersion des substrats artificiels dans les zones lente et rapide du ruisseau de l'évent de Foussoubie.

Pour chaque série, les durées d'immersion de 8 j, 15 j, 1 m et 2 m ont été employées. Les durées de 1 j ne concernent que les deux premières séries. Certains substrats artificiels ont été entraînés lors des crues et n'ont pu être utilisés. Les contenus des parties ficelle et filet des substrats de 1 j, 8 j et 15 j de la première série n'ont pas été séparés lors de leur retrait.

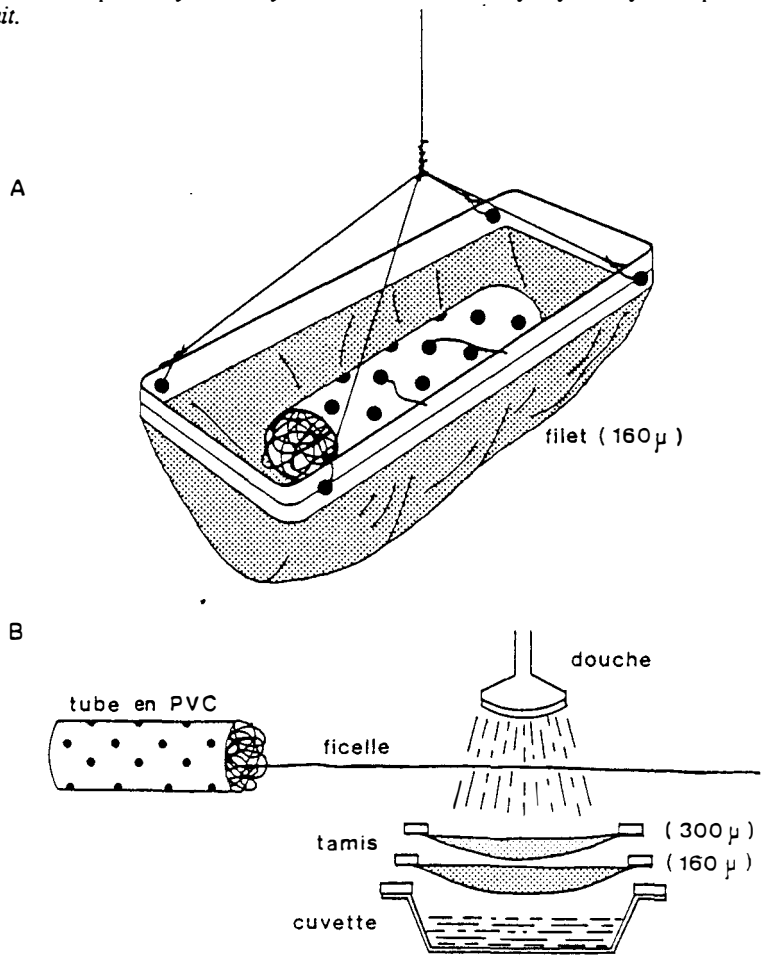


Figure 38 : -A- Le substrat artificiel est composé d'un cylindre perforé en PVC contenant de la ficelle. Il prend place dans un filet qui l'enveloppe lors de son émersion et empêche la fuite des organismes.

-B- Le nettoyage de la ficelle est réalisé sous le jet d'eau d'une pomme de douche ; les organismes sont séparés selon leur taille grâce à deux filets de 300 µ et 160 µ de vide de maille.

Ce protocole utilisé pour une première série devait être répété 5 fois, mais quelques modifications ont été apportées :

- ainsi, pour la deuxième série, les substrats de 1 j ont été immergés à la suite de ceux de 2m et non au début de la série (fig. 35) ;

- pour les trois dernières séries, les substrats de 1 j ont été abandonnés et une modification a été apportée au plan d'échantillonnage, suite aux résultats obtenus pour les premières séries. En effet, au cours de celles-ci, les substrats immergés pendant 1 m et 2 m ont été soumis a des crues importantes. L'abondance des organismes pouvait être alors inhérente soit à la durée d'immersion soit à l'impact des phénomènes hydrodynamiques. C'est pour cette raison que lors du retrait des substrats de 15 j de nouveaux appareils sont mis à leur place (fig. 37) ; ainsi, deux groupes de substrats de 15 j se succèdent pendant l'immersion de ceux de 1 m. Quand ces derniers sont retirés du milieu, un nouveau groupe de substrats mensuels est immergé jusqu'au retrait de ceux de 2 m. Ainsi, si par exemple une crue survient avant le retrait des substrats de 2 m, il sera possible de les comparer avec les substrats mensuels soumis à la même crue (deuxième groupe des 1m) et avec ceux de 1m n'ayant pas subi cet évènement hydrologique (premier groupe des 1m).

En conclusion, les deux premières séries comprennent "2 (5 x 4) = 40" substrats, les trois dernières en comptent "3 (4 x 4) + 3 (2 x 4) = 72". Ce sont donc au total, 112 substrats qui ont été placés dans le milieu.

2-1-3 Fractionnement des substrats.

Chacun des substrats est formé de deux parties au rôle bien différent (fig. 38) :

- la première correspond à la ficelle qui est considérée comme le support privilégié de la colonisation. Elle sera nommée par la suite "partie ficelle", "ficelle" ou "F" ;

- la seconde représente la fraction récoltée par le filet. Elle sera citée sous le nom de "partie filet", "filet" ou "N".

Les résultats obtenus par les substrats artificiels devant être comparés avec ceux acquis par filtrage des eaux, les contenus sont séparés en deux fractions (fig.38) :

- une contenant des organismes et des débris supérieurs à 300 µ ;

- l'autre regroupant les éléments faunistiques et particulaires compris entre 160 µ et 300 µ.

En conclusion, à chaque substrat correspond donc quatre fractions : "F300", "N300", "F160" et "N160" (tab. 7).

Tableau 7 : Fractionnement du contenu des substrats artificiels.

SUBSTRAT ARTIFICIEL	partie ficelle (F)	fraction > 300µ	(300F)
		fraction]160,300µ]	(160F)
	partie filet (N)	fraction > 300µ	(300N)
		fraction]160,300µ]	(160N)

Figure 39 : Positionnement des substrats artificiels dans le griffon de la source de l'Aiguille.
L'un des substrats est placé plus à l'intérieur du milieu souterrain que l'autre. Au cours de l'étiage, la veine d'eau, réduite, passe presque totalement à travers les substrats en raison de leur encombrement.

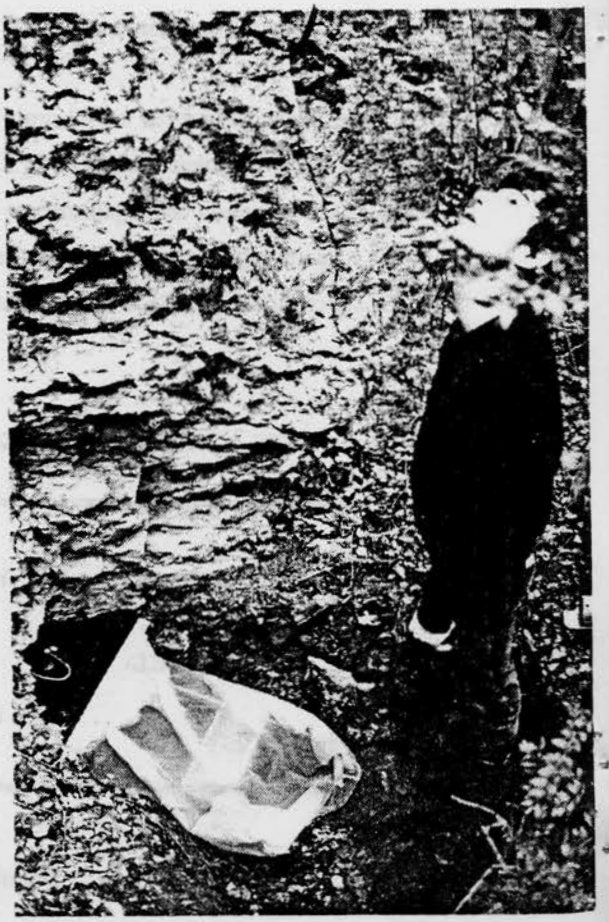


Planche 7 : Le filtrage des eaux de l'Aiguille, d'une durée de six heures, est effectué lors de chaque pose et retrait des substrats artificiels.

2-2 ETUDES DES STATIONS DE L'AIGUILLE ET DE FOUSSOUBIE PAR LES METHODES DE FILTRAGE DES EAUX ET DES SUBSTRATS ARTIFICIELS.

2-2-1 L'Aiguille.

Dans le griffon de la source de l'Aiguille (cf 1° partie), deux substrats ont été immergés simultanément. Il est important de souligner qu'en raison du peu de place disponible, un des appareils est plus enfoncé dans le conduit que l'autre et est donc moins soumis à l'influence du milieu épigé (fig. 39).

Ces substrats ont été exposés selon une durée moyenne de un mois et 14 séries avaient été prévues. Ces expériences ont été un peu modifiées par le vol des appareils des deux dernières séries et par celui du filet d'un des substrats de mars-avril 1985 (tab. 8).

Lors de chaque pose et retrait de substrat, un filtrage des eaux a été effectué pendant une durée moyenne de 6 h (tab. 8). Ces prélèvements ont été réalisés avec les filets décrits ci-dessus (planche 7).

Tableau 8 : Substrats artificiels et filtrage des eaux à l'Aiguille.

Date d'immersion du substrat	Filtrage	Date de retrait du substrat	Filtrage	Partie manquante
23/11/84	oui	21/12/84	oui	-
27/12/84	oui	5/02/85	oui	-
5/02/85	oui	6/3/84	oui	-
6/3/85	oui	22/3/85	oui	-
22/3/85	oui	26/4/85	oui	Filet du sub. aval
26/4/85	oui	27/5/85	oui	-
19/6/85	oui	22/7/85	oui	-
31/7/85	oui	4/9/85	oui	-
4/9/85	oui	2/10/85	oui	-
26/10/85	oui	27/11/85	oui	-
27/11/85	oui	30/12/85	oui	-
8/01/86	oui	12/2/86	oui	-
5/3/86	oui	14/4/86	oui	2 substrats
14/4/86	oui	9/5/86	oui	2 substrats

2-2-2 Le système de Foussoubie.

Dans ce système, les prélèvements ont été effectués dans des sites différents, qui seront présentés selon leur position par rapport au sens des écoulements des eaux dans le système souterrain karstique de Foussoubie (cf 1° partie), c'est-à-dire de la goule (perte de la Planche) à la source en passant par l'évent.

2-2-2-1 La goule.

Les quelques tentatives de prélèvements à l'aide des substrats artificiels entreprises à la goule de Foussoubie se sont soldées par des échecs dus, d'une part à la force des eaux de la Planche qui se perdent à ce niveau , d'autre part à l'assec qui a duré de juillet 1985 à janvier 1986.

Des prélèvements par filtrage des eaux de la rivière ont été réalisés postérieurement à la crue du 28/01/1986, les 8/01/86, 20/03/86, 14/04/86 et 9/05/86.

2-2-2-2 L'évent.

C'est donc surtout dans la rivière souterraine de l'évent de Foussoubie qu'ont été menées les expériences de contrôle des substrats artificiels.

En plus des filtrages réalisés dans ce cadre, certains ont été entrepris pendant la fin de l'étiage dans le but d'échantillonner la première crue marquant le début d'un nouveau cycle hydrologique. Cette première montée des eaux étant imprévisible, elle a nécessité de nombreuses visites, très rapprochées en décembre, dès la reprise des précipitations qui n'ont été efficaces qu'en janvier 1986 (cf 1° partie).

La plupart des prélèvements par substrats artificiels étant consacrés au contrôle de la méthode (N°1 = "substrats techniques", tab. 9), des relevés supplémentaires ont été faits, à l'aide :

- de substrats artificiels immergés pendant l'étiage entre les 3° et 4° séries (N°2 = "substrats d'étiage", tab. 9) ;
- de substrats artificiels enfoncés dans les premiers centimètres de sédiments dans la zone rapide de la rivière souterraine (N°3 = "substrats interstitiels", tab. 9).

En conclusion, les prélèvements effectués dans et hors du cadre du contrôle des substrats artificiels à l'évent de Foussoubie, se sont déroulés d'octobre 1984 à mai 1986 (tab. 9).

2-2-2-3 La source.

Les prélèvements à la source de Foussoubie devaient être effectués dans les mêmes conditions et aux mêmes dates que ceux réalisés à la source de l'Aiguille, dans le but de comparer les systèmes, ces stations étant toutes deux situées à l'interface entre les milieux souterrain et épigé. Cependant, les relevés tentés n'ont pu être exploités en raison de la disparition d'environ 60% des appareils. De plus, les filtrages ont dû être interrompus de juillet 1985 à janvier 1986 en raison du tarissement de la source.

Tableau 9 : Calendrier des prélèvements effectués dans la rivière souterraine de l'évent de Foussoubie.

Filtrage	N°1 Substrats techniques		N°2 Substrats d'étiage		N°3 Substrats interstitiels	
	pose	retrait	pose	retrait	pose	retrait
10/10/84	1j,8j	-	-	-	-	-
1/11/84	-	15j	-	-	-	-
23/11/84	-	1m	-	-	-	-
5/2/85	8j	-	-	-	-	-
12/2/85	15j,1m,2m	8j	-	-	-	-
27/2/85	-	15j	-	-	-	-
22/3/85	-	1m	-	-	-	-
26/4/85	-	2m,1j	-	-	-	-
27/5/85	-	-	-	-	-	-
19/6/85	8j	-	-	-	-	-
26/6/85	15j,1m,2m	8j	-	-	-	-
10/7/85	15j	15j	-	-	-	-
31/7/85	1m	1m,15j	-	-	1m	-
4/9/85	-	2m,1m	1m	-	1m	1m
2/10/85	-	-	-	1m	-	1m
26/10/85	-	-	1m	-	1m	-
27/11/85	-	-	-	1m	-	1m
5/12/85	15j,1m,2m	8j	-	-	1m	-
9/12/85	-	-	-	-	-	-
18/12/85	15J	15j	-	-	-	-
8/1/86	1m	1m,15j	-	-	1m	1m
12/2/86	-	2M,1M	-	-	-	1m
26/2/86	8j	-	-	-	-	-
5/3/86	15j,1m,2m	8j	-	-	1m	-
20/3/86	15j	15j	-	-	-	-
14/4/86	1m	1m,15j	-	-	1m	1m
9/5/86	-	2m,1m	-	-	-	1m

III EFFICACITE DES SUBSTRATS ARTIFICIELS.

L'efficacité de la méthode des substrats artificiels en milieu aquatique souterrain karstique est, comme cela a été montré précédemment (cf § I-1), liée à nombreuses conditions qui influent sur la colonisation des substrats. Celle-ci peut être influencée par des facteurs internes à la méthode comme la durée d'immersion des substrats, la structure même des appareils employés, etc, et par des facteurs externes comme les conditions mésologiques (conditions hydrauliques, fonctionnement hydrologique du système, etc).

C'est pourquoi ce travail a été entrepris pour tenter de répondre à plusieurs questions :

- les résultats obtenus sont-ils différents selon la durée d'immersion ?

- le lieu d'immersion et les micro-conditions hydrauliques qui en découlent au niveau des appareils jouent-ils un rôle dans la colonisation ?

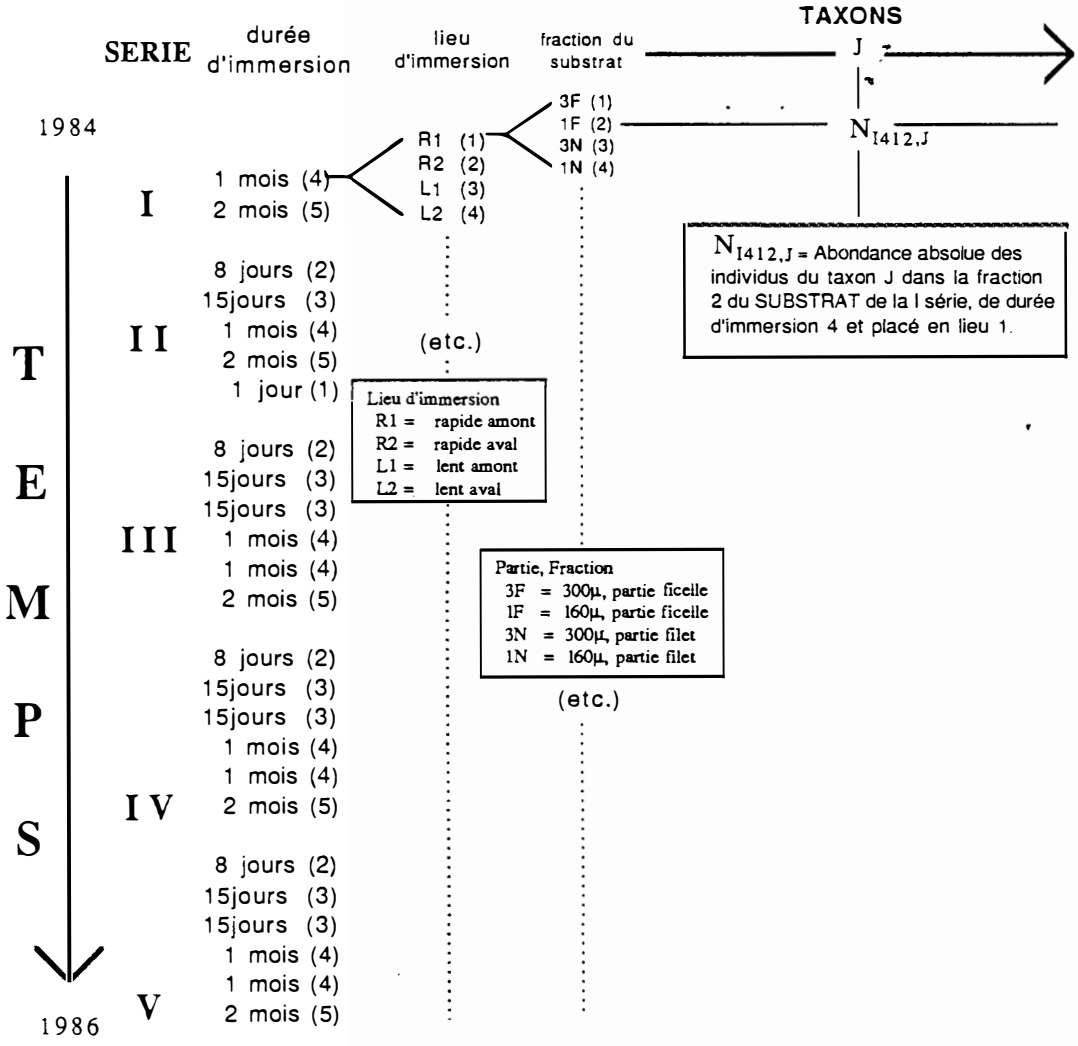
- les différentes parties constituant le substrat remplissent-elles vraiment la fonction pour laquelle elles ont été créées ; la ficelle est-elle un lieu privilégié de la colonisation et le filet, un "récupérateur" des organismes lors du retrait des appareils ?

- le fonctionnement hydrologique du système perturbe-t-il les processus de colonisation ?

- quelle peut être la part de la dérive animale dans le phénomène de colonisation des substrats ?

Tableau 10 : Stratégie de prélèvement et codage des échantillons.

Les organismes proviennent de 5 séries de relevés (premier chiffre du code : I à V). Pour chacune d'entre elles doivent être considérés : la durée d'immersion (deuxième chiffre du code : 1 à 5) ; le lieu d'immersion (troisième chiffre du code : 1 à 4) et la fraction du substrat (quatrième chiffre du code : 1 à 4).



En fonction de ces nombreuses questions et de la complexité des données, trois points seront successivement traités :

- 1 l'organisation des données ;
- 2 la comparaison du peuplement des substrats artificiels avec celui en dérive ;
- 3 les conditions d'utilisation de la méthode des substrats artificiels.

1 ORGANISATION DES DONNEES ET CHOIX DE LA METHODE DE TRAITEMENT.

Pour traiter les problèmes inhérents à cette méthode, liés entre autres à la durée et au lieu d'immersion, à la structure du substrat, au choix de la fraction à conserver, il est nécessaire de considérer seulement les appareils pour lesquels sont séparées les parties F et N et les fractions 300 µ et 160 µ. C'est pourquoi, sur les 112 substrats immergés, tous n'ont pu être utilisés :

- pour les 12 substrats de 1 j, 8 j et 15 j de la série I, la ficelle et le filet n'ont pas été séparés ;
- six appareils ont été perdus ou détériorés (fig. 37) ; notons que parmi ceux-ci, la ficelle du L2 de 2 mois, immergé du 18/10/84 au 27/12/84, a été retrouvée accrochée au plafond de la grotte (!), le SR2 a été poussé en aval, la corde d'arrimage s'étant rompue, et le filet déchiqueté.

Ce sont donc les contenus faunistiques de "112 - 18 = 94" substrats qui ont pu être utilisés pour les problèmes de méthodologie, ce qui représente "94 x 4 = 376" fractions qui se répartissent en 94 "F300", 94 "F160", 94 "N300" et 94 "N160".

Les données qui peuvent être traitées, ont été organisées dans un tableau de 376 lignes et 24 colonnes (tab. 10).

Les lignes sont ordonnées en fonction :

- des séries d'octobre 1984 à mai 1986 (de la I à la V) ;
- de l'ordre chronologique correspondant à la date de retrait des 4 appareils de chaque durée ;
- du lieu d'immersion des 4 substrats du rapide amont (R1) au lent aval (L2) ;
- de la fraction 3F, 1F, 3N puis 1N.

Les colonnes représentent les taxons dans les différentes fractions.

Pour chaque groupe faunistique les effectifs sont exprimés en abondance absolue. En effet, il ne paraît possible d'utiliser une densité qu'en se référant au volume du substrat et dans ce cas là, aucune différence avec la densité absolue ne peut apparaître, les volumes étant tous équivalents.

La lecture du tableau ainsi ordonné (cf annexe 6) entraîne une remarque immédiate concernant les distorsions importantes des abondances entre les différentes fractions. C'est dans le but d'estomper ce phénomène qu'a été utilisée l'Analyse en Composante Principale Centrée (ACPC) après avoir transformé les données selon la fonction "y = log (x + 1)".

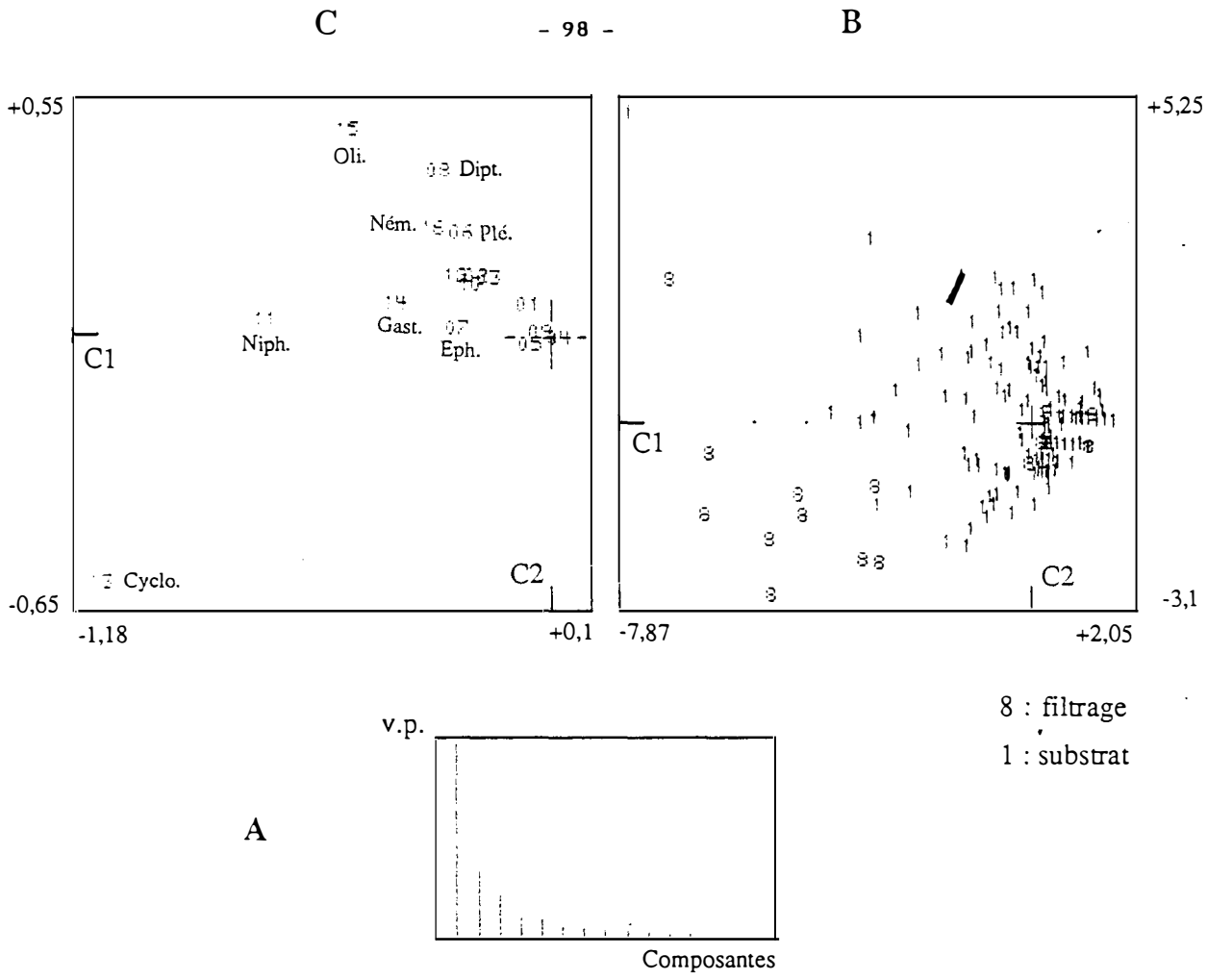


Figure 40 : Représentation graphique des résultats de l'analyse en composantes principales centrée (ACPC) réalisée sur les données obtenues par filtrage des eaux et par substrats artificiels (fraction 300 µ) à l'évent de Foussoubie.

-A- Valeurs propres des composantes.

Les trois premières composantes contiennent plus de 75% de l'information.

composantes	valeurs propres	inertie	inertie cumulée
1	2,7	49,1%	49,1%
2	0,9	16,6%	65,7%
3	0,6	10,7%	76,3%

-B- Projection sur le plan formé par les deux premières composantes des prélèvements effectués par filtrage (8) et par substrats artificiels (1) en fonction de leurs coordonnées factorielles.

-C- Projection sur le plan formé par les deux premières composantes des variables (organismes) en fonction de leurs coordonnées factorielles.

Seule la première composante, qui contient près de 50% de l'information, sera retenue. Elle oppose la plupart des relevés effectués par filtrage des eaux à ceux obtenus par substrats artificiels. Cette opposition est fortement influencée par les Cyclopoïdes et dans une moindre mesure par les Amphipodes hypogés du genre Niphargus.

2 COMPARAISON DU PEUPLEMENT DES SUBSTRATS ARTIFICIELS AVEC CELUI EN DERIVE.

Les résultats obtenus avec les substrats artificiels ont été confrontés avec ceux fournis par le filtrage des eaux, d'une part pour comparer cette méthode avec celle la plus utilisée en milieu souterrain karstique, d'autre part pour estimer la part de la dérive des organismes dans le phénomène de colonisation.

2-1 PRESENTATION DES DONNEES UTILISEES.

Les filtrages ont été effectués lors de chaque retrait des substrats artificiels, lorsque les conditions hydrologiques le permettaient. Ainsi, sur les 17 filtrages qui ont été réalisés (tab. 11) dans les conditions citées ci-dessus (cf § I), 16 ont été retenus, celui du 18/12/1985 n'ayant récolté aucun organisme. Les résultats obtenus sont exprimés en abondance absolue par unité de temps (qui est ici de 3 heures), le but étant de les comparer avec ceux fournis par les substrats.

Tableau 11 : Date de filtrage des eaux correspondant au retrait de substrats.

Date du filtrage	Retrait des substrats de :
23/11/84	1m
12/2/85	8j
27/2/85	15j
22/3/85	1m
26/4/85	2m,1j
26/6/85	8j
10/7/85	15j
31/7/85	1m,15j
4/9/85	2m,1m
5/12/85	8j
18/12/85	15j
8/1/86	1m,15j
12/2/86	2m,1m
5/3/86	8j
20/3/86	15j
14/4/86	1m,15j
9/5/86	2m,1m

La taille des mailles des filets à dérive étant de 300 µ, il est apparu nécessaire de comparer la "dérive instantanée" avec la fraction 300 µ des appareils. Pour ceci, une ACPC a été utilisée sur un tableau constitué de 204 individus, formés des 188 échantillons correspondant aux fractions 3F et 3N des substrats et des 16 filtrages, et de 16 variables que forment les groupes faunistiques présents dans ces prélèvements.

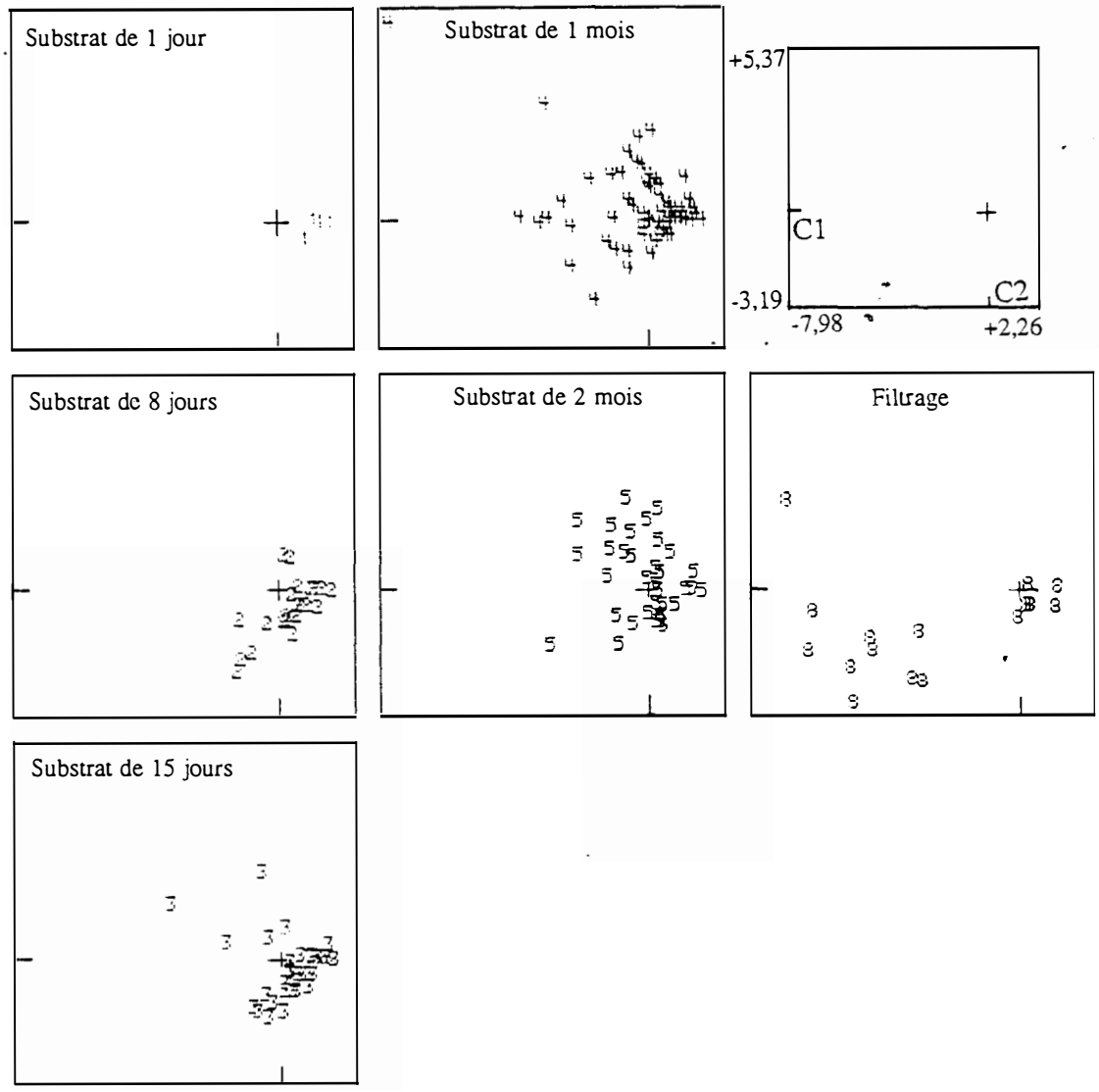


Figure 41 : Projection des relevés, séparés selon les différentes modalités d'échantillonnage, sur le plan formé par les deux premières composantes.

Les échantillons provenant du filtrage des eaux sont séparés en deux groupes par la première composante.

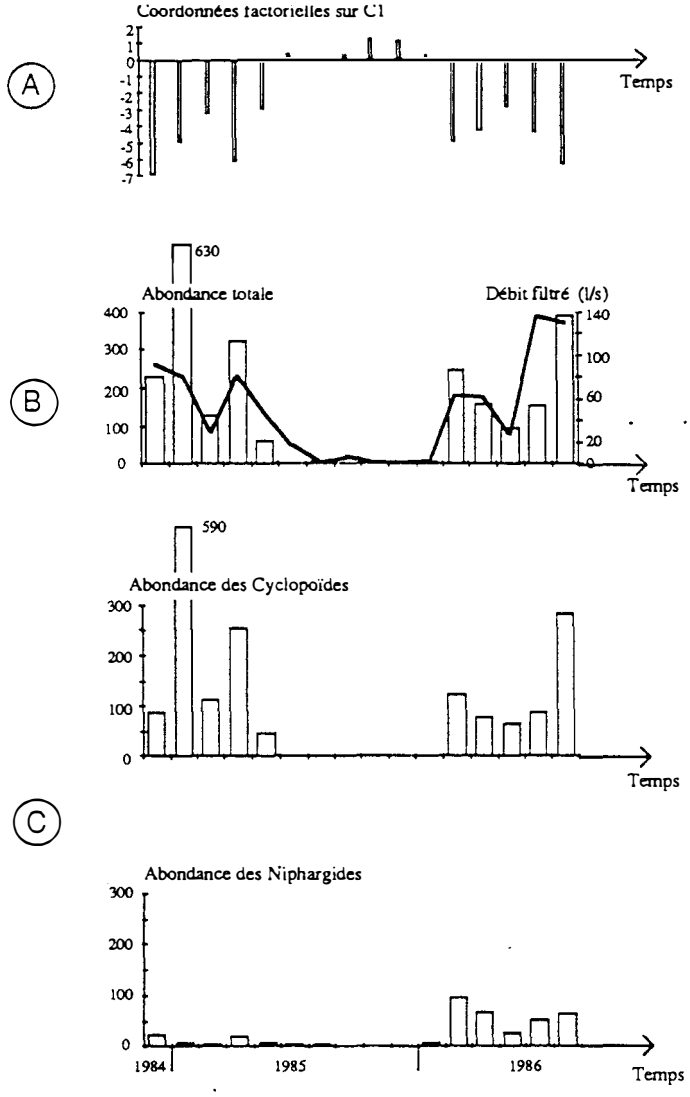


Figure 42 : Facteurs responsables de la structure du peuplement en dérive dans le ruisseau de l'évent de Foussoubie.

-A- Evolution temporelle des coordonnées factorielles des filtrats sur la première composante.
-B- Abondance faunistique des échantillons effectués par filtrage, comparaison avec le débit.
-C- Abondance des Cyclopoïdes et des Amphipodes du genre *Niphargus* dans les filtrats.

La première composante sépare les prélèvements effectués en basses-eaux de ceux réalisés en hautes-eaux. Ceux-ci sont riches en organismes, notamment en Cyclopoïdes et en Amphipodes hypogés.

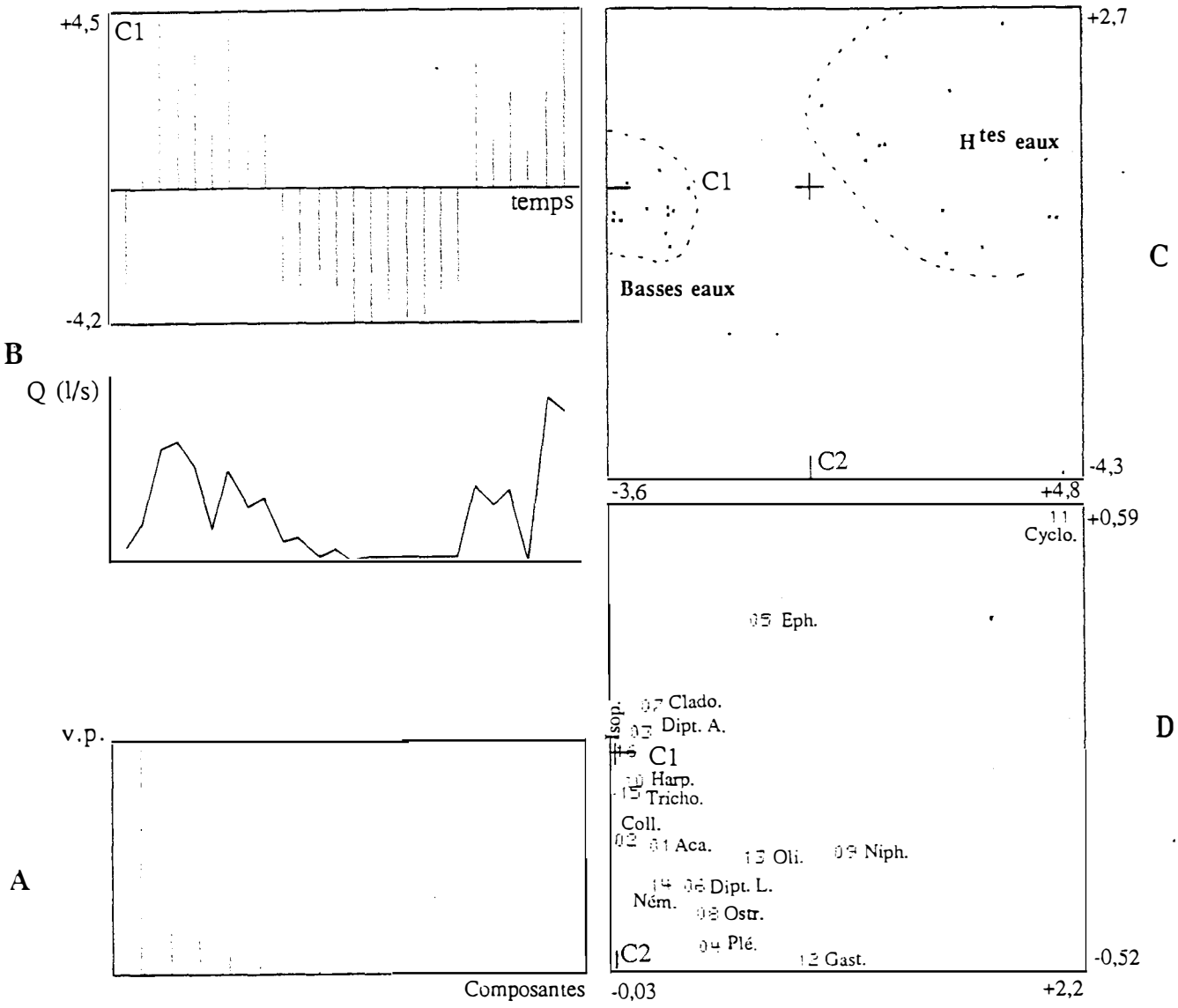


Figure 43 : Représentation graphique des résultats de l'analyse en composantes principales centrée (ACPC) réalisée sur les 26 prélèvements effectués par filtrage des eaux de l'évent de Foussoubie.

-A- Valeurs propres des composantes.

Les trois premières composantes contiennent plus de 80% de l'information.

composantes	valeurs propres	inertie	inertie cumulée
1	7,6	63,4%	63,4%
2	1,4	11,9%	75,3%
3	1,1	9,6%	84,9%

-B- Histogramme des coordonnées factorielles des prélèvements sur la première composante en fonction du temps. Les relevés sont situés par rapport aux périodes du cycle hydrologique.

-C- Projection sur le plan formé par les deux premières composantes des 26 prélèvements effectués par filtrage en fonction de leurs coordonnées factorielles.

-D- Projection sur le plan formé par les deux premières composantes des variables (organismes) en fonction de leurs coordonnées factorielles.

La première composante, qui contient 63,4 % de l'information, sépare les prélèvements en deux groupes. L'un rassemble les échantillons des basses-eaux, qui ont des coordonnées négatives, l'autre comprend les relevés, aux coordonnées positives, effectués en hautes-eaux. Ceux-ci sont riches en Cyclopoïdes et en Niphargidae.

2-2 COMPARAISON DES RESULTATS OBTENUS PAR FILTRAGE ET PAR LES SUBSTRATS.

Seule la première composante de l'ACPC, qui regroupe près de 50% de l'information (49,1% d'inertie) (fig. 40), sera considérée pour comparer l'image des prélèvements effectués soit avec les méthodes de filtrage des eaux soit par les substrats artificiels. Pour bien comprendre les différences ou les ressemblances entre les prélèvements, leur projection a été réalisée dans le plan formé par les deux premiers axes (fig. 40). Ainsi, chaque point donnant une image synthétique d'un prélèvement, la proximité de certains d'entre eux indique un même degré de participation au phénomène révélé par la première composante. Celle-ci fait apparaître une opposition entre la plupart des relevés obtenus par filtrage des eaux et ceux réalisés à l'aide des substrats artificiels (fig. 40). Cependant, avant d'approfondir ces différences, il convient de considérer les prélèvements effectués par filtrage (dérive).

2-2-1 Structure du peuplement dérivant.

En séparant les points des échantillons projetés sur le plan formé par les deux premières composantes sêlon les différentes modalités techniques (fig. 41), il apparaît que les prélèvements obtenus par le filtrage des eaux (modalité 8) se répartissent en deux groupes le long du premier axe. Pour bien saisir les facteurs responsables de cette structure du peuplement en dérive, les coordonnées synthétiques (coordonnées factorielles), sur la première composante des échantillons, ont été représentées sous forme d'histogramme en fonction du temps (fig. 42).

Ainsi, le premier groupe mis en évidence rassemble les points à coordonnées factorielles négatives correspondant aux prélèvements réalisés en période de hautes-eaux, alors que le second se situe sur la partie positive du premier axe et individualise ainsi les échantillons obtenus pendant l'étiage (fig. 41 et fig. 42). On peut aussi vérifier que l'abondance faunistique est responsable du phénomène observé (fig. 42). Les résultats étant exprimés en taux d'individus, il paraît normal que ce soient les relevés effectués en hautes-eaux qui contiennent la faune la plus abondante (fig. 42). La structure de peuplement dérivant mise en évidence est fortement influencée par la présence des Crustacés Cyclopoïdes (fig. 40) qui sont très abondants en période de hautes-eaux (fig. 42), transportés alors passivement par le courant. Il faut noter aussi l'influence, bien que moins importante, des Crustacés Niphargides (fig. 40 et fig. 42) qui sont plus facilement entraînés lors des hautes-eaux (GIBERT, 1986).

Ces observations sont confirmées par l'analyse d'un plus grand nombre de prélèvements (26), effectués par filtrage des eaux. La plupart de ces relevés supplémentaires a été réalisée lors de la pose des substrats artificiels (tab. 9). Une ACPC réalisée sur ces données montre que 63,4% de l'information est située sur le premier axe, qui sépare les prélèvements en deux groupes (fig.43). L'ensemble constitué par les éléments aux coordonnées factorielles positives est celui des échantillons réalisés en hautes-eaux (fig. 43). Ceux-ci sont plus riches en organismes, que les résultats soient exprimés en taux (nombre absolu d'animaux) ou en densité (nombre d'animaux par m^3), et en nombre de taxons (fig. 44). En effet, les Insectes épigés Plécoptères et Ephéméroptères et les Crustacés Cladocères et Ostracodes ne sont présents qu'en hautes-eaux; de même les larves de Diptères, les Gastéropodes, les Crustacés Cyclopoïdes et Niphargides sont beaucoup plus abondants pendant cette période hydrologique. Ceci est révélé par la projection (sur l'emplacement de chaque échantillon) dans le plan formé par les deux premières composantes, de carrés dont la taille est proportionnelle à

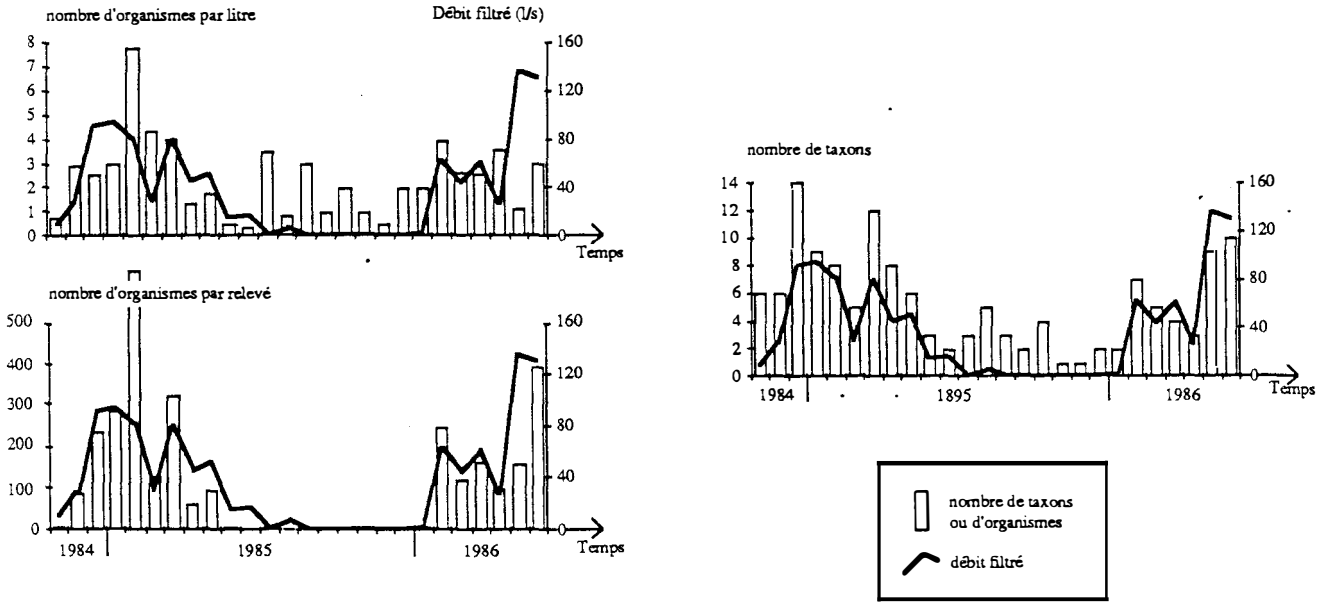


Figure 44 : Taux et densité des organismes et nombre de taxons obtenus dans les relevés effectués par filtrage des eaux à l'évent de Foussoubie.
Les taux correspondent au nombre d'organismes par filtrat, les densités au nombre d'organismes par litre filtré.
Les échantillons relevés en hautes-eaux sont riches en organismes (taux et densité) et en taxons.

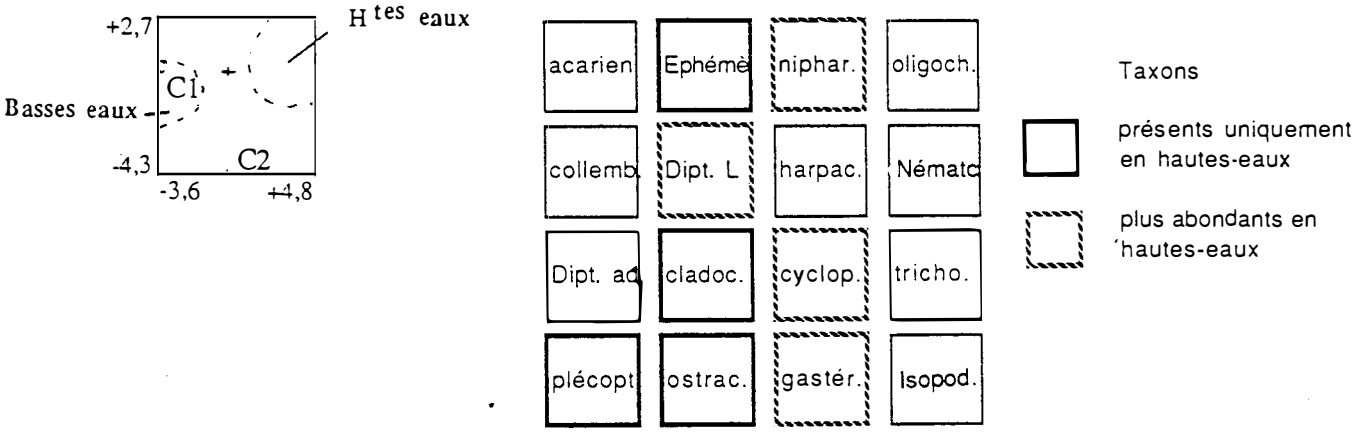
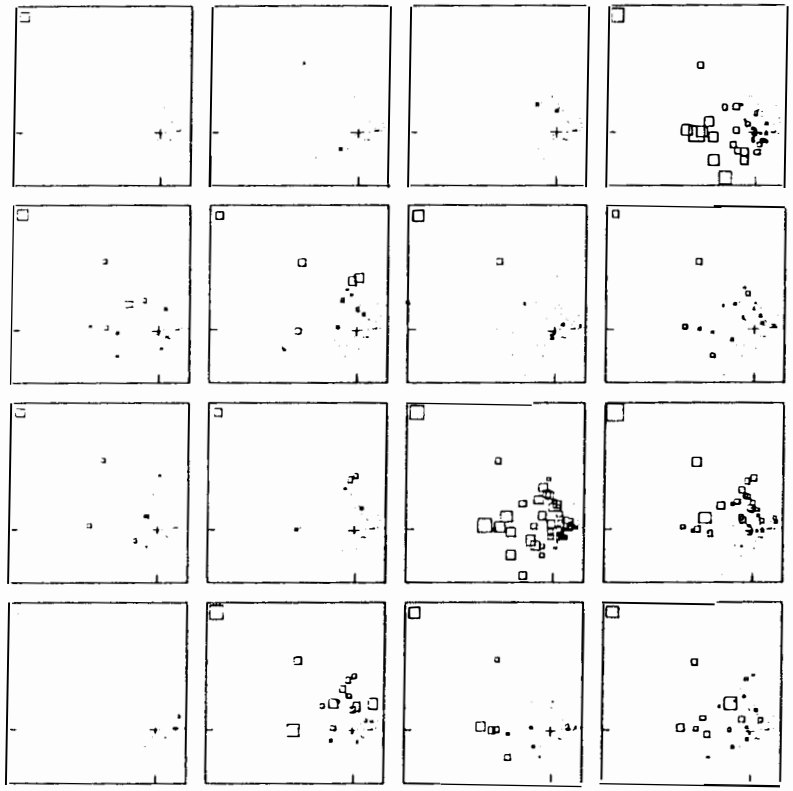
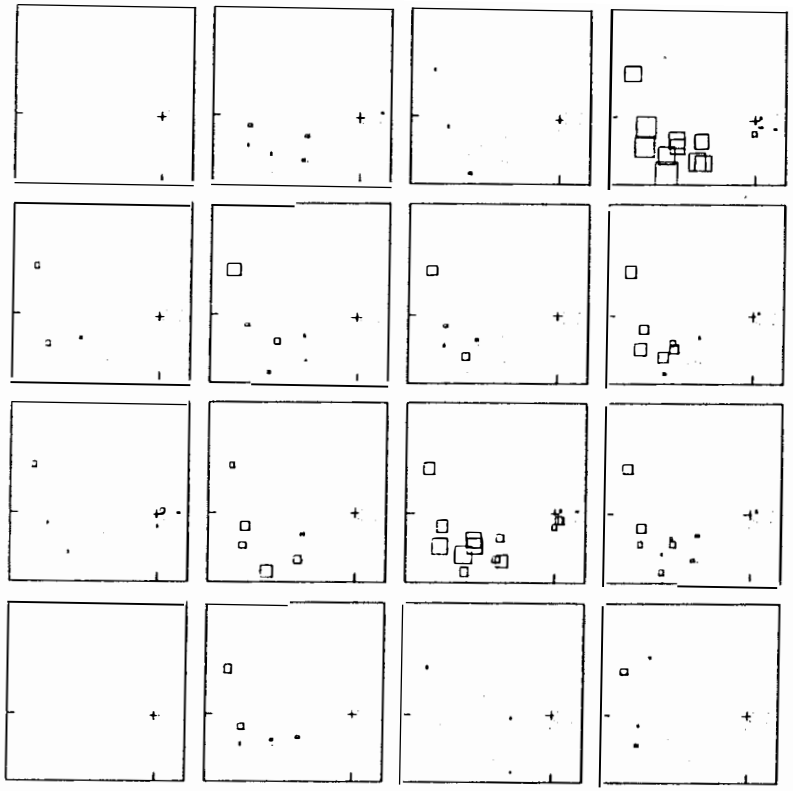


Figure 45 : Représentation de l'abondance de chacun des taxons dans les prélèvements effectués par filtrage des eaux à l'évent de Foussoubie.
L'abondance de chaque taxon est proportionnelle à la surface du carré qui est projeté, à l'emplacement de l'échantillon correspondant, sur le plan formé par les deux premières composantes.

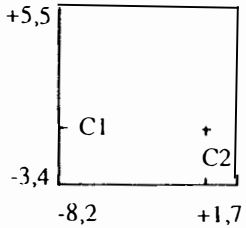
Les prélèvements effectués en hautes-eaux ont une diversité et une abondance faunistiques supérieures à celles des échantillons réalisés au cours de l'étiage.



Peuplement des substrats artificiels



Peuplement en dérive



Nauplius	Diptères A.	Cladocères	Cyclopoïdes
Acariens	Plécoptères	Ostracodes	Gastéropodes
Collemboles	Ephéméroptères	Niphargidés	Oligochètes
Psocoptères	Diptères L.	Harpacticoïdes	Nématodes

Figure 46 : Comparaison des contenus faunistiques des échantillons obtenus par substrats artificiels et par filtrage des eaux à l'évent de Foussoubie.

Les échantillons sont projetés dans le plan formé par les deux premières composantes de l'ACPC réalisée sur le tableau contenant les fractions 3F et 3N des substrats ainsi que les 16 filtrats.

Chacun des taxons est représenté, à l'emplacement des prélèvements sur le plan C1xC2, par un carré dont la taille est proportionnelle à son abondance.

l'abondance du groupe faunistique choisi (fig. 45, annexe 8). Les deux derniers groupes de Crustacés sont bien ceux qui dominent le peuplement dérivant en hautes-eaux.

La structure du peuplement dérivant, due à la grande abondance des Crustacés Cyclopoïdes et Niphargides ainsi qu'à la présence d'Insectes et de Crustacés épigés, est conditionnée par la période hydrologique. Il apparaît que pendant la période de hautes-eaux les quantités d'animaux et de taxons sont plus importantes que lors des périodes de basses-eaux. Le peuplement dérivant présente donc une biomasse et une diversité maximales en période hydrologique influencée.

Il convient maintenant de mieux observer les différences existant entre les deux méthodes de prélèvement.

2-2-2 Substrats et peuplement dérivant.

Si l'on se réfère aux images synthétiques des prélèvements données par l'ACPC, les échantillons réalisés en hautes-eaux par filtrage se différencient de ceux effectués à l'aide des substrats artificiels immergés pendant 1 j, 8 j, 15 j, 1 m et 2 m (fig. 41). Cependant certains substrats mensuels, par leur coordonnées factorielles négatives, se rapprochent des filtrats qui sont obtenus en période de forts débits (fig. 41).

Bien que ces prélèvements mensuels ne possèdent pas une abondance faunistique élevée par rapport à celle des relevés effectués par filtrage, la comparaison qualitative et quantitative des taxons récoltés par ces deux méthodes peut être envisagée (fig. 46). La structure du peuplement dérivant est bien caractérisée par une forte abondance des Cyclopoïdes et des Niphargides. En revanche, celle des substrats mensuels montre une composition faunistique plus équilibrée avec certes une dominance des Oligochètes, des Cyclopoïdes et des Niphargides mais avec la présence non négligeable des larves de Diptères, des Harpacticoïdes et des Nématodes, taxons qui sont peu ou pas représentés dans le peuplement dérivant. Ces résultats sont différents de ceux obtenus dans le Rhône où les prélèvements par filtrage, s'ils sont qualitativement identiques à ceux réalisés par des substrats artificiels suspendus en pleine eau, sont quantitativement plus efficaces (CELLOT, 1982). La position (sur le fond) des substrats artificiels utilisée dans ce travail peut expliquer cette relative indépendance des substrats vis-à-vis du peuplement en dérive au moment de leur retrait.

2-3 CONCLUSION.

Les fractions 300 µ des substrats artificiels, quelle que soit leur durée d'immersion, possèdent globalement un **peuplement différent** de celui dérivant au moment du retrait des appareils. Une analyse plus précise montre que le peuplement des substrats mensuels est **plus diversifié** que celui obtenu par filtrage des eaux.

Le peuplement dérivant, par sa composition faunistique qualitative et quantitative, informe sur le fonctionnement hydrologique et notamment sur l'hydrodynamisme du système. **Les hautes-eaux** apparaissent comme des périodes au cours desquelles se produisent des **déplacements d'importantes quantités d'organismes et de taxons.**

Il convient donc d'étudier les renseignements fournis par la méthode des substrats. Ceci doit être fait en tenant compte de l'influence éventuelle des contraintes d'utilisation de la méthode afin de définir quelles sont les conditions à respecter pour optimiser la qualité des informations apportées.

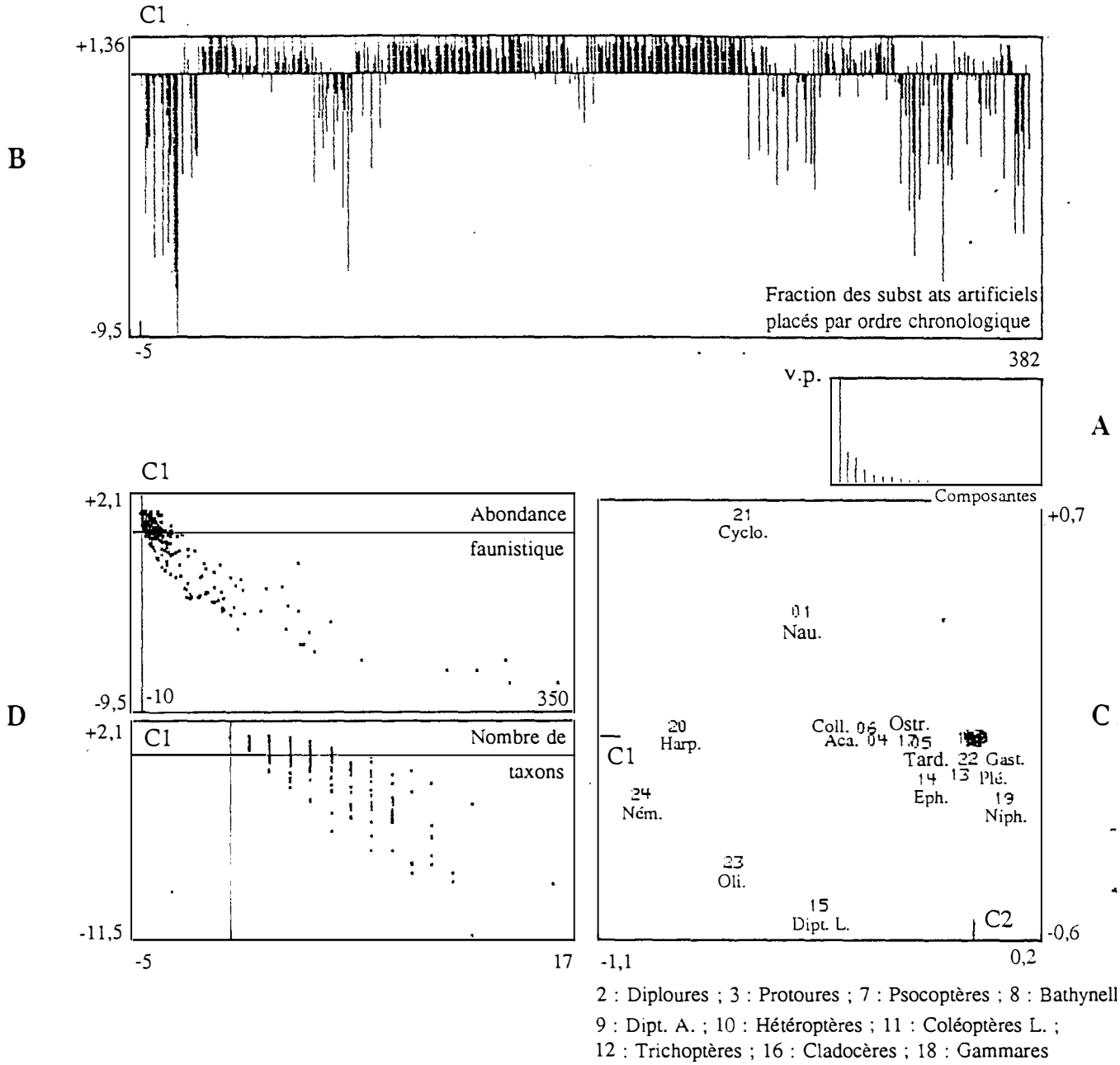


Figure 47 : Représentation raphique des résultats de l'analyse en composantes principales centrée (ACPC) réalisée sur les données obtenues par les 376 fractions des substrats artificiels placés à l'évent de Foussoubie.

-A- Valeurs propres des composantes.

Les trois premières composantes contiennent 75% de l'information.

composantes	valeurs propres	inertie	inertie cumulée
1	3,5	48,7%	48,7%
2	1,0	14,6%	63,3%
3	0,8	11,7%	75,0%

-B- Histo ramme des coordonnées factorielles des fractions sur la première composante. Les fractions des substrats artificiels sont placées sur l'axe des abscisses selon l'ordre du tableau (cf. tab. 10). Globalement, cela revient à une disposition chronolo ique.

-C- Projection des taxons (variables) sur le plan formé par les deux premières composantes en fonction de leurs coordonnées factorielles.

-D- Relations entre les coordonnées factorielles des fractions sur la première composante et, d'une part l'abondance faunistique, d'autre part le nombre de taxons.

Seule la première composante, qui contient près de 50% de l'information, sera considérée. Le phénomène qu'elle met en évidence est fortement corrélé avec le nombre d'organismes [coef. cor. (C1, N) = -0,81] et avec le nombre de taxons [coef. cor. (C1, S) = -0,86] contenus dans les fractions. Les prélèvements à coordonnées factorielles négatives sont riches en organismes et en taxons.

3 CONDITIONS D'UTILISATION DE LA METHODE DES SUBSTRATS ARTIFICIELS ET RESULTATS ECOLOGIQUES APPORTES.

Les données figurant dans le tableau exposé ci-dessus (cf § III-1) traitées par ACPC apportent une information qu'il convient de chercher sur la première composante qui possède 48,7% d'inertie (fig. 47 B).

Dans le but de mieux comprendre l'information mise en évidence, plusieurs représentations graphiques ont été réalisées (fig. 47) :

- l'histogramme, dont les ordonnées correspondent aux coordonnées factorielles des 376 fractions des substrats (individus) qui sont ordonnés dans le temps sur l'axe des abscisses, représente d'une façon synthétique le contenu faunistique des prélèvements (fig. 47 B) ;
- deux nuages de points qui ont pour ordonnées les coordonnées factorielles des relevés (individus) sur la première composante et pour abscisses, pour l'une l'abondance, pour l'autre la diversité faunistique de chaque échantillon (fig. 47 D).

Ces graphiques permettent de visualiser une opposition entre les relevés à coordonnées factorielles négatives et de grande amplitude et les relevés à coordonnées positives et d'assez faible amplitude (fig. 47 A). Les coordonnées factorielles négatives sont bien corrélées aux nombres élevés d'organismes et de groupes faunistiques (fig. 47 D).

Le phénomène le plus important dans la structure de peuplement observée par cette méthode d'échantillonnage est due à l'abondance et à la diversité faunistique.

Cet aspect, qui peut s'observer par une simple lecture du tableau, bien qu'atténué par l'utilisation de l'ACPC, persiste et apparaît donc comme un élément déterminant pour l'organisation de la faune des échantillons obtenus à l'aide des substrats artificiels.

L'influence de la durée et du lieu d'immersion ou des conditions mésologiques sur cette structure de peuplements doit être estimée. Il est également important de connaître le rôle des différents constituants des substrats (ficelle ou filet) et quelle fraction est la plus riche en information (160 µ ou 300 µ) .

3-1 ROLE DE LA DUREE D'IMMERSION ET IMPORTANCE DE L'HYDROLOGIE.

3-1-1 Durée d'immersion.

L'image synthétique des relevés peut être fractionnée selon les différentes modalités techniques et en particulier selon la durée d'immersion (fig. 48). Ceci permet de voir que la majorité des substrats de 1 m et de 2 m s'individualisent par rapport à ceux de courte durée si l'on excepte les substrats de 15 j de la dernière série.

La collecte d'organismes nombreux et diversifiés par les substrats de durée d'immersion mensuelle et bimestrielle se traduit par des coordonnées factorielles négatives (fig. 47 D). Ces substrats contribuent le plus au phénomène mis en évidence par l'ACPC.

Cependant, certains substrats de 1mois échappent à ce phénomène en présentant la même image que ceux de courtes durées (fig. 48). De même, les substrats de 15 j de la dernière série se comportent comme la majorité des substrats mensuels et bimestriels (fig. 48).

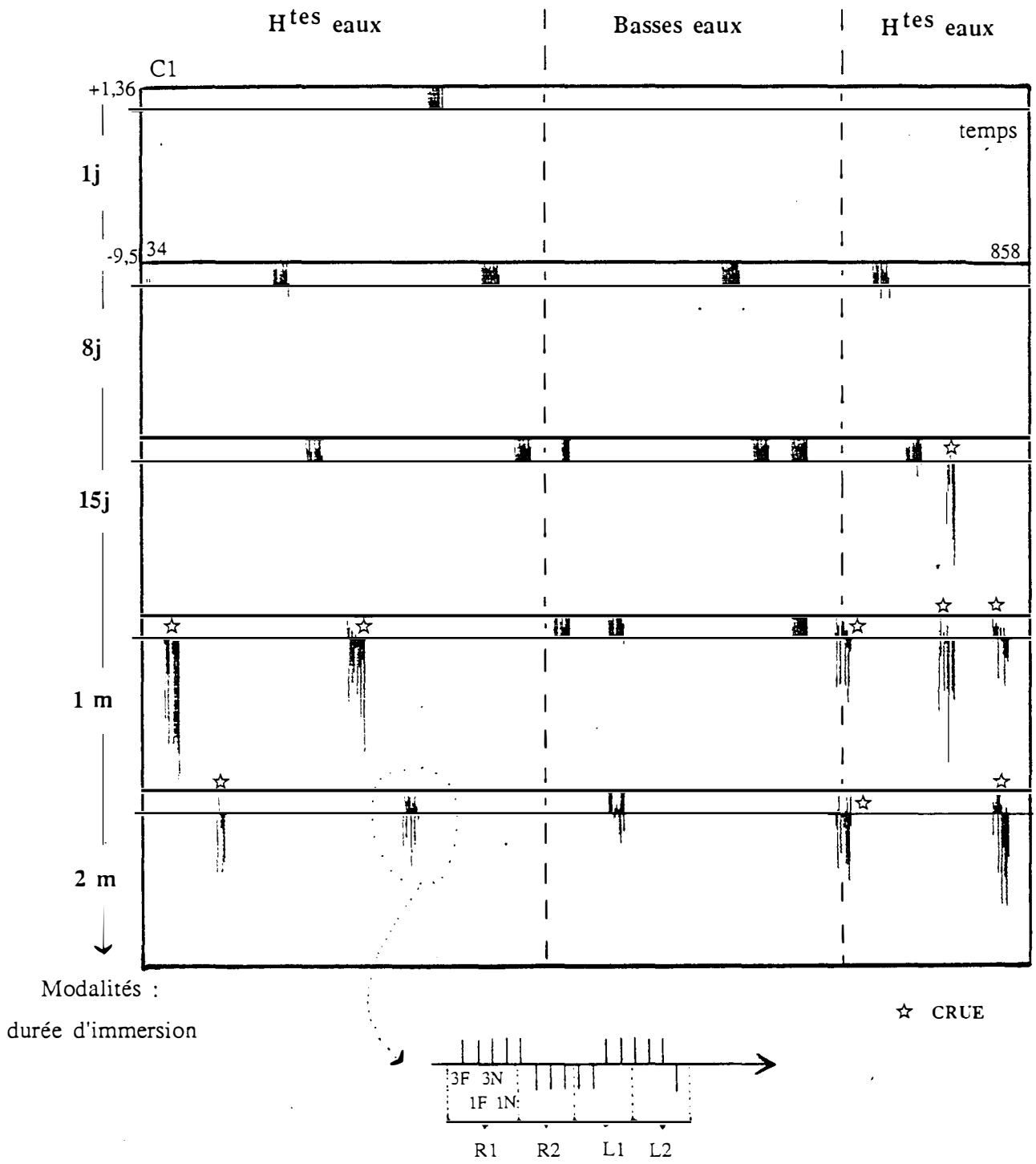


Figure 48 : Histogrammes en bâtons des coordonnées factorielles des prélèvements effectués à l'évent de Foussoubie sur la première composante.
Les prélèvements ont été séparés selon leur durée d'immersion (1 j, 8 j, 15 j, 1 m, 2 m). Pour chaque durée d'immersion, il existe plusieurs "groupes" de bâtons. Chacun de ces "groupes" correspond à une série et donc à une époque d'immersion. Ils sont formés des 4 sous-fractions (3F, 1F, 3N, 1N) des 4 substrats placés en des lieux différents (R1, R2, L1, L2), soit 16 bâtons. L'écart entre les "groupes" est proportionnel à la durée qui sépare les époques d'immersion. L'axe des abscisses représente donc globalement le temps qui correspond à la période entre la fin de 1984 et le début de 1986. Les prélèvements sont situés par rapport aux périodes du cycle hydrologique.

La plupart des fractions qui ont des coordonnées factorielles négatives, c'est à dire qui ont une abondance et une diversité faunistiques élevées, appartiennent aux substrats immergés 1 m ou 2 m en période de hautes-eaux. Les crues semblent aussi avoir un rôle sur l'abondance et la diversité faunistiques des prélèvements. En effet, les substrats de 15 j qui ont subi un de ces événements hydrologiques présentent des coordonnées factorielles négatives.

Ceci peut s'expliquer par le fait que chaque durée d'immersion est représentée par quatre substrats (sauf quelques exceptions) placés en des lieux différents (R1, R2, L1, L2) et que chacun des appareils est divisé en quatre fractions (3F, 1F, 3N, 1N) ; chaque durée est ainsi représentée normalement par 16 échantillons (fig. 48).

Ainsi, les particularités de certains substrats mensuels et de ceux de la dernière série de 15 j ne peuvent s'expliquer par le lieu d'immersion et/ou la fraction. En effet, l'opposition entre les échantillons de durée différente est nettement plus marquée que celle qui peut exister entre les échantillons d'une même durée d'immersion (fig. 48). Il faut donc envisager l'action de facteurs indépendants de la méthode utilisée, comme les conditions mésologiques.

3-1-2 Importance du facteur hydrologie.

La considération des périodes de hautes-eaux et de basses-eaux (cf 1° partie) explique l'antagonisme existant entre les substrats de même durée mais de séries différentes (fig. 48). Ainsi les échantillons à forte abondance d'individus et riches en groupes faunistiques se trouvent parmi les substrats de 1 m et de 2 m immergés pendant les périodes de hautes-eaux.

L'abondance faunistique moyenne, qui semble atteindre un maximum pour une durée de 1 mois (fig. 49) ne peut donc pas être attribuée uniquement au temps d'exposition dans le milieu. Les conditions hydrologiques prennent une part importante dans la quantité d'organismes récoltés par les appareils. Ainsi, la progression du nombre d'organismes en fonction de la durée d'immersion montre un maximum plus élevé si l'on considère uniquement les substrats exposés dans le milieu en période de hautes-eaux (fig. 49). Ce phénomène peut être attribué d'une part au nombre important d'organismes qui dérivent en période de forts débits (cf § 2-2-1) et d'autre part à l'émersion partielle des appareils placés en zone rapide pendant l'étiage, ceux-ci offrant alors aux organismes un volume colonisable moins grand (tab. 12).

Tableau 12 : Substrats de un mois partiellement émergés le jour de leur retrait.

Date de retrait	N° du substrat	Partie de l'appareil émergée
31/7/85	SR1	1/3
idem	SR2	idem
8/01/86	SR2	2/5

La quantité d'eau moyenne écoulée au cours de la période d'exposition ne suffit pourtant pas à expliquer la singularité des substrats de 15 j de la dernière série par rapport à ceux de même durée et immergés pendant les hautes-eaux. En effet, les échantillons de ces substrats de 15 j présentent une image de leur contenu faunistique proche de celle des prélèvements de 1 m et 2 m (fig. 48). Ce résultat peut être attribué à l'action d'une crue qui est intervenue pendant la période d'exposition dans le milieu. Cet événement s'est aussi produit lors de l'immersion d'autres substrats et a donc pu modifier les échantillons concernés.

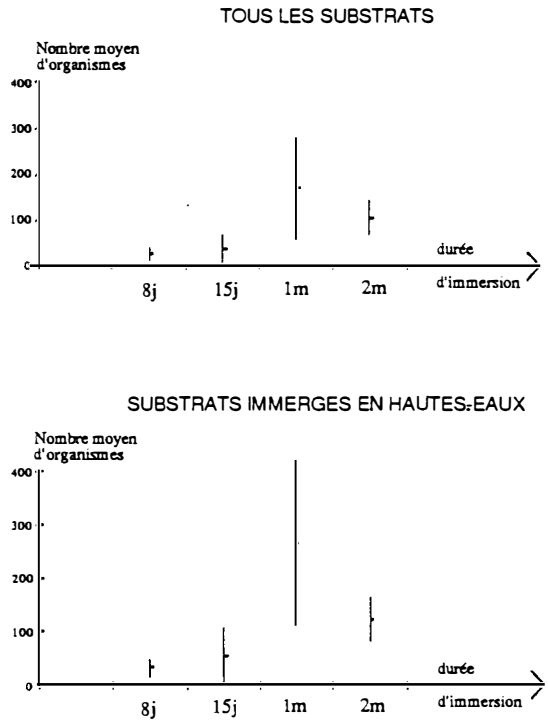


Figure 49 : Nombre moyen d'organismes récoltés dans les substrats artificiels en fonction de leur durée d'immersion.

Les substrats mensuels sont ceux qui contiennent le plus d'organismes. Ce phénomène s'accentue si seuls les substrats immergés en périodes de hautes-eaux sont pris en compte.

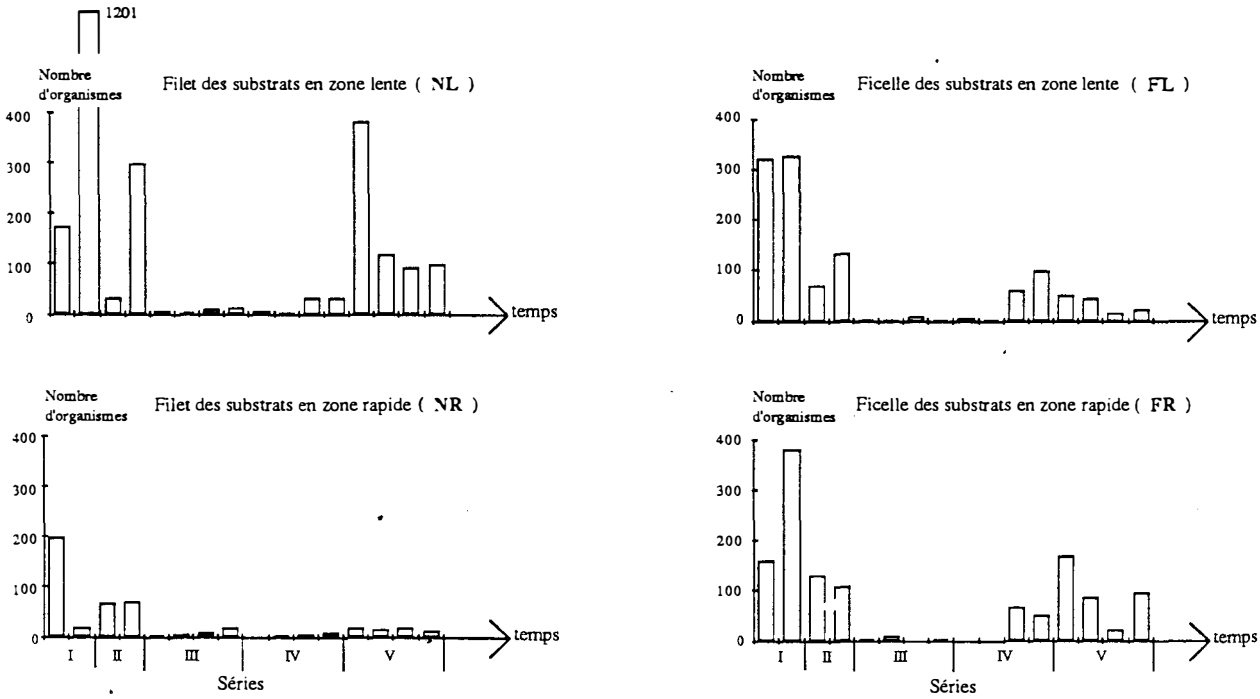


Figure 50 : Nombre d'organismes récoltés dans les différentes fractions et selon le lieu d'immersion, des substrats artificiels immergés durant un mois à l'évent de Foussoubie.

Les "parties filet" des substrats mensuels placés en zone rapide sont les moins riches en organismes. Les quantités les plus importantes d'individus sont trouvées dans les filets des appareils placés en zone lente.

3-1-3 Conclusion.

Les substrats artificiels de durée d'immersion mensuelle et bimestrielle mettent en évidence une variabilité temporelle du peuplement échantillonné. Cette méthode montre, comme celle du filtrage des eaux, l'**influence du cycle hydrologique** sur la structure du peuplement. Elle met aussi en évidence l'**importance des crues.**

En dehors de la durée d'immersion, les autres facteurs capables d'influencer la colonisation, à savoir les deux parties du substrat ou le lieu d'immersion, semblent donc jouer un moindre rôle ; de même, les informations apportées par les fractions 300 µ et 160 µ ne semblent pas radicalement différentes. Toutefois, il convient d'estimer quelle peut être la part que prend chacune des sous-fractions dans l'acquisition des données.

3-2 PARTICIPATION DES SOUS-FRACTIONS DES SUBSTRATS DANS L'ECHANTILLONNAGE.

Après avoir mis en évidence les phénomènes les plus importants fournis par les données ainsi récoltées, l'attention doit se porter, d'une part à la participation des différentes parties (F et N) dans l'échantillonnage, d'autre part à l'information détenue par les deux fractions (160 µ et 300 µ).

3-2-1 Importance relative des parties "filet" et "ficelle".

Les résultats des substrats mensuels sont retenus pour estimer la part que prennent la ficelle (F) et le filet (N) dans le prélèvement. Les lieux d'immersion (zones rapide "R" ou lente "L") sont aussi pris en compte et on considèrera les échantillons FL, NL et FR et NR. Les nombres d'organismes et de taxons, caractéristiques de la structure de peuplement mis en évidence, seront alors utilisés.

3-2-1-1 Variations des résultats obtenus par le filet.

En considérant uniquement les substrats de 1 mois, ce sont les échantillons NR qui présentent le nombre d'organismes le plus faible. Les quantités les plus importantes sont atteintes pour certaines fractions NL (fig. 50).

Ces résultats opposant les échantillons NL et NR peuvent être dus pour une part à la vitesse des circulations d'eau au niveau des substrats et d'autre part à la présence de matière organique (celle-ci est mesurée par calcination à 55O °C durant 1 h 30 de la matière particulaire retenue par les substrats).

En effet, les fortes abondances d'organismes relevées dans les filets des substrats placés en zone lente, peuvent être reliées aux quantités élevées de matière organique qu'ils contiennent (fig. 51). Ces accumulations de matière représentent alors des îlots de nourriture qui attirent les organismes.

De même, les faibles nombres d'organismes dans les NR peuvent être mis en relation avec les faibles quantités de matière organique qu'ils retiennent (fig. 51). Ceci peut être expliqué par la vitesse de circulation des eaux, relativement importante dans cette portion de la rivière souterraine de Foussoubie pendant les périodes de hautes-eaux (tab. 13).

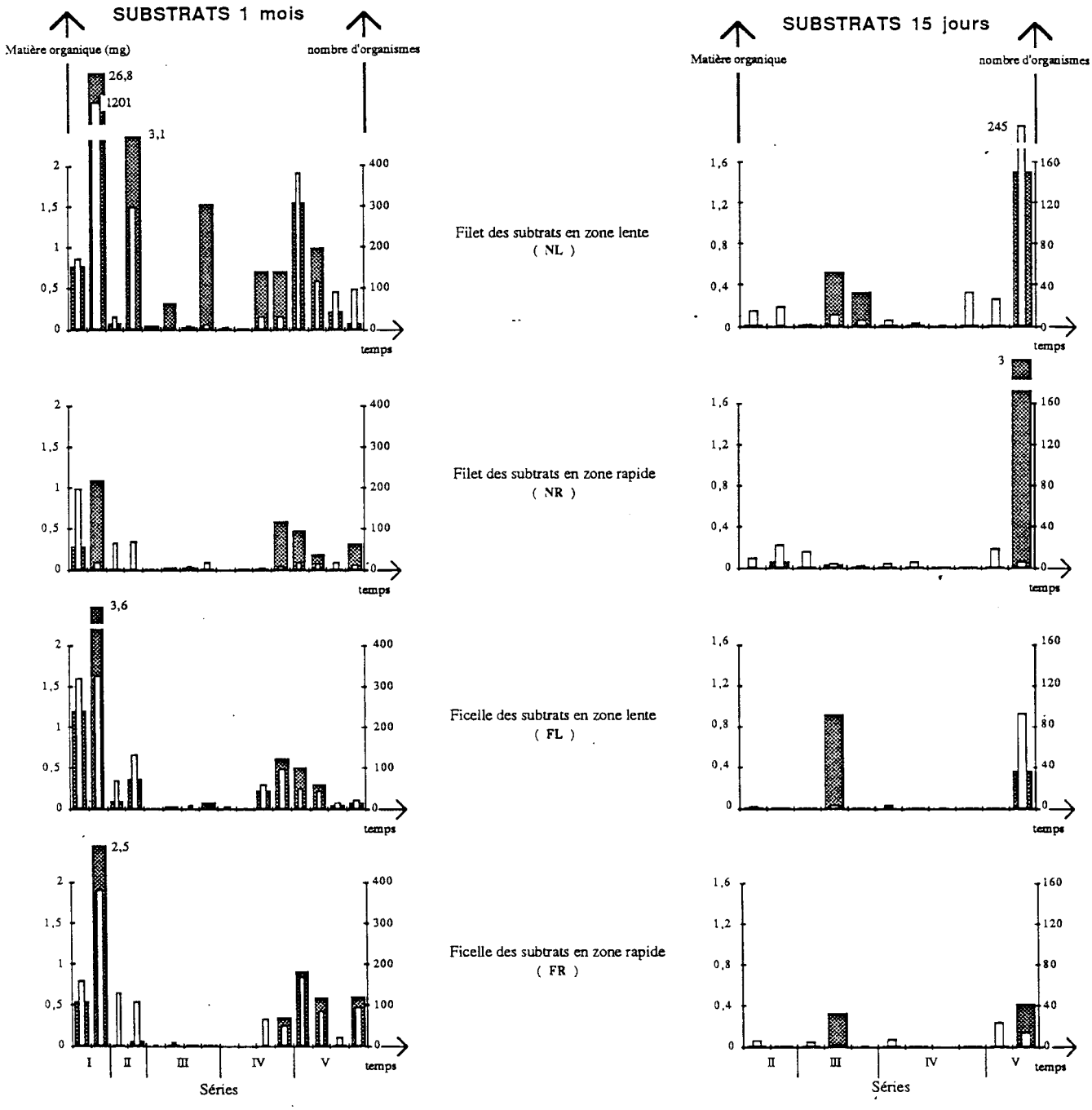


Figure 51 : Relations entre les quantités de matière organique (M.O.) et le nombre d'organismes dans les substrats de 15 j et de 1 m immergés à l'évent de Foussoubie.

La matière organique stockée dans le substrat n'est pas le seul facteur responsable du comportement de colonisation. La durée d'immersion semble, elle aussi, importante. En effet, si l'abondance faunistique dans les substrat mensuels est liée à la quantité de matière organique présente, cette relation n'est pas mise en évidence dans les substrats de 15 j.

Ainsi, les filets peuvent être soulevés et vidés de leur contenu ; certains appareils ont été retirés alors que leur filet flottait dans le courant ; ils étaient ainsi soumis directement à son action (tab. 14).

Tableau 13 : Vitesses mesurées pour les substrats de un mois placés en zone rapide.

Date de pose des substrats	Vitesse (cm/s) R1	R2	Date de retrait des substrats	Vitesse (cm/s) R1	R2
18/10/84	-	-	23/11/84	79	78
13/02/85	-	-	22/03/85	140	74
26/6/85	12	31	31/07/85	12	14
31/07/85	12	14	4/9/85	1	7
5/12/85	10	5	8/1/86	30	11
8/1/86	30	11	12/2/86	75	65
5/3/86	81	62	14/4/86	67	-
14/4/86	131	-	9/5/86	106	52

Tableau 14 : Substrats de un mois dont le filet flottait dans le courant lors du retrait.

Date de retrait	Substrat dont le filet flottait
23/11/84	R1,R2
22/3/85	R1
9/5/86	R1

Cependant, on ne peut pas attribuer aux fortes teneurs en matière organique l'entière responsabilité du contenu du filet, puisque ceux des substrats de 15 j ne montrent pas de rapport entre l'abondance faunistique et la quantité de matière organique des échantillons (fig. 51).

Pour les substrats placés en zone lente, assez profonde, il faut tenir compte du remous provoqué lors du retrait des appareils, qui entraîne les organismes dans le filet.

Le filet peut donc jouer plusieurs rôles, positifs ou négatifs :

- dans les zones profondes, il diminue la perte des organismes lors du retrait des substrats ; cette perte est considérée par ROSENBERG et RESH (1982) comme un des inconvénients de cette méthode ;
- dans la section lente, il peut accumuler des particules organiques et être alors colonisé plus activement;
- dans les zones rapides il peut être soulevé par la vitesse de circulation de l'eau et filtrer les éléments figurés dérivants, ou bien être lessivé.

Ces deux derniers modes d'action font qu'il paraît incorrect de donner un pourcentage d'organismes récupérés par le filet lors de l'émersion des appareils. Le filet doit donc être considéré comme un élément à part entière des appareils tout en sachant que selon les lieux d'exposition son influence dans l'échantillonnage pourra être différente.

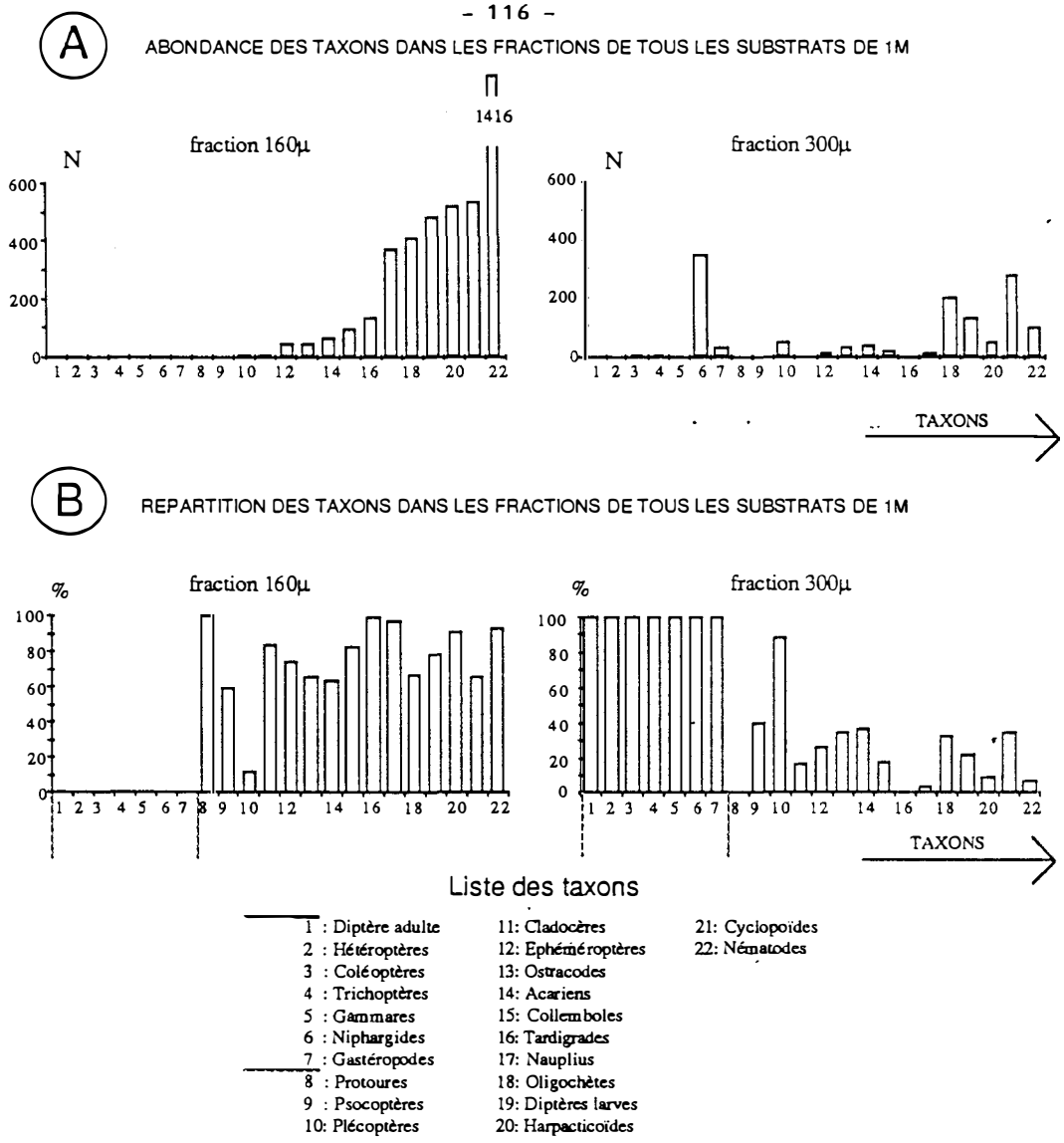


Figure 52 : Répartition qualitative et quantitative des taxons dans les fractions 300 µ et 160 µ des substrats immergés pendant un mois à l'évent de Foussoubie.

-A- Pour chaque taxon et pour chaque fraction, les quantités d'individus capturés dans tous les substrats mensuels ont été cumulées (N).

-B- Représentation du pourcentage de chaque taxon dans les deux fractions.

Un grand nombre d'organismes est capturés dans la fraction 160 µ (A). Sur les 22 taxons recensés, 7 ne sont capturés que dans la fraction 300 µ, 1 ne se trouve que dans la fraction 160µ (B). Parmi les 14 taxons récoltés dans les deux fractions, 13 ont plus de 50 % de leur effectif dans la partie 160 µ.

3-2-1-2 Importance de la ficelle.

Les "parties ficelles" montrent des résultats moins contrastés entre les deux zones d'immersion (fig. 50). L'abondance faunistique suit une évolution assez proche de celle de la quantité de matière organique qui ne semble pas s'accumuler préférentiellement dans un des lieux d'immersion (fig. 51).

3-2-1-3 Conclusion.

Les résultats faunistiques obtenus par la "partie filet" du substrat sont plus influencés que ceux de la "partie ficelle" par les conditions hydrauliques qui règnent au niveau des appareils. Ceci peut en partie s'expliquer par la matière organique qui peut se déposer dans les filets (ou en être lessivée) et qui semble participer au phénomène de colonisation au moins pour les substrats mensuels. Le filet n'intervient donc pas seulement lors du retrait des appareils en évitant la perte d'organismes, mais il participe activement à l'échantillonnage. Bien que cette participation ne puisse être quantifiée, on ne peut soustraire le contenu du filet de celui du substrat. **Ainsi, les données utilisées proviendront de la somme des parties ficelle et filet.**

3-2-2 Importance de la maille des tamis.

3-2-2-1 Rôle et présence des taxons dans les fractions.

Pour une étude hydrobiologique la qualité de l'information obtenue par les deux fractions doit être estimée ; la fraction 300 µ étant plus rapidement triée que la fraction 160 µ.

Dans ce but, il faut observer la répartition des groupes taxonomiques entre les deux fractions. Ainsi, ceux qui contribuent le plus au phénomène observé sur la première composante, qui oppose les relevés diversifiés et riches en individus (Nématodes, Harpacticoïdes, Oligochètes, Cyclopoïdes, larves de Diptères et larves nauplius) (fig. 47) sont les plus abondants si l'on considère la somme des contenus faunistiques des fractions 160 µ des substrats de 1 m (fig. 52). De plus, sur les 22 groupes faunistiques récoltés par les substrats de 1 m, 14 sont récupérés à plus de 50% dans celle-ci (fig. 52).

La fraction 300 µ comprend la totalité des organismes du groupe des Niphargides qui est aussi le plus abondant. Les Gastéropodes, les Trichoptères et les Collemboles sont peu abondants mais présents uniquement dans cette fraction ; les Plécoptères sont eux aussi peu représentés mais à plus de 80% dans la fraction 300 µ (fig. 52).

Donc en estimant que les Nématodes, les Cyclopoïdes, les Harpacticoïdes, les larves de Diptères et les Oligochètes sont les groupes qui influent le plus sur la structure des prélèvements, il est important de noter que leur présence est la plus fréquente et la plus abondante dans les échantillons de 160 µ des substrats de 1 m (fig. 52). Il est donc normal de conserver cette fraction pour l'étude plus approfondie des résultats. Toutefois, on ne peut non plus négliger la fraction 300 µ, les Niphargides et les Gastéropodes, entre autres, n'étant présents, au moins en ce qui concerne les substrats mensuels, que dans cette fraction (fig. 52 et 53). Les renseignements qu'ils sont suceptibles d'apporter par leur écologie (taxons stygobies) ne peuvent être négligés.

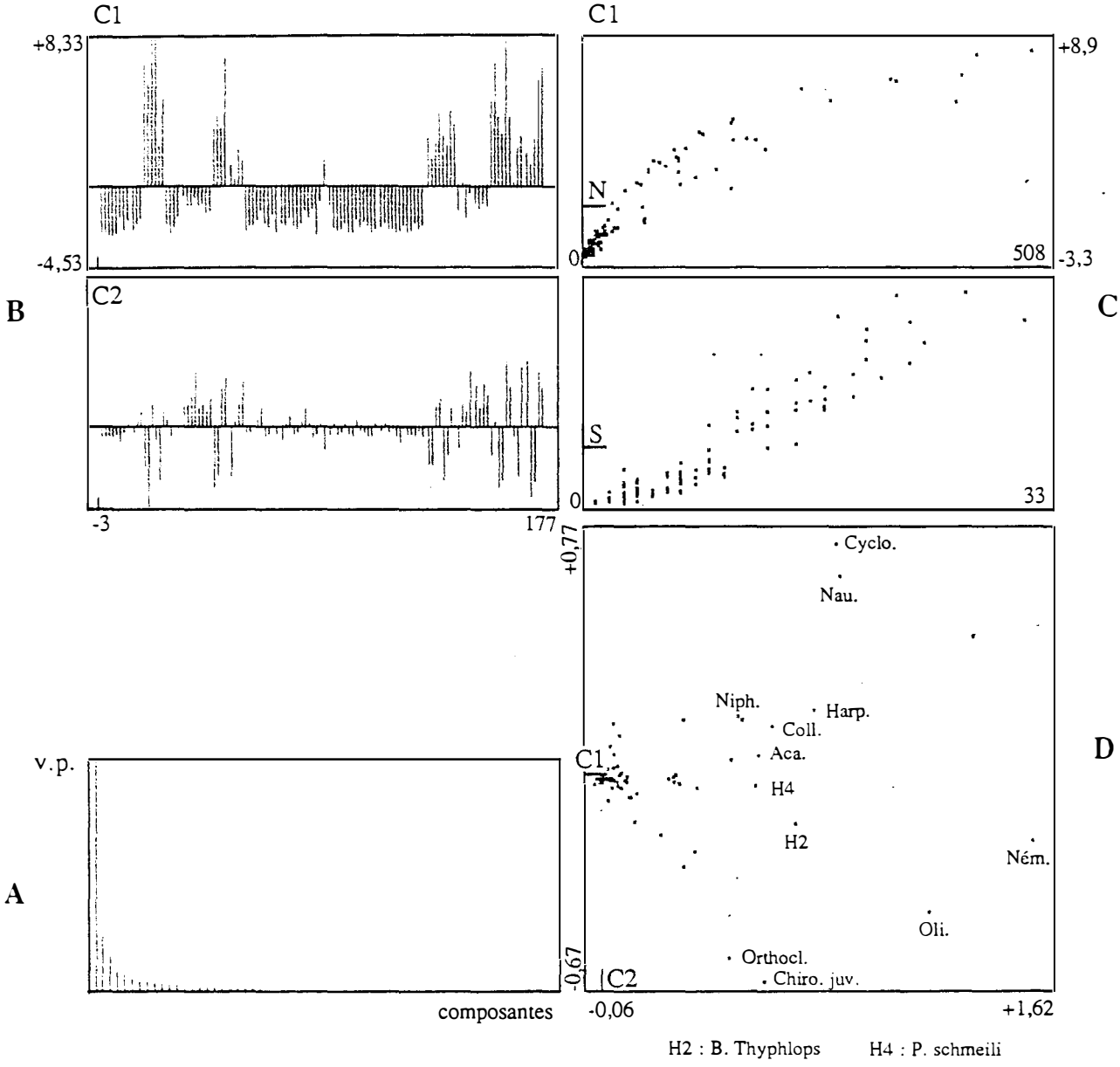


Figure 53 : Représentation graphique des résultats de l'analyse en composantes principales centrée (ACPC) réalisée sur les données obtenues par les 113 substrats artificiels immergés à l'évent de Foussoubie.

-A- Valeurs propres des composantes.

Les trois premières composantes contiennent plus de 65% de l'information.

composantes	valeurs propres	inertie	inertie cumulée
1	9,6	49%	49%
2	1,0	11,7%	60,7%
3	1,4	7,1%	67,8%

-B- Histogrammes des coordonnées factorielles des fractions sur la première et la deuxième composantes. Les substrats artificiels sont placés sur l'axe des abscisses selon l'ordre chronologique. Les minimums et les maximums sont identiques sur les deux axes.

-C- Relations entre les coordonnées factorielles des fractions sur la première composante et, d'une part l'abondance faunistique (N), d'autre part le nombre de taxons (S).

-D- Projection des taxons (variables) sur le plan formé par les deux premières composantes en fonction de leurs coordonnées factorielles.

Les deux premières composantes qui contiennent plus de 60% de l'information seront considérées.Le phénomène mis en évidence sur la première composante, qui structure le peuplement, est fortement corrélé avec le nombre d'organismes [coef. cor. (C1, N) = 0,84] et avec le nombre de taxons [coef. cor. (C1, S) = -0,96] contenus dans les fractions. Les substrats à coordonnées factorielles positives sont riches en organismes et en taxons.

3-2-2-2 Part de l'information dans les différentes fractions.

Pour l'étude plus poussée des données obtenues à l'aide des substrats, les deux fractions doivent être conservées, chacune détenant une part d'information sur le peuplement analysé. **Les contenus de chacune des fractions seront additionnés**, les organismes étudiés étant alors tous d'une taille supérieure à 160 µ.

3-3 CONCLUSION.

Les échantillons obtenus par substrats artificiels sont caractérisés par **l'abondance et la richesse faunistique** qui sont les plus élevés dans les **substrats mensuels** et, dans une moindre mesure, **bimestriels** pendant les **périodes de hautes-eaux.**

Ces conditions qui structurent le peuplement échantillonné sont plus fortes que les contraintes techniques bien que les "parties filet" soient plus sensibles aux conditions hydrauliques que les "parties ficelle". Quant au choix de la fraction à utiliser, il semble nécessaire, bien que l'information soit en grande partie fournie par la fraction 160 µ, de conserver aussi la fraction 300 µ qui peut apporter un complément d'information par la présence exclusive de certains taxons.

Ceci autorise à regrouper pour chaque substrat les différentes sous-fractions (3F, 3N, 1F et 1N), ce qui rend possible, par sous-échantillonnage, une détermination plus poussée sur ces groupes faunistiques qui nécessitent la participation de spécialistes.

Les données ainsi regroupées vont être soumises à une nouvelle Analyse en Composantes Principales Centrée pour tenter d'affiner la connaissance de l'organisation du peuplement échantillonné par les substrats artificiels.

4 DONNEES APPORTEES PAR LES SUBSTRATS ARTIFICIELS SUR L'ECOLOGIE DU SYSTEME DE FOUSSOUBIE.

Le regroupement des différentes fractions et parties des appareils a permis d'intégrer dans le tableau certains substrats qui n'avaient pas été fractionnés (cf § III-1) et ceux, mensuels (2 séries de 4), qui ont été immergés entre la troisième et la quatrième séries en étiage.

Le tableau de données obtenu comporte ainsi 63 variables (taxons) et 113 individus (prélèvements = substrats) qui regroupent les appareils dont toutes les parties ont été récupérées. Les substrats incomplets (certains ayant eu leur ficelle et/ou leur filet arrachés lors des crues) et ceux contenant aucun organisme ne figurent pas dans le tableau (tab. 15).

Tableau 15 : Substrats manquants dans les cinq séries analysées.

Série	Durée d'immersion	Date	Substrats ne figurant pas dans le tableau
I	8j	11 au 18/10/84	R2
I	2m	18/10 au 27/12/84	R2,L2
III	15j	10 au 31/7/85	R1,L1
V	15j	20/3 au 14/4/86	R2,L2

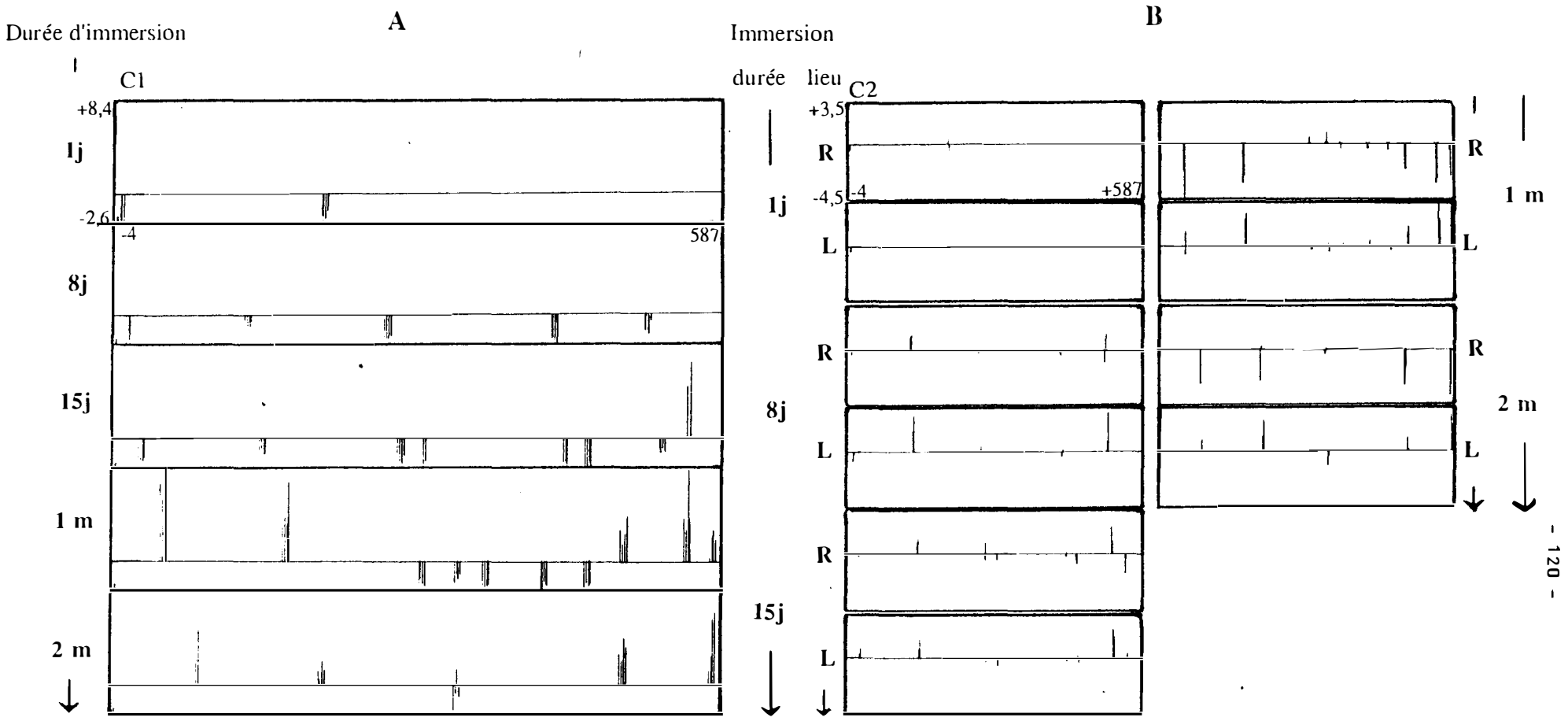


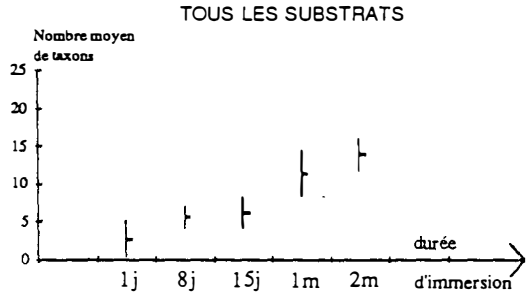
Figure 54 : Histogrammes en bâtons des coordonnées factorielles des substrats artificiels, immergés à l'évent de Foussoubie, sur la première composante (A) et sur la deuxième composante (B) en fonction du temps.

-A- Les prélèvements ont été séparés selon leur durée d'immersion (1 j, 8 j, 15 j, 1 m, 2 m).

Le premier axe réunit les substrats d'immersion mensuelle et bimestriel, placés dans le milieu en période de hautes-eaux et ceux de 15 j de la dernière série. Ces prélèvements, aux coordonnées factorielles positives, sont riches en organismes et en taxons.

-B- Les prélèvements ont été séparés selon leur durée d'immersion (1 j, 8 j, 15 j, 1 m, 2 m) et selon leur lieu d'immersion (R ou L).

La deuxième composante sépare les substrats immergés pendant 1 m ou 2 m en zone rapide de ceux, de même durée d'immersion, placés en zone lente. Les premiers ont des coordonnées factorielles négatives alors que celles des seconds sont positives.



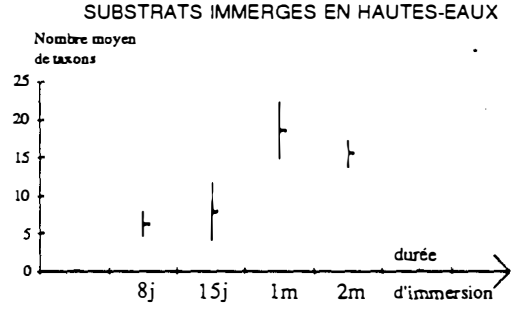


Figure 55 : Nombre moyen de taxons récoltés dans les substrats placés à l'évent de Foussoubie en fonction de leur durée d'immersion.

Ce sont les substrats immergés pendant 1 m et 2 m qui récoltent le plus grand nombre d'unités systématiques. Si on ne considère que les substrats immergés en hautes-eaux, les substrats mensuels sont les plus diversifiés.

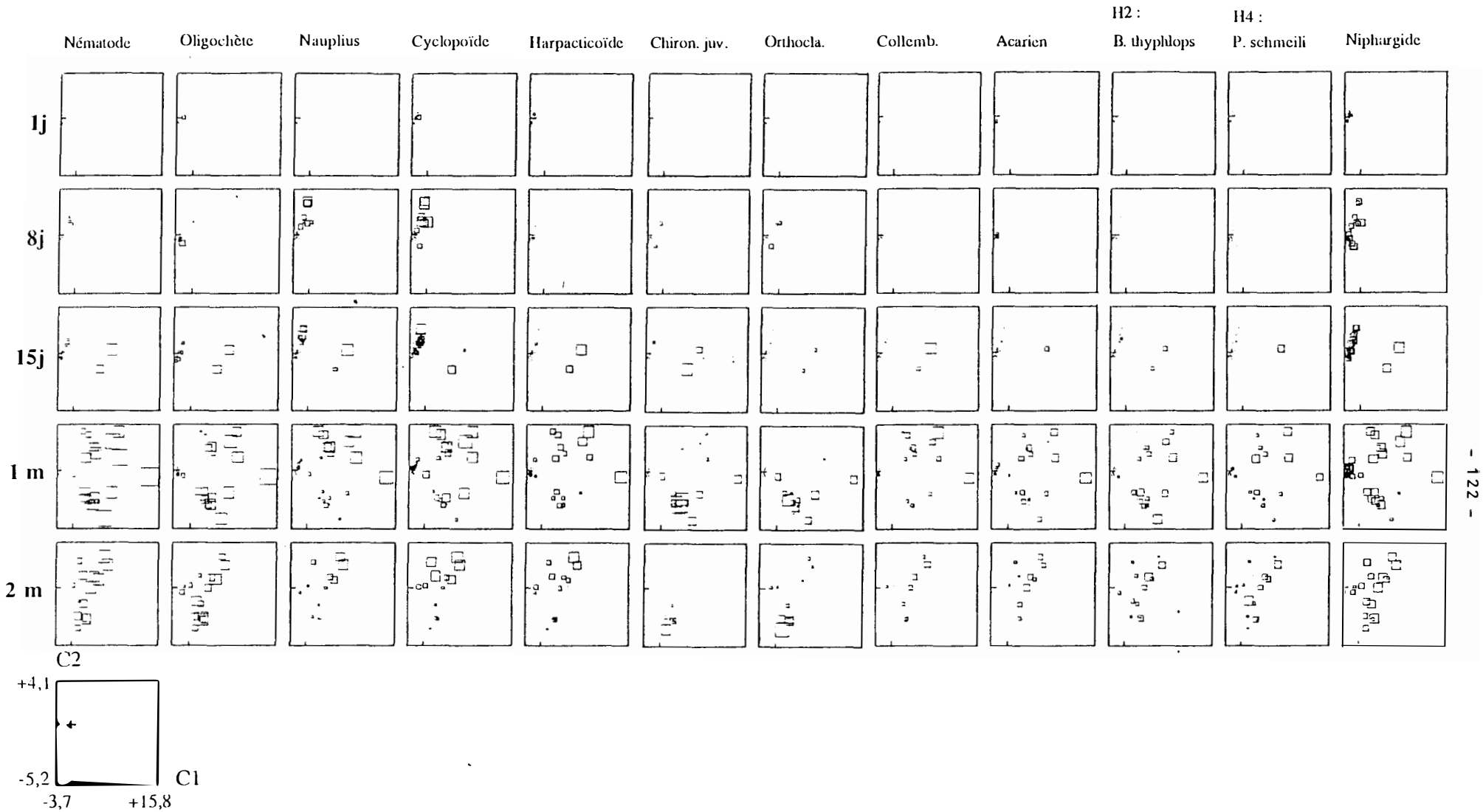


Figure 56 : Représentation de l'abondance des taxons les mieux représentés dans les substrats artificiels à l'évent de Foussoubie.
L'abondance de chaque taxon est proportionnelle à la surface du carré qui est projeté à l'emplacement de l'échantillon correspondant sur le plan formé par les deux premières composantes.
Ce sont les substrats de un et deux mois qui contiennent les plus grandes abondances faunistiques.

Sur ces données a été réalisée une ACPC pour laquelle seules les deux premières composantes principales qui détiennent 60,7% de l'information ont été retenues (fig. 53).

Le phénomène observé sur la première composante, constituant près de 50% de l'information contenue dans les données, oppose aux autres les substrats mensuels et bimestriels immergés en période de hautes-eaux, plus la dernière série de 15 j (fig. 54).

Le deuxième axe dont l'inertie est d'environ 12% sépare les substrats cités ci-dessus selon le lieu d'immersion.

4-1 ROLE DE LA DUREE D'IMMERSION ET DE LA PERIODE HYDROLOGIQUE.

La structure principale des peuplements mise en évidence repose très fortement sur l'abondance et la diversité faunistique des prélèvements. On observe une relation étroite entre ces paramètres et les coordonnées factorielles des prélèvements sur le premier axe (fig. 53).

Cette structure qui a été observée sur le tableau de données précédent se retrouve logiquement ici, puisque le phénomène repose sur l'abondance qui n'a pas changé dans le nouveau tableau de données. En ce qui concerne la diversité taxonomique, la plus grande précision des déterminations confirme ce qui a été observé au niveau des groupes faunistiques. Ce sont bien les substrats mensuels immergés pendant les débits élevés qui présentent des échantillons les plus riches en unités systématiques (fig. 55).

Des précisions sont apportées au niveau des taxons qui participent à la structure de peuplement. Outre les Nématodes et les Oligochètes, qui n'ont pu être déterminés plus précisément, il faut noter l'abondance (fig. 54) :

- des larves de Crustacés (nauplius, copépodites de Cyclopoïdes et d'Harpacticoïdes) et de celles de Diptères (Chironomidae juvéniles (indéterminables) et Orthocladiinae) ;
- des organismes terrestres comme les Collemboles et les Acariens ;
- des Crustacés Harpacticoïdes *Bryocamptus thyphlops* et *Paracamptus schmeili* et les Amphipodes Niphargides.

Ces taxons ont été cités dans l'ordre d'importance qui correspond à leur abondance dans les susbtrats mensuels et bimestriels immergés en hautes-eaux (fig. 57).

4-2 ROLE DU LIEU D'IMMERSION.

Les coordonnées factorielles sur la deuxième composante séparent les prélèvements du groupe des substrats mensuels et bimestriels immergés en période de forts débits, selon le lieu d'immersion, à savoir zone rapide ou lente (fig. 56).

Les appareils exposés en zone lente correspondent aux coordonnées factorielles positives alors que ceux de la zone rapide sont situés sur la partie négative du deuxième axe. Si l'on se réfère à la projection des coordonnées factorielles des variables (taxons) sur le plan C1-C2 et à la contribution des taxons au deuxième axe, les responsables de ce phénomène peuvent être distingués (fig. 54) :

- les nauplius et les larves de Cyclopoïdes caractérisent par leur forte abondance les prélèvements réalisés en eaux calmes (fig. 57) ;

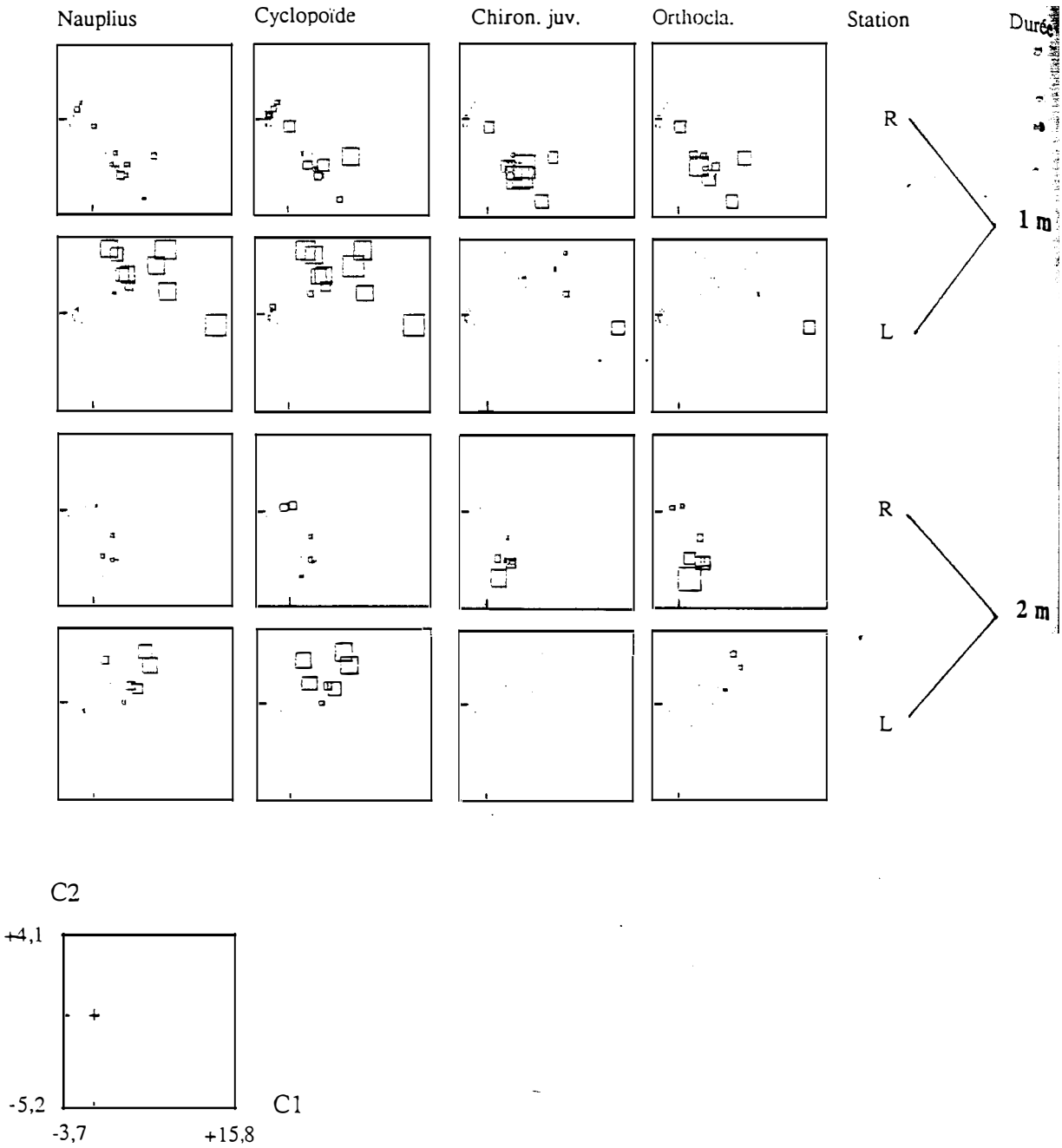


Figure 57 : Représentation de l'abondance des taxons en fonction du lieu d'immersion des substrats artificiels immergés pendant un et deux mois à l'évent de Foussoubie.
L'abondance de chaque taxon est proportionnelle à la surface du carré qui est projeté à l'emplacement de l'échantillon correspondant sur le plan formé par les deux premières composantes.

Les larves de Diptères Chironomidae (juvéniles et Orthocladiinae) sont mieux récoltées en zone rapide. Ce phénomène est inversé pour les organismes planctoniques (Nauplius et Cyclopoïdes).

- les Chironomidés juvéniles et Orthocladiinae sont abondants dans les substrats de la zone rapide, et presque inexistants dans ceux de la zone calme (fig. 57).

Les organismes planctoniques, les larves de crustacés Cyclopoïdes notamment, colonisent plus facilement les appareils placés en zone lente (tab. 16). Cette remarque s'applique à l'ensemble des Cyclopoïdes (tab. 16) et aux espèces récoltées. En effet, le pourcentage de chacune d'entre elles dans les substrats des deux zones par rapport à leur abondance totale (somme des 4 substrats), montre que la plupart des espèces sont mieux capturées en zone lente (tab. 17).

Les abondances absolues de la totalité des Cyclopoïdes et des copépodites récoltés par substrats artificiels et par filtrage des eaux en période de débit élevé peuvent servir d'indice de comparaison de leur présence dans les deux zones (tab. 16). Ainsi, les plus grands nombres d'individus obtenus en zone rapide le sont avec le filtrage. Il en est de même pour les copépodites qui doivent cependant être mal filtrés par la maille des filets (300 µ). Les taux de larves de Cyclopoïdes capturées en zone lente par substrat artificiel étant supérieurs à ceux des filtrats, montrent que les différences de résultats observées en zone rapide pour les deux méthodes traduisent un phénomène écologique. Ces organismes sont soumis à une dérive passive importante et c'est pourquoi leur installation en zone lotique est difficile.

Les larves de diptères Chironomides (juvéniles indéterminés et Orthocladiinae) sont trouvées préférentiellement dans les substrats positionnés dans le courant. Ce résultat n'autorise pas à préjuger de la présence ou non de ces organismes dans la zone lénitique pour laquelle, contrairement au milieu lotique, aucune autre méthode de prospection n'a été utilisée.

Tableau 16 : Abondance des Cyclopoïdes et des copépodites dans le peuplement en dérive (D), capturé en période de hautes-eaux pendant trois heures et dans les substrats mensuels et bimestriels de la même période hydrologique placés en zones rapide (SR) et lente (SL).

Date de filtrage ou de relevé des substrats	Durée des substrats	copepodites			Cyclopoides (total)		
		D	SR	SL	D	SR	SL
23/11/84	1m	0	40	113	232	135	147
27/12/84	2m	-	0	19	-	2	28
22/3/85	1m	75	19	119	323	3	153
26/4/85	2m	10	4	48	63	12	65
12/2/86	1m	4	1	10	247	1	26
12/2/86	2m	4	1	7	247	5	18
14/4/86	1m	23	3	88	156	5	104
9/5/86	1m	54	15	85	391	19	102
9/5/86	2m	54	2	82	391	7	114

Tableau 17 : Pourcentage de chaque espèce de Cyclopoïdes récoltées dans les substrats en fonction de leur lieu d'immersion (zone rapide : SR ou lente : SL)

Date de retrait des substrats artificiels	*Eucyclops serrulatus*		*Paracyclops fimbriatus*		*Megacyclops viridis*		*Diacyclops bicuspidatus*		*Acanthocyclops robustus*		*Acanthocyclops venustus*		*Diacyclops languidoides*		*Tropocyclops prasinus*		*Diacyclops languidus*	
	SR	SL	SR	SL	SR	SL	SR	SL	SR	SL	SR	SL	SR	SL	SR	SL	SR	SL
23/11/84	50	50	62	38	90	10	0	100							100	0		
27/12/84			0	100	0	100									0		0	
22/3/85	33	67	3	97	100	0							0	100				
26/4/85	0	100	42	58									0	100				
12/2/86			0	100			0	100			0	100	0	100				
12/2/86			100	0	100	0					100	0	0	100			0	100
14/4/86	6	94	17	83					0	100	0	100	0	100				
9/5/86	0	100	0	100	0	100					0	100	0	100				
9/5/86	50	50	0	100	0	100			0	100	0	100						

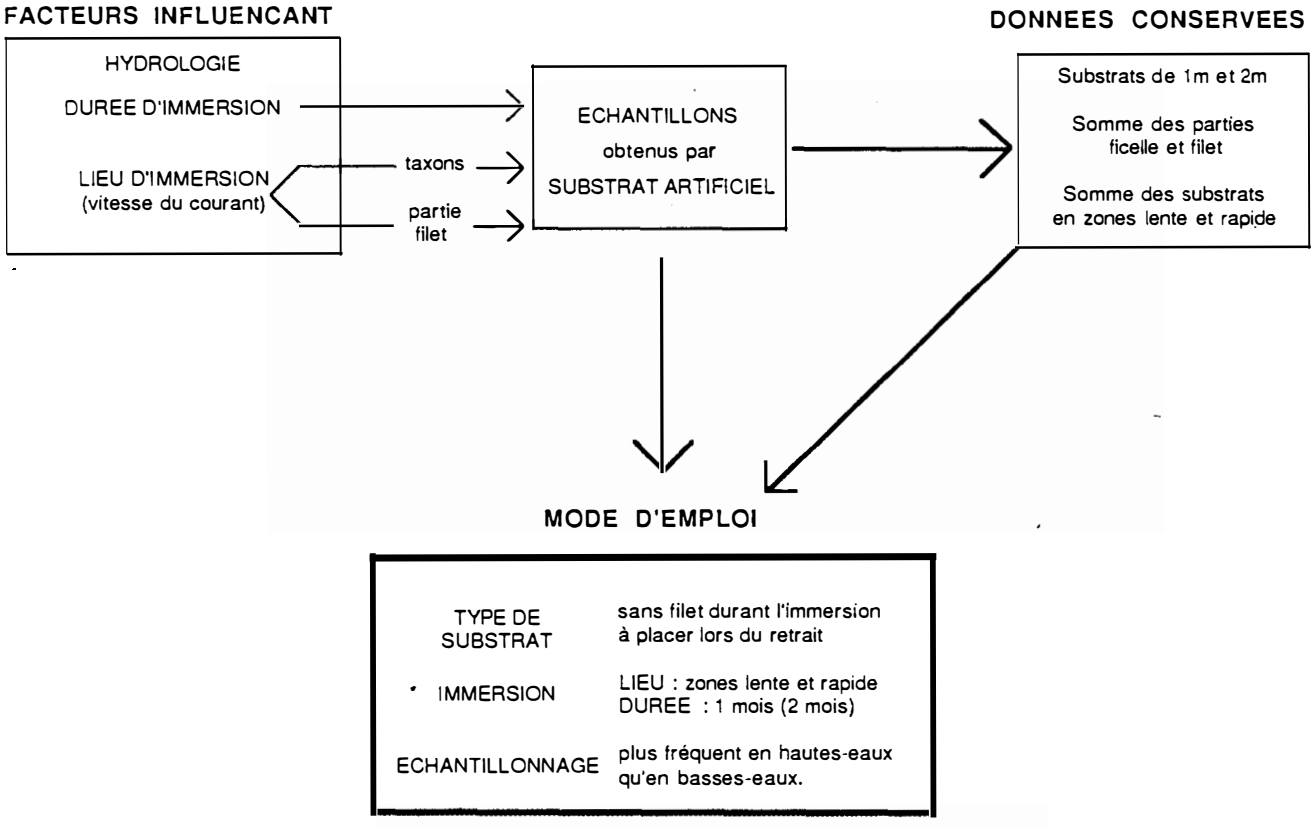


Figure 58 : Technique d'échantillonnage par la méthode des substrats artificiels en milieu aquatique souterrain karstique.

4-3 CONCLUSION.

Le regroupement des fractions des substrats a permis de mettre en évidence des différences entre les échantillons récoltés en zone lente ou rapide. Ces résultats fixent une condition supplémentaire à l'utilisation des substrats inhérente au faciès hydraulique des stations prospectées. Les déterminations plus précises dévoilent quels sont les organismes qui contribuent le plus à la structure de peuplement observée dans les échantillons mensuels et bimestriels effectués en hautes-eaux.

CONCLUSION

Les expérimentations effectuées à l'évent de Foussoubie ont permis de préciser les conditions d'utilisation de la méthode des substrats artificiels en milieu karstique. Par ailleurs, les résultats obtenus ont pu être comparés à ceux acquis par la méthode classique de filtrage des eaux.

I METHODES DES SUBSTRATS ARTIFICIELS EN MILIEU KARSTIQUE.

Les types d'appareils et le protocole expérimental utilisés ont mis en évidence que les périodes d'immersion de 1 m et de 2 m donnent une image de la structure du peuplement échantillonné. Celle-ci, caractérisée par l'abondance et la richesse faunistiques est régulée par les **conditions hydrologiques**. En effet, c'est au cours des périodes de **hautes-eaux** que sont récoltés les plus **grands nombres d'organismes et de taxons**. Ces résultats ne doivent pas faire oublier que les conditions hydrologiques peuvent agir sur l'efficacité de la méthode. Ainsi, les parties "filet" des appareils utilisés s'avèrent être très sensibles aux conditions hydrologiques environnantes. Le contenu de ces parties du substrat peut être influencé par les vitesses de circulation des eaux qui ont régné lors de son immersion.

La vitesse du courant, en plus de cette action mécanique, a une action sur la colonisation des taxons. Les Cyclopoïdes sont récoltés en plus grand nombre dans les parties lentes alors que dans les zones rapides, soumises aux fortes vitesses de circulations, ils ne peuvent s'installer dans les substrats artificiels.

En fonction de ces résultats, un **mode d'emploi** de cette méthode peut être dégagé. Les appareils utilisés semblent adaptés à ce mode d'échantillonnage (Fig. 58) avec cependant quelques modifications .

- il semble plus pertinent d'**immerger les appareils sans filet**. Celui-ci pourrait être glissé dessous le substrat lors de son émersion afin d'éviter la perte des organismes provoquée par les remous de l'eau ;
- une **durée d'immersion mensuelle** convient pour une étude des variations du peuplement au cours du cycle hydrologique ;
- la vitesse du courant joue un rôle non-négligeable. Ainsi, les zones lente et rapide d'une station devront, toutes deux, être échantillonnées pour bien connaître le peuplement de celle-ci.
- la période des hautes-eaux entraîne une dynamique plus importante du peuplement et il ne semble donc **pas nécessaire de multiplier les relevés en période de basses-eaux**.

II COMPARAISON AVEC LA METHODE DU FILTRAGE DES EAUX.

Les variations temporelles des peuplements du ruisseau de l'évent de Foussoubie, échantillonnés par les deux méthodes, sont de même nature. En effet, le peuplement dérivant est riche en organismes, notamment en Cyclopoïdes et en Niphargides, au cours des périodes de hautes-eaux. Ces taxons qui dominent ce peuplement sont aussi bien représentés dans les échantillons obtenus par les substrats artificiels. Cependant, ceux d'immersion mensuelle montrent une richesse taxonomique plus importante que les filtrats.

Ainsi, la **méthode des substrats artificiels** permet un échantillonnage des eaux souterraines karstiques satisfaisant. Toutefois, elle doit être **complémentaire** de celle du **filtrage des eaux** quand le but de l'étude est de cerner les actions des **crues**. En effet, l'action immédiate de cet épisode hydrologique sera intégrée par le filtrage des eaux. Les conséquences à long termes sur les peuplements pourront être étudiées par la méthode des substrats artificiels, en tenant compte des **précautions d'utilisation** énoncées précédemment.

TROISIEME PARTIE

DYNAMIQUE DES PEUPLEMENTS
ET
NOTIONS D'ECOTONES

oooooo

INTRODUCTION

Bien que les biocénoses du milieu souterrain ne soient pas soumises directement aux rythmes saisonniers, leur étude ne peut se limiter à une observation statique. Le karst est un milieu dynamique (ROUCH et GINET, 1983) et la structure du peuplement hypogé varie suivant le fonctionnement hydrologique du système (ROUCH, 1981). Le cycle hydrologique est marqué par des épisodes d'origine climatique, les crues, qui, comme nous l'avons vu précédemment prennent une part importante dans la dynamique normale du système et qui ont une action tant sur les biocénoses souterraines karstiques (HAWES, 1939 ; BARR et KUEHNE, 1971 ; ROUCH, 1971, 1980 ; LESCHER-MOTOUE, 1973 ; BERTRAND 1974 , 1975 ; MOESCHLER, 1982 ; GIBERT, 1986) qu'interstitielles (MARMONIER et DOLE, 1986 ; MARMONIER, en prép.). Au cours de ces crues, phénomènes irréguliers au niveau du cycle hydrologique, de nombreuses variables d'état du système se trouvent en dehors des gammes de leurs valeurs habituelles ; elles peuvent donc être considérées, à cette échelle temporelle, comme des "perturbations " (BLANDIN et LAMOTTE, 1985). L'emploi des substrats artificiels doit permettre d'obtenir des renseignements sur le ou les impacts des crues sur la structure des peuplements. En effet, ces appareils qui sont en place dans le milieu pendant un ou deux mois subissent les mêmes phénomènes que le substrat naturel ; l'évolution conséquente du peuplement qu'ils contiennent peut donc être comparable à celle de la biocénose en place.

Les échanges entre les systèmes écologiques entraînent la circulation des flux d'énergie. Ceux-ci ont une importance qu'il ne faut pas sous-estimer puisqu'ils participent pour une grande part à l'évolution des systèmes. Le milieu karstique est un système "ouvert" (ROUCH et GINET, 1983 ; VERVIER et Coll., sous-presse) et possède des jonctions avec les systèmes superficiels. Dans le milieu souterrain peu producteur, l'existence des flux d'énergie est lié très étroitement à l'existence de tels contacts avec les milieux épigés. Ces échanges sont prépondérants au niveau des entrées et des sorties des systèmes. Ainsi, les sources et les pertes de rivières superficielles constituent des "écotones" dont l'étude est une étape nécessaire pour comprendre la dynamique des échanges entre les milieux hypogé et épigé.

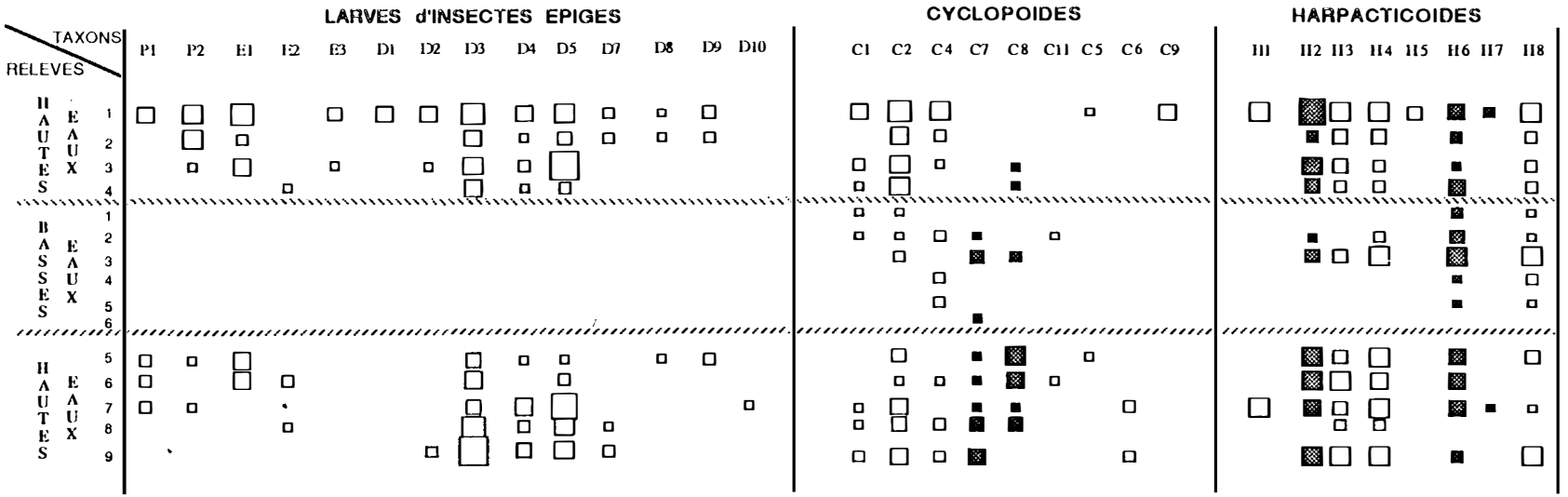
Les résultats obtenus à l'évent de Foussoubie fourniront des données pour comprendre la dynamique des peuplements souterrains et pour connaître les facteurs qui la régulent. L'impact des crues sur la biocénose sera abordé par une analyse faunistique effectuée au cours de la crue du 28/01/86. Les conséquences à long terme de ces événements hydrologiques seront étudiées à l'aide des prélèvements effectués par substrats artificiels à l'évent de Foussoubie.

Cette connaissance du système de Foussoubie permettra de prendre en considération l'existence de l'écotone. Les prélèvements réalisés à la source de l'Aiguille enrichiront les connaissances sur ce système, qui seront ensuite utilisées pour analyser l'écotone source.

I LA BIOCENOSE A L'EVENT DE FOUSSOUBIE ET SON EVOLUTION TEMPORELLE.

Les prélèvements effectués à l'évent de Foussoubie mettent en évidence la pertinence des résultats apportés par les substrats artificiels immergés durant 1 et/ou 2 mois.

Ces données permettent de connaître les composantes et l'origine (hypogée ou épigée) du peuplement présent à l'évent de Foussoubie, en fonction des périodes du cycle hydrologique.



TAXONS

P = Plécoptères
P1 : larvules
P2 : *Nemoura sp.*
E= Ephéméroptères
E1 : larvules
E2 : *Ephemerella ignita*
E3 : Leptophlebiidae
D= Diptères
Chironomidae
D1 : Tanypodinae
D2 : Corynoneurinae
D3 : Orthocladiinae
D4 : Chironominae
D5 : larvules
D7 : Simulidae
D8 : ceratopogonidae
D9 : terrestres divers
D10 : Stratiomidae

TAXONS

C1 *E.serulatus*
C2 *P. fimbriatus*
C4 *M. viridis*
C7 *A. venustus*
C8 *D. languidoïdes*
C11 *D. languidus*
C5 *D. bicuspidatus*
C6 *A. robustus*
C9 *T. prasinus*

TAXONS

H1 *C. staphylinus*
H2 *B. typhlops*
H3 *A. crassa*
H4 *P. schmeili*
H5 *M. varica*
H6 *E. cavatica*
H7 *Ceuthonectes sp.*
H8 *B. echinatus*

□ épigés
■ stygobies et stygophiles

abondance	0	1	[2,3]	[4,7]	[8,15]	[16,31]	[32,63]	[64,127]	[128,255]	[256,511]	[512,1023]
classe		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
représentée par		□	□	□	□	□	□	□	□	□	□

HAUTES - EAUX

date de relevé	durée d'immersion
1 - 23/11/84	1 m
2 - 27/12/84	2 m
3 - 22/3/85	1 m
4 - 26/4/85	2 m
5 - 12/2/86	1 m
6 - 12/2/86	2 m
7 - 14/4/86	1 m
8 - 9/5/86	1 m
9 - 9/5/86	2 m

BASSES - EAUX

date de relevé	durée d'immersion
1 - 31/7/85	1 m
2 - 4/9/85	1 m
3 - 4/9/85	2 m
4 - 2/10/85	1 m
5 - 27/11/85	1 m
6 - 8/1/86	1 m

Figure 59 : Evolution de l'abondance des larves d'Insectes, des Cyclopoïdes et des Harpacticoïdes dans les substrats mensuels et bimestriels immergés dans le ruisseau de l'évent de Foussoubie.

Les larves d'Insectes épigés ne sont pas présentes pendant la période des basses-eaux. La plupart des espèces de Cyclopoïdes et d'Harpacticoïdes sont présentes tout au long du cycle hydrologique. Certaines espèces épigées sont capturées pendant la période de basses-eaux.

Cette étude sera complétée par le suivi de l'évolution des biocénoses au cours des phases de hautes-eaux. L'influence des crues sur les communautés animales sera alors analysée.

Au cours de la présentation de ces résultats, il sera fait appel aux données concernant l'écologie des taxons et notamment à leur degré de rattachement au milieu souterrain :

• les termes **stygobie, stygophile** et **stygoxène** (GINET et DECOU, 1977) seront employés selon les définitions suivantes :

- stygobie : le cycle biologique des organismes stygobies s'effectue entièrement et obligatoirement dans le milieu souterrain ;

- stygophile : une partie du cycle des animaux stygophiles s'effectue obligatoirement dans le milieu souterrain ;

- stygoxène : les organismes stygoxènes ne sont rencontrés qu'accidentellement dans le milieu souterrain.

• le terme d'**hypogé** concernera les organismes les plus rattachés, en fonction de la fréquence de leur présence, au milieu souterrain (hypogé) qu'au milieu superficiel (épigé). Le terme d'**épigé** désignera les animaux que l'on ne rencontre qu'accidentellement dans le milieu souterrain et ceux que l'on peut rencontrer aussi bien dans ce milieu que dans le milieu superficiel.

Ainsi, les organismes hypogés regrouperont les stygobies et stygophiles alors que les animaux épigés comprendront les stygoxènes et ceux qui ont un caractère eurytope.

Ces termes ont été utilisés seulement pour les groupes pour lesquels le niveau de détermination atteint correspond à une bonne connaissance de leurs *préférendums* écologiques ; il s'agit des Crustacés Cyclopoïdes et Harpacticoïdes, des larves d'Insectes épigés, des Gastéropodes hypogés et de l'Amphipode stygobie *Niphargus virei*.

1 ORIGINE DES ORGANISMES.

Au cours du cycle hydrologique, la présence de la faune épigée dans un système aquatique souterrain karstique est liée au degré "d'ouverture" (biologique) de ce dernier (VERVIER et Coll., sous presse). Ainsi les systèmes biologiquement ouverts à l'amont, comme les karsts à résurgence, peuvent être soumis à l'apport d'organismes des ruisseaux superficiels les alimentant (DECAMPS et ROUCH, 1973 ; DECAMPS et LAVILLE, 1975). Pour les systèmes biologiquement semi-ouverts, comme les karsts à exsurgence, la présence de ces organismes peut être due à leur remontée à partir des exutoires (GIBERT, 1986). Ce phénomène, comme le souligne cet auteur, est difficile à mettre en évidence dans un système à résurgence. Cependant, dans le cas du système de Foussoubie, les relevés étant effectués à l'intérieur de celui-ci, il semble probable que les organismes épigés proviennent plus des eaux du ruisseau de la Planche à l'amont, que de leur remontée à contre-courant depuis la source à l'aval.

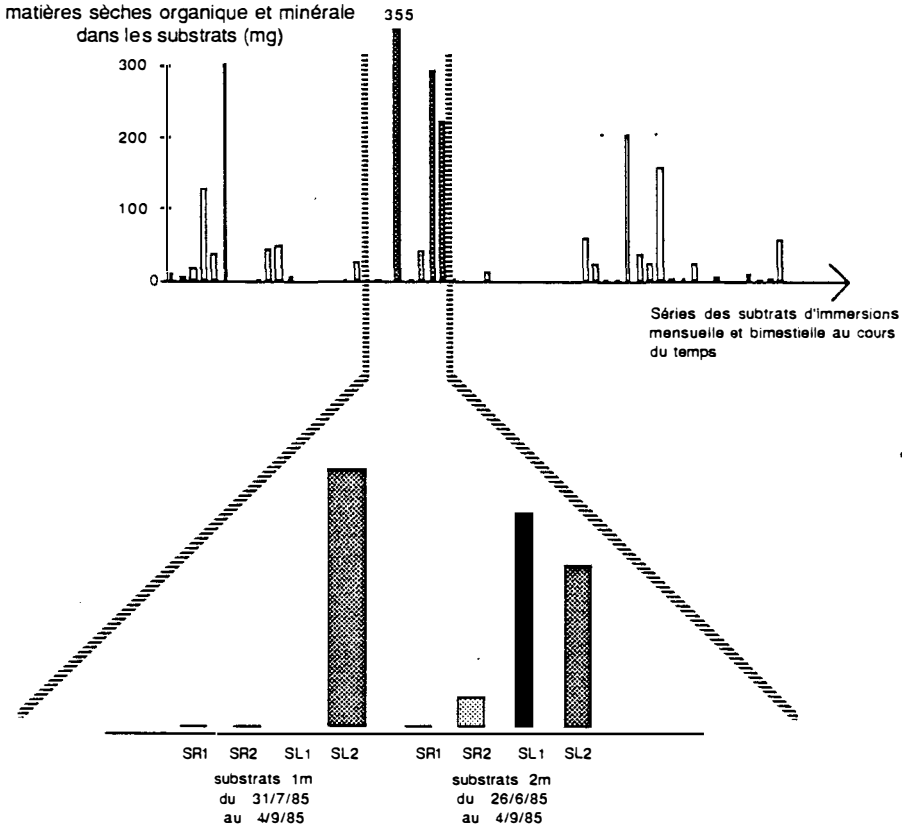


Figure 60 : Evolution au cours du cycle hydrologique des quantités de matières organique et minérale (> 160 µ) récoltées dans les substrats mensuels et bimestriels immergés à l'évent de Foussoubie.

De grandes quantités de matériaux sont récupérées dans les substrats mensuels et bimestriels immergés en zone lente et relevés le 4/09/85. Ceci est probablement dû au raclage des sédiments par le filet lors du retrait des substrats.

1-1 LES INSECTES.

Les résultats présentés ici (fig. 59) sont constitués par la somme du contenu des 4 substrats de chaque série. Chaque taxon est représenté quantitativement par un carré dont la surface correspond à une classe d'abondance, les nombres d'organismes ayant été classés en fonction d'une progression géométrique de raison 2.

Les larves d'Insectes épigés présentes à l'évent de Foussoubie sont surtout les Diptères Orthocladiinae, les Plécoptères et les Ephéméroptères, récoltées uniquement en période de hautes-eaux (Fig. 59). Ces résultats sont en accord avec ceux de DECAMPS et ROUCH (1973) qui ont montré que les insectes s'engouffrant à l'amont dans le système pyrénéen du BAGET au cours de crues, pouvaient transiter jusqu'à l'exutoire. Les larves d'Insectes épigés seraient donc entraînées par les eaux de la Planche dans le système de Foussoubie en période de hautes-eaux. Ainsi, leur absence pendant l'étiage pourrait être due à l'interruption de l'alimentation hydrique épigée (cf. 1 partie). L'émergence des individus peut aussi être envisagée pour expliquer ce phénomène. Cependant, si cette hypothèse est bien étayée par la présence des Plécoptères et des Ephémèroptères seulement durant l'hiver et le printemps dans la rivière Ardèche (DOLEDEC, 1986), en revanche, elle est infirmée par celle des Chironomidae qui ont été récoltés tout au long de l'année. Il parait donc vraisemblable de considérer que ces organismes importés dans le système en hautes-eaux ne s'y maintiennent pas au cours de l'étiage.

1-2 LES CYCLOPOIDES.

Ces Crustacés sont représentés par 9 espèces qui sont pour la plupart présentes en étiage (Fig. 59). Celles qui ne le sont pas, ont été récoltées avec une relativement faible fréquence en période de hautes-eaux et sont des espèces stygoxènes (*Tropocyclops prasinus, Diacyclops bicuspidatus, Acanthocyclops robustus*) (DUSSART, 1969) qui, à l'image des larves d'Insectes, proviennent sûrement de la Planche.

La plupart des espèces présentes en basses-eaux sont donc considérées comme épigées (*Diacyclops languidus, Eucyclops serrulatus, Paracyclops fimbriatus* et *Megacyclops viridis*) (DUSSART, 1969) car deux seulement sont stygophiles, *D. languidoïdes* (DUSSART, 1969) et *Acanthocyclops venustus* (LESCHER-MOUTOUE *in* BOTOSANEANU, 1986).

La présence relativement constante de certains des épigés (*E. serrulatus, P. fimbriatus* et *M. viridis*) montrent que ces organismes, par leur caractère eurytope (DUSSART, 1969), peuvent s'installer dans le milieu souterrain. Ce phénomène a été observé par ROUCH et CARLIER (1985-a) pour des Harpacticoïdes épigés au niveau du système à résurgence du Baget.

1-3 LES HARPACTICOIDES.

Sur les 8 espèces de Crustacés Harpacticoïdes, trois ne sont pas capturées en période d'étiage. Il s'agit de *Canthocamptus staphylinus* et *Moraria varica* qui sont des organismes épigés et de *Ceuthonectes sp.*, genre hypogé (Fig. 59). Ces Crustacés n'ont pas été trouvés régulièrement (une ou deux fois) dans les échantillons et seul *C.*

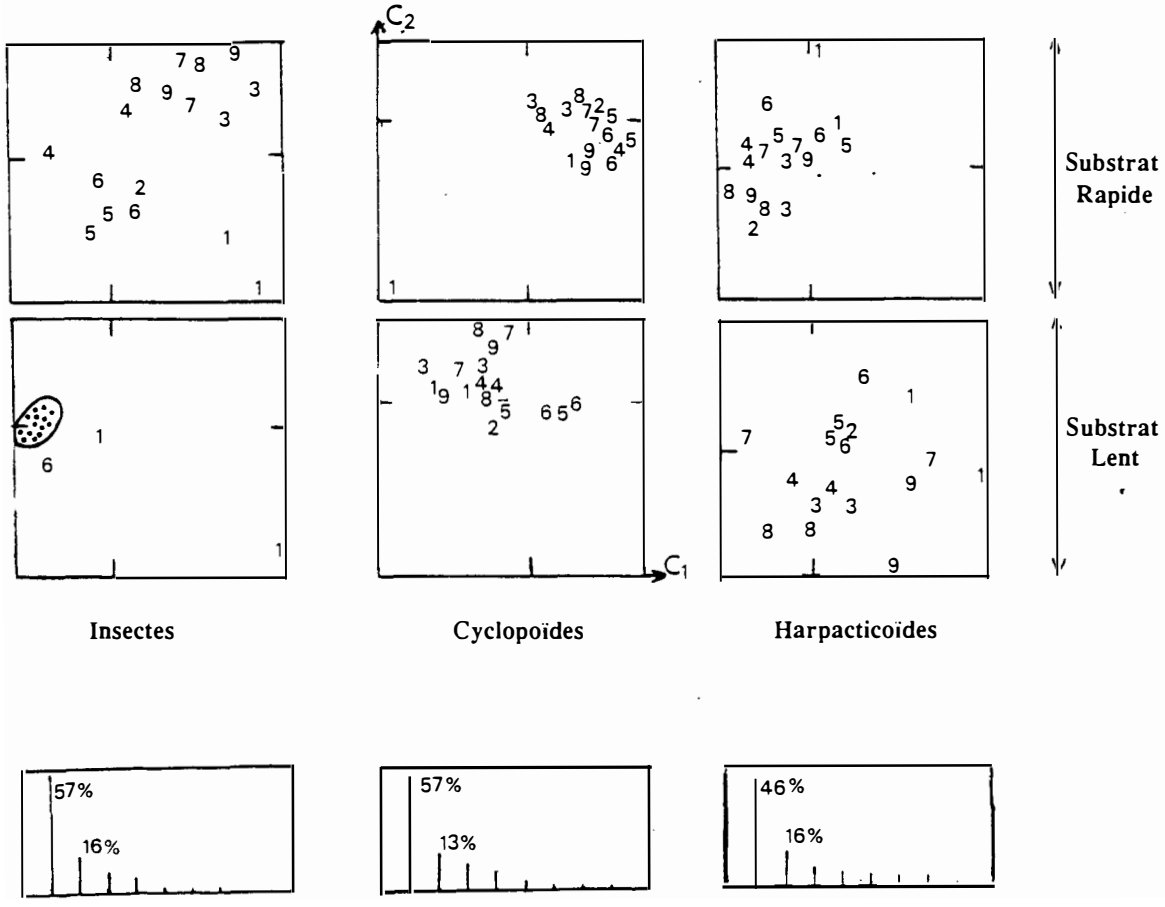


Figure 61 : Représentation graphique des résultats des trois ACPC réalisées sur les peuplements d'Insectes épigés, de Cyclopoïdes et d'Harpacticoïdes récoltés dans les substrats mensuels et bimestriels immergés dans la zone rapide (substrat rapide) ou lente (substrat lent) du ruisseau de l'évent de Foussoubie.
Dans les trois cas, seules les deux premières composantes (C1 et C2) contenant plus de 60% de l'information ont été retenues. Les prélèvements sont projetés sur le plan factoriel C1xC2.
Les peuplements sont de structures différentes selon le lieu d'immersion des appareils.

staphylinus a été récolté en grand nombre. Ces organismes peuplant probablement le ruisseau superficiel sont introduits sporadiquement dans le système souterrain pendant les périodes de hautes-eaux.

Le peuplement, échantillonné en période de basses-eaux, comprend des espèces épigées, *Bryocamptus typhlops*, *Atteyela crassa*, *Paracyclops schmeili*, *Bryocamptus echinatus* et *Elaphoidella cavatica*, espèce hypogée (ROUCH *in*- BOTOSANEANU, 1986) ; seules les deux dernières ont été récoltées tout au long de l'étiage. Il semble donc que l'espèce épigée (*B. echinatus*) a pu s'installer dans le système, comme elle l'a fait dans le karst à résurgence du Baget et ceci grâce à son caractère stygophile (ROUCH et CARLIER, 1985-a).

L'abondance relativement importante d'organismes capturés le 4/9/85 est sûrement à mettre en relation avec la quantité de sédiment contenu dans les substrats placés en zone lente (Fig. 60). En effet, les quantités de matières organique et minérale observées dans les appareils des deux séries relevées le 4/9/85 sont élevées par rapport à celles trouvées dans tous les autres substrats de 1 et 2 mois (fig. 60). Cette accumulation, qui est surtout observée dans les filets, provient probablement du raclage des sédiments lors du retrait des substrats. Ce phénomène a influencé uniquement le peuplement des Harpacticoïdes, organismes plus benthiques que les Cyclopoïdes.

1-4 RESUME.

Parmi les peuplements échantillonnés à l'évent de Foussoubie, on peut noter la présence :

- d'organismes épigés descripteurs du fonctionnement hydrologique qui montrent notamment l'influence de l'alimentation par les eaux d'infiltration du ruisseau de la Planche. Ces organismes, absents en période de basses-eaux, sont surtout représentés par les larves d'Insectes épigés ;
- d'organismes épigés qui semblent pouvoir s'installer à plus longue échéance dans le système ; il s'agit notamment de l'Harpacticoïde *B. echinatus* et des Cyclopoïdes *E. serrulatus*, *P. fimbriatus* et *M. viridis* qui sont capturés en étiage ;
- de taxons hypogés que l'on rencontre couramment dans le milieu souterrain et qui, comme l'Amphipode stygobie *Niphargus virei*, sont présents à l'évent de Foussoubie tout au long du cycle hydrologique ; il s'agit du Cyclopoïde *A. venustus* (stygophile) et de l'Harpacticoïde *E. cavatica* (stygobie). En revanche des organismes hypogés, comme *D. languidoïdes* (Cyclopoïde stygophile), *B. typhlops* (Harpacticoïde stygophile) et *Ceuthonectes sp.* (Harpacticoïde stygobie) n'ont été récoltés que rarement et ne peuvent donc être considérés comme des éléments prépondérants de la biocénose présente à l'évent de Foussoubie.

2 STRUCTURE DES PEUPLEMENTS EN PERIODE DE HAUTES-EAUX.

Les trois tableaux formés par les groupes d'Insectes épigés, de Cyclopoïdes et d'Harpacticoïdes ont été traités chacun par ACPC. Dans les trois cas, les deux premières composantes totalisent plus de 60% de l'information contenue dans chaque matrice : 73% pour les Insectes , 69% pour les Cyclopoïdes, 63% pour les Harpacticoïdes (Fig. 61). Les coordonnées factorielles des prélèvements ont été projetées sur le plan formé par les deux premières composantes. Cette représentation graphique confirme l'influence du lieu d'immersion des appareils sur les différents groupes faunistiques.

N°	RELEVES		D5	D3	D4	E1	P2	D2	D1	P1	E3	D7	D9	D10	D8	E2	N total
1	23/11/84	1M	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□		□		□
3	22/3/85	1M	□	□	□	□	□	□			□						□
9	9/5/86	2M	□	□	□			□				□			□		□
8	9/5/86	1M	□	□	□							□				□	□
7	14/4/86	1M	□	□	□		□			□				□			□
2	27/12/84	2M	□	□		□	□					□	□		□		□
4	26/4/85	2M	□	□	□											□	□
6	12/2/86	2M	□	□		□				□						□	□
5	12/2/86	1M	□	□	□	□	□			□			□				□

(A)

TAXONS

P= Plécoptères
P1 : larvules
P2 : *Nemoura sp.*
E= Ephéméroptères
E1 : larvules
E2 : *Ephemerella ignita*
E3 : Leptophlebiidae

D= Diptères
Chironomidae
D1 : Tanypodinae
D2 : Corynoneurinae
D3 : Orthocladiinae
D4 : Chironominae
D5 : larvules
D7 : Simulidae
D8 : ceratopogonidae
D9 : terrestres divers
D10: Stratiomidae

N°	RELEVES		E1	P2	P1	E2	D1	E3	D2	D9	D4	D8	D7	D10	D3	D5
1	23/11/84	1M	□	□	□		□	□	□	□	□	□	□		□	□
5	12/2/86	1M	□	□	□					□	□				□	□
6	12/2/86	2M	□		□	□									□	□
2	27/12/84	2M	□	□						□	□	□	□		□	□
3	22/3/85	1M	□	□				□	□		□				□	□
7	14/4/86	1M		□	□						□			□	□	□
4	26/4/85	2M				□					□				□	□
8	9/5/86	1M				□					□		□		□	□
9	9/5/86	2M							□		□	□	□		□	□

(B)

abondance	0	1	[2,3]	[4,7]	[8,15]	[16,31]	[32,63]	[64,127]	[128,255]	[256,511]	[512,1023]
classe		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
représentée par		□	□	□	□	□	□	□	□	□	□

Figure 62 : Classement des prélèvements en fonction de leur peuplement en larves d'Insectes épigés :
-A- selon les indications de la première composante de l'ACPC ;
-B- selon les indications de la deuxième composante de l'ACPC.

Selon la première composante, les relevés sont classés en fonction du nombre d'organismes qu'ils contiennent. Ainsi, se distinguent les prélèvements (1, 3, 7, 8, 9) riches en Chironomidae (larvules et/ou Orthocladiinae). Selon la deuxième composante, les prélèvements de printemps (3, 4, 7, 8, 9) sont séparés de ceux d'hiver caractérisés par la présence de Plécoptères et d'Ephéméroptères.

L'information maximale, traduite par une forte dispersion des points correspondant aux relevés sur le plan factoriel, est obtenue en zone rapide pour les Insectes et en zone lente pour les Cyclopoïdes et pour les Harpacticoïdes (Fig. 61).

1-1 LES INSECTES.

En fonction des résultats apportés par l'ACPC, le tableau des données peut être réorganisé. Les relevés et les taxons sont classés selon leur position sur l'axe factoriel considéré.

Dans un premier temps, la classification dans le tableau est inspirée de l'information fournie par la première composante (Fig. 62 A). Les larves d'Insectes permettent de discerner deux groupes de relevés. Le premier, constitué des prélèvements 1, 3, 7, 8 et 9, se distingue du second formé des relevés 2, 4, 5 et 6 par un nombre d'organismes élevé et notamment par une richesse plus forte en larvules de Chironomidae et/ou en Orthocladiinae (Fig. 62 A).

Dans un second temps, le tableau est agencé selon les informations apportées par la deuxième composante (Fig. 62 B). Les prélèvements sont alors groupés en fonction de la présence des larves de Plécoptères et/ou d'Ephéméroptères et de la quantité de larvules de Chironomidae et d'Orthocladiinae. Ainsi, sont séparés les relevés de printemps (séries 3, 4, 7, 8 et 9), riches en Diptères et relativement pauvres en Plécoptères et Ephémèroptères, de ceux réalisés en hiver qui offrent des caractéristiques faunistiques inverses.

Le peuplement de larves d'Insectes capturées à l'évent de Foussoubie est influencé dans son abondance et dans sa diversité par le facteur saisonnier. La série qui s'est achevée le 23/11/84 échappe à cette règle car, bien que riche en organismes et en espèces, elle n'en est pas moins un prélèvement d'hiver. L'évolution de la structure de ce peuplement d'Insectes peut être expliquée par les cycles biologiques des organismes. Dans ce but, ces prélèvements ont été effectués simultanément dans le ruisseau de la Planche, à proximité de la Goule, et à l'évent de Foussoubie (tab. 20).

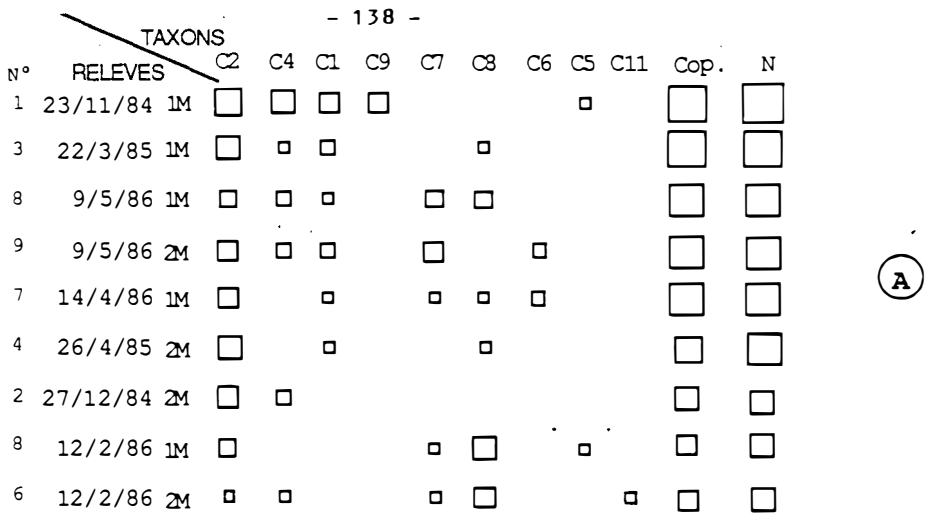
Tableau 20 : Présence des larves d'Insectes épigés dans les filtrages, réalisés le même jour à la goule (G) et à l'évent (E) de Foussoubie, et dans les substrats à l'évent (Es).

	Plécoptères			Ephéméroptères			Diptères (Orthocla.)			Coléoptères			Trichoptères		
date	G	E	Es	G	E	Es	G	E	Es	G	E	Es	G	E	Es
12/2/86	0	0	4	0	0	13	1	0	7	8	0	0	6	0	0
20/3/86	17	1	-	3	0	-	1604	1	-	1	0	0	7	0	0
14/4/86	154	6	3	4	0	0	267	1	4	7	0	0	12	0	0
9/5/86	52	0	0	29	6	1	1309	0	133	94	0	0	9	0	0

Ces données montrent que dans le ruisseau de la Planche, les Plécoptères sont nombreux en avril alors que les Ephéméroptères semblent être plus abondants en mai. Les larves de Chironomidae Orthocladiinae sont significativement présentes dès mars (tab. 20).

Ceci est comparable à ce que l'on peut observer dans la rivière Ardèche (DOLEDEC, 1986) car selon cet auteur :

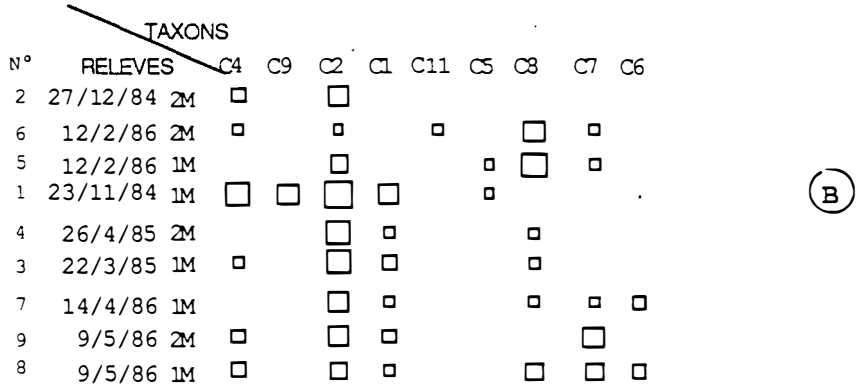
- les Ephémères *Ephemerella ignita* éclosent en février-mars et atteignent la fin de leur développement larvaire à partir de mai ;
- les Plécoptères du genre *Nemoura* sont des organismes présents en hiver et au début du printemps ;



Cop. = copépodites
N = nombre total de Cyclopoïdes.

TAXONS

C 1 *E. serulatus*
C 2 *P. fimbriatus*
C 4 *M. viridis*
C 7 *A. venustus*
C 8 *D. languidoïdes*
C11 *D. languidus*
C 5 *D. bicuspidatus*
C 6 *A. robustus*
C 9 *T. prasinus*



abondance	0	1	[2,3]	[4,7]	[8,15]	[16,31]	[32,63]	[64,127]	[128,255]	[256,511]	[512,1023]
classe		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
représentée par		□	□	□	□	□	□	□	□	□	□

Figure 63 : Classement des prélèvements en fonction de leur peuplement de Cyclopoïdes :
-A- selon les indications de la première composante de l'ACPC ;
-B- selon les indications de la deuxième composante de l'ACPC.

Selon la première composante, les relevés sont classés en fonction du nombre d'organismes qu'ils contiennent. Selon la deuxième composante les échantillons récoltés en hiver (sauf 1 : 23/11/84) se distinguent de ceux de printemps caractérisés par une forte abondance de P. fimbriatus.

- les Orthocladiinae sont capturés toute l'année mais montrent des minimum en été.

Ces décalages entre les cycles de développement de ces groupes semblent se répercuter sur les résultats obtenus à l'exutoire du système. Les Plécoptères sont plus nombreux en avril et les Ephéméroptères en mai. Le transit dans le système souterrain diffère donc selon les espèces. De plus pour un taxon donné, ce sont les stades les plus jeunes qui sont les plus sensibles à l'entraînement par le courant. Ce phénomène, signalé par DECAMPS et ROUCH (1973), est confirmé par les taux de présence des larvules de Plécoptères et d'Ephéméroptères à l'évent le 12/02/86 (tab. 21). L'absence de ces organismes dans les filtrats est une conséquence technique de la dimension des mailles employées pour les filtrages (tab. 21).

Tableau 21 : Pourcentage de larvules capturées à l'évent le 12/2/86 et importance du vide de maille utilisé.

		% dans la fraction 160µ-300µ			% de larvules par groupe		
date de relevé	durée	Plécop.	Ephémérop.	Diptères	Plécop.	Ephémérop.	Diptères
12/2/86	1mois	25	69	44	75	100	11
12/2/86	2mois	0	100	67	100	88	2

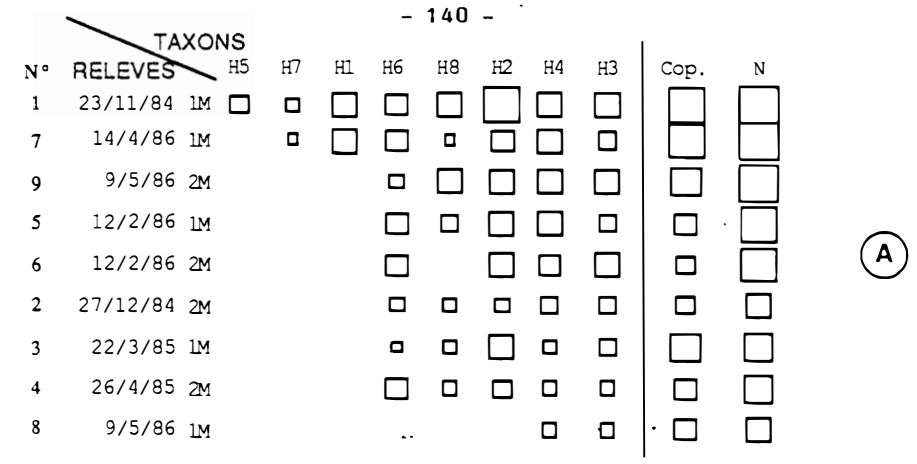
La présence des larves d'Insectes épigés est influencée par le rythme saisonnier auquel elles sont soumises dans le ruisseau épigé de la Planche. Les larves de Diptères et dans une moindre mesure celles de Plécoptères et d'Ephéméroptères sont assez bien transportées jusqu'à l'exutoire du système de Foussoubie. En ce qui concerne l'aspect quantitatif, notons que l'énorme différence d'abondance entre les échantillons de la Goule et ceux de l'évent est en accord avec celle observée entre l'entrée et l'exutoire du karst à résurgence du Baget. En effet, DECAMPS et LAVILLE (1975) montrent que lors des crues, seulement 10% des organismes transitent totalement à travers le système.

1-2 LES CYCLOPOIDES.

En procédant d'une façon analogue, les prélèvements de Cyclopoïdes peuvent être classés en fonction de leur composition spécifique.

Un premier agencement du tableau des données est donc réalisé d'après la position des taxons et des relevés sur le premier axe. Il apparaît alors que les prélèvements sont ordonnés en fonction du nombre de Crustacés qu'ils contiennent (Fig. 63 A). Les prélèvements de printemps et celui du 23/11/84 sont les plus riches en organismes.

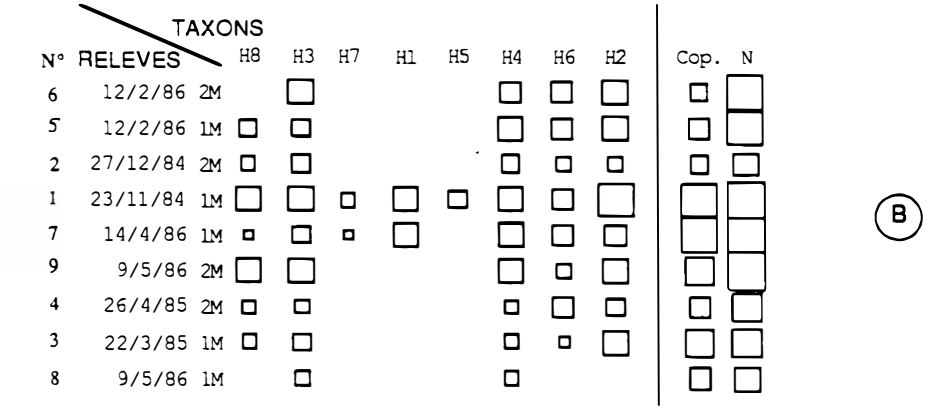
Une seconde organisation du tableau est réalisée à partir des coordonnées des taxons et des prélèvements sur la deuxième composante principale de l'ACPC (Fig. 63 B). Les échantillons obtenus en hiver sont séparés de ceux de printemps, caractérisés par la présence d' *E. serrulatus* et par la forte abondance de *P. fimbriatus*. Les relevés du 23/11/84 se rapprochent de ceux de printemps aussi par l'aspect qualitatif de leur peuplement.



Cop. = Copépodites
N = nombre total d'Harpacticoïdes.

TAXONS

H1 *C. staphylinus*
H2 *B. typhlops*
H3 *A. crassa*
H4 *P. schmeili*
H5 *M. varica*
H6 *E. cavatica*
H7 *Ceuthonectes sp.*
H8 *B. echinatus*



abondance	0	1	[2,3]	[4,7]	[8,15]	[16,31]	[32,63]	[64,127]	[128,255]
classe		1	2	3	4	5	6	7	8
représentée par									

Figure 64 : Classement des prélèvements en fonction de leur peuplement d'Harpacticoïdes :
-A- selon les indications de la première composante de l'ACPC ;
-B- selon les indications de la deuxième composante de l'ACPC.

Selon la première composante, les relevés sont classés en fonction du nombre d'organismes qu'ils contiennent. Selon la deuxième composante les prélèvements de printemps ne se distinguent des autres que par une plus grande richesse en stades copépodites.

1-3 LES HARPACTICOIDES.

La réorganisation du tableau "relevés/faune" est faite d'après les coordonnées factorielles des taxons et des relevés sur la première composante. Les prélèvements sont alors ordonnés en fonction du nombre de Crustacés Harpacticoïdes qu'ils contiennent (Fig. 64 A). Contrairement à ce qui a été observé pour les larves d'Insectes et les Cyclopoïdes, les prélèvements de printemps ne sont pas les plus riches en organismes. En revanche, les substrats de novembre 1984 sont très peuplés.

La deuxième composante regroupe les relevés en fonction des saisons (fig. 64 B), ceux de printemps étant plus riches proportionnellement en stades copépodites. Les espèces quant à elles ne semblent pas montrer de rythme biologique en rapport avec le facteur saisonnier.

2-4 RESUME.

Au cours des périodes de hautes-eaux, la structure des peuplements de Cyclopoïdes, d'Harpacticoïdes et de larves d'Insectes épigés est résumée par l'**abondance faunistique**. Celle-ci est régie par le **rythme saisonnier** qui influence le cycle de développement des communautés de Cyclopoïdes et d'Insectes. Ainsi les densités les plus importantes de ces organismes sont obtenues au cours du printemps (tab. 22), le prélèvement d'hiver (du 23/11/84) faisant exception. Les Harpacticoïdes, les Gastéropodes stygobies (*H. minuta globulina, B. articense, P. vervieri, M. locardi, M. puteana*) et l'Amphipode *N. virei* semblent échapper à cette dynamique (tab. 22).

Durant ces périodes de hautes-eaux, les peuplements échantillonnés à l'évent de Foussoubie présentent une dynamique s'expliquant en partie par l'influence du rythme des saisons pour les organismes épigés. Cependant, il convient de prendre en considération les conséquences à court et à long termes des crues, éléments prépondérants dans le fonctionnement hydrologique du système.

3 ROLE DES CRUES.

Les conséquences des effets hydrauliques sur la structure des peuplements à l'évent de Foussoubie, peuvent être saisies à deux niveaux de perception : la **crue** et le **cycle hydrologique**.

3-1 ANALYSE FAUNISTIQUE AU COURS DE LA CRUE DU 28-29/01/1986.

Une analyse faunistique a été effectuée lors de la crue qui s'est déroulée du 28 au 29/01/1986. Rappelons que cet épisode hydrologique est survenu après un étiage exceptionnellement long au cours duquel le ruisseau de la Planche, ainsi que la source de Foussoubie, étaient à sec (planche 8).

Tableau 22 : Classement des prélèvements en fonction de l'abondance des différents taxons. Les prélèvements d'hiver sont encadrés.

CYCLOPOIDES	INSECTES	HARPACTICOIDES	GASTEROPODES STYGOBIES	AMPHIPODES STYGOBIES
282	253	184	11	92
113	218	118	9	81
121	178	103	7	63
121	133	52	6	62
109	82	45	4	47
77	32	43	3	42
30	26	42	3	33
27	23	40	2	25
23	17	18	1	5

Détail des dates de prélèvements et durées d'immersion

CYCL.	INS.	HARP.	GAST.	AMPH.
1	3	1	1	7
3	1	9	6	6
9	9	7	5	5
8	7	6	7	1
7	8	5	2	9
4	6	3	9	8
2	5	2	4	3
5	2	4	8	4
6	4	8	3	2

N°	Date des relevés	Durée d'immersion
1	23/11/84	1m
2	27/12/84	2m
3	22/3/85	1m
4	26/4/85	2m
5	12/2/85	1m
6	12/2/85	2m
7	14/4/86	1m
8	9/5/86	1m
9	9/5/86	2m

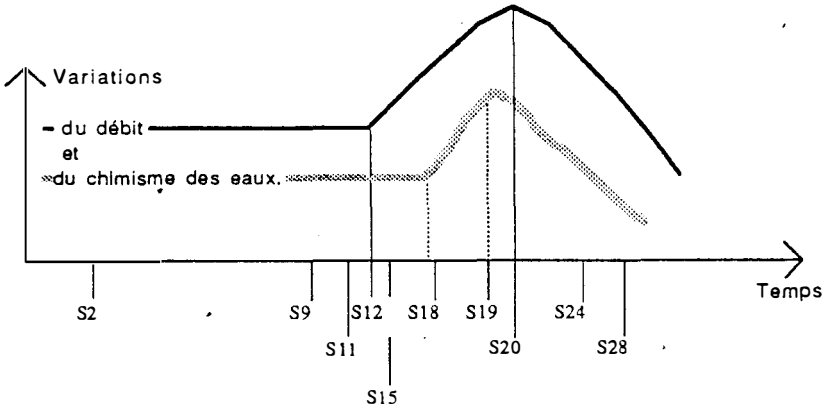


Figure 65 : Situation des relevés faunistiques en fonction des grandes étapes hydrologiques de la crue du 28-29/01/86.

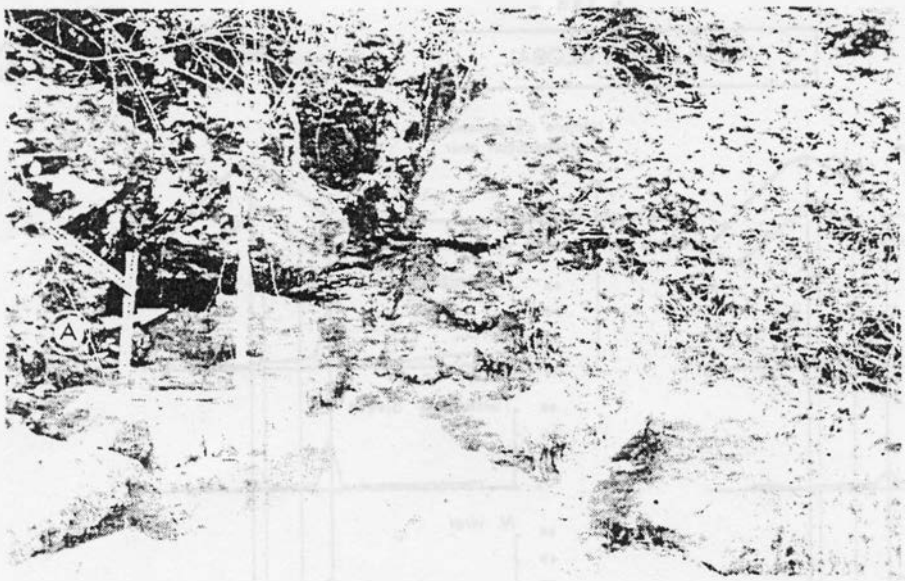


Photo 1

Photo 2

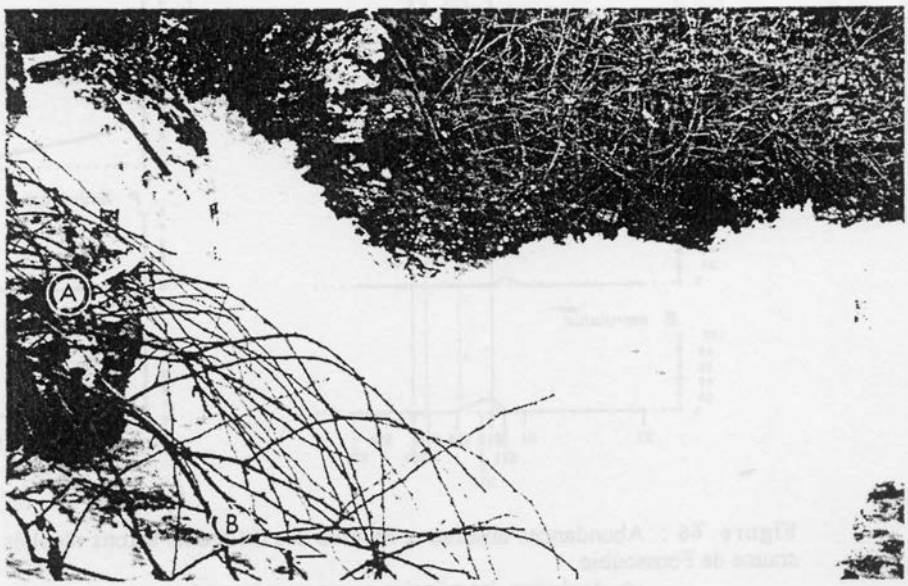


Photo 3

Planche 8 : La source de Foussoubie n'a pas présenté d'écoulement durant l'été et l'automne 1985 (**photo. 1**). Cette période d'assec a pris fin avec la crue du 28 janvier 1986. Lors de cette crue, le filet de dérive est placé au lieu indiqué en **A** sur la **photo. 2** pour les premiers prélèvements. Puis, la brusque montée du débit a nécessité le déplacement du filet hors de la veine d'eau principale (A) vers le point désigné **B** sur la **photo. 3**.

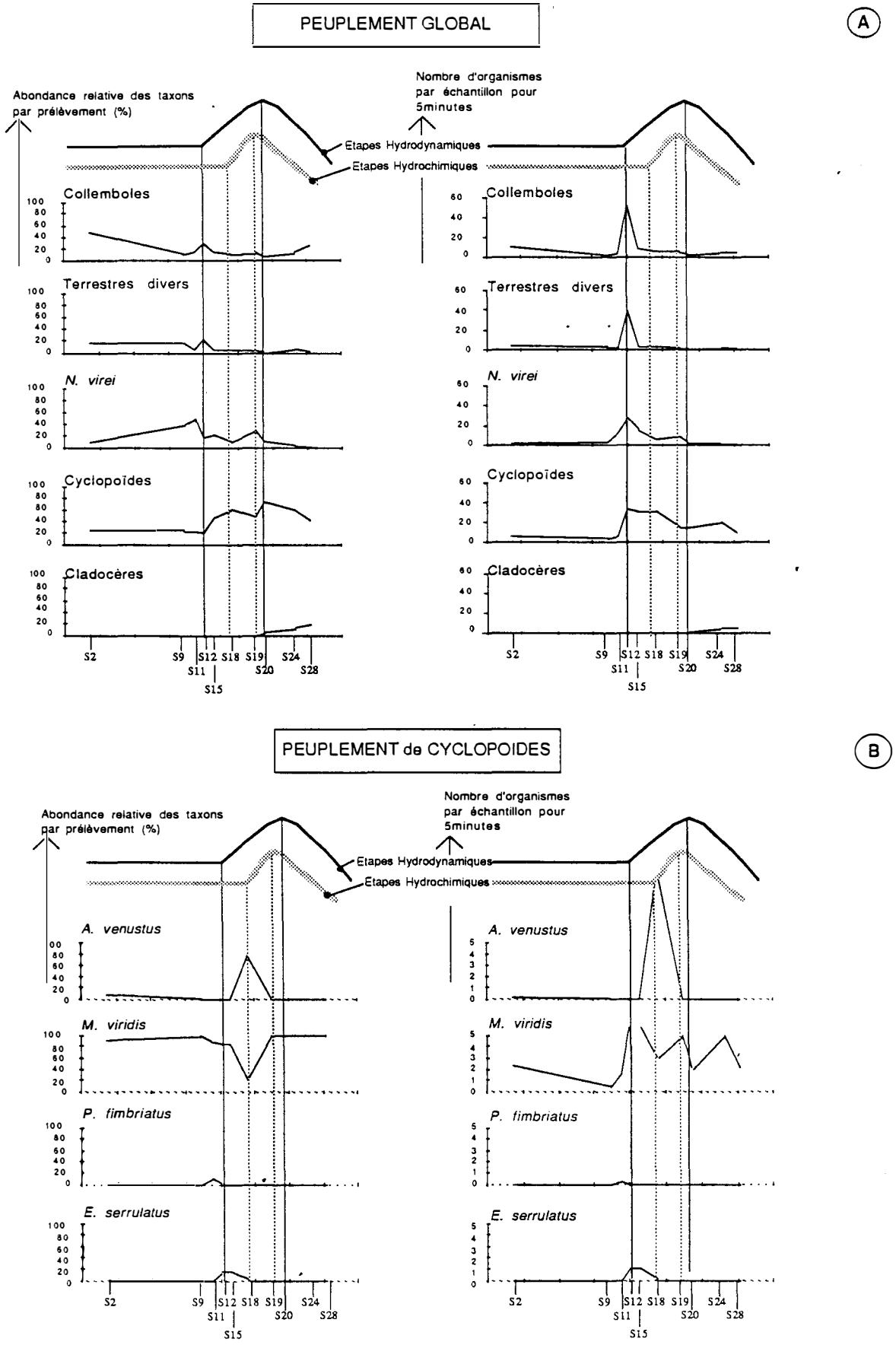


Figure 66 : Abondances absolue et relative des différents taxons récoltés au cours de la crue du 28-29/01/86 à la source de Foussoubie :

-A- évolution des principaux groupes faunistiques ;

-B- évolution des différentes espèces de Cyclopoïdes.

Une des principales action immédiate de la crue est "l'effet de chasse" des organismes qui se produit avant le maximum de débit. La crue intensifie le rôle de l'eau comme transporteur d'espèces épigées dans le système souterrain. La dominance de M. viridis dans le peuplement de Cyclopoïdes expulsé par la crue montre que cette espèce épigée est bien installée dans le milieu souterrain.

3-1-1 Plan et méthode d'échantillonnage.

Les prélèvements doivent être situés par rapport aux grandes étapes hydrodynamiques et hydrocinématiques de cette crue (fig. 65). L'échantillonnage a débuté à 13h40, alors que les écoulements avaient repris à la source (planche 7). Les prélèvements S2, S9 et S11 ont été effectués lors de la légère montée de débit (de 13h40 à 19h10). Les échantillons S12, S15, S18, S19 et S20 ont été réalisés pendant l'importante augmentation de débit qui a débuté vers 19h35 et a atteint son maximum vers 22h30 (planche 8). Les prélèvements S24 et S28 concernent la période de décrue.

Ainsi, les relevés de S2 à S19 correspondent à l'écoulement des eaux de réserve. En revanche, ceux de S20 à S28 ont été effectués lors du passage des eaux du ruisseau de la Planche.

Les analyses portent sur les eaux émergeant à la source de Foussoubie. Elles n'ont pu être menées à l'évent de Foussoubie, ce dernier ayant très été vite noyé. Le filet à d'abord été placé près du griffon (lieu A ; planche 8) pendant des périodes d'environ 20 minutes. Puis, suite à la brusque montée de débit, le filet n'a pu être maintenu à cette place du fait de la force du courant. Il a été positionné plus à l'aval (lieu B ; planche 8) et pendant des périodes de 5 minutes (tab. 23). Les données seront donc présentées en nombre d'individus pour 5 minutes et en abondance relative des taxons par échantillon.

Tableau 23 : Situation dans le temps (heure et durée) et dans l'espace (lieu) des relevés effectués lors de la crue du 28/01/86.

numéro	de	à	durée	lieu
S2	13h40	14h10	30	A
S9	17h45	18h10	25	A
S11	18h45	19h10	25	A
S12	19h35	19h40	5	A
S15	20h	20h05	5	B
S18	20h50	20h55	5	B
S19	22h00	22h05	5	B
S20	22h25	22h30	5	B
S24	23h50	23h55	5	B
S28	0h50	1h00	5	B

3-1-2 Analyse des résultats.

3-1-2-1 Ensemble des taxons.

Les mailles du filet utilisé étant de 300µ, l'absence des Harpacticoïdes dans les prélèvements est donc normale du fait de leur faible taille (annexe 12). L'échantillonnage étant sélectif, il faut donc tenir compte de la méthode utilisée dans l'interprétation des résultats.

Les principaux taxons récoltés sont les Crustacés Cyclopoïdes, Amphipodes et Cladocères, les Collemboles et les autres organismes terrestres qui ont été regroupés dans la catégorie "Terrestres divers" (annexe 12).

Les abondances relatives et absolues des Collemboles et des Terrestres divers montrent un maximum qui correspond à la brusque montée des eaux (fig. 66 A). Ces organismes ont été soumis à un phénomène de chasse provoqué par l'arrivée d'importantes masses d'eau dans des parties du réseau non noyé.

Tableau 24 : Présence des Cladocères à l'évent de Foussoubie du 10/10/84 au 9/05/86.

CLADOCERES A L'EVENT DE FOUSSOUBIE					
SUBSTRATS			FILTRAGES		
relevés le	durée	N	effectués le	N/3H	
			10/10/84	0	
			1/11/84	21	
23/11/84	1m	9	23/11/84	1	
27/12/84	2m	0			
			5/2/85	1	
			12/2/85	1	
			27/2/85	0	
22/3/85	1m	3	22/3/85	1	
26/4/85	2m	0	26/4/85	0	
			27/5/85	0	
			19/6/85	0	
			26/6/85	0	
			10/7/85	0	B
31/7/85	1m	0	31/7/85	0	A
4/9/85	1m	0	4/9/85	0	S
4/9/85	2m	0			S
2/10/85	1m	0	2/10/85	0	E
			26/10/85	0	S
27/11/85	1m	0	27/11/85	0	E
			5/12/85	0	A
			9/12/85	0	U
8/1/86	1m	0	8/1/86	0	X
12/2/86	1m	0	12/2/86	0	
12/2/86	2m	0			
			26/2/86	0	
			5/3/86	0	
			20/3/86	0	
14/4/86	1m	0	14/4/86	0	
9/5/86	1m	0	9/5/86	0	
9/5/86	2m	0			

Tableau 25 : Présence des Cladocères à la source de Foussoubie du 16/11/84 au 9/05/86.

CLADOCERES A LA SOURCE DE FOUSSOUBIE		
Dates des filtrages	Nombre de Cladocères	Caractéristique hydrologique
16/11/84	0	
21/12/84	7	CRUE
27/12/84	0	
5/2/85		
6/3/85	11	
	2	
	8	C
	13	R
	2	U
	6	E
	9	
22/3/85		
26/4/85		
27/5/85		
19/6/85		
22/7/85		
31/7/85	0	
12/2/86		
26/2/86		
5/3/86		
20/3/86		
14/4/86		
9/5/86		

Cette crue a aussi entraîné les Crustacés aquatiques comme les Cyclopoïdes et l'Amphipode *N. virei*, leurs abondances absolues montrant un maximum pour le prélèvement S12 (fig. 66 A). En revanche, la représentativité de ces Crustacés, traduite par leur abondance relative dans les prélèvements, est très inférieure à celle des organismes terrestres pour ce prélèvement (fig. 66 A).

L'évolution "parallèle" des Cyclopoïdes et des Amphipodes s'arrête après le début de la montée des eaux. Les abondances absolue et relative de l'Amphipode diminuent en fluctuant, puis deviennent très faibles après le maximum enregistré par la chimie qui signale l'arrivée des eaux de surface. Les Cyclopoïdes quant à eux, décroissent en nombre et par paliers après le prélèvement S12, alors que leur abondance relative croît jusqu'au maximum de débit puis baisse légèrement.

Cette diminution de la représentativité des Cyclopoïdes et des Amphipodes après l'arrivée des eaux de la Planche correspond à l'apparition des Cladocères. Les abondances absolue et relative de ce groupe de Crustacés croissent à partir de S20 (fig. 66 A). Cette simultanéité entre l'apparition des eaux de la Planche et celle des Cladocères est en accord avec le fait que leur présence dans l'évent n'a pas été observée en étiage et qu'à de rares occasions en périodes de hautes-eaux (tab. 24). Ceci est confirmé par le fait que parmi les prélèvements effectués à la source de Foussoubie, seuls ceux du 21/12/84 et du 6/3/85, réalisés au cours d'une crue, contiennent des Cladocères (tab. 25). Ainsi, ces organismes n'appartiennent pas au peuplement permanent du système souterrain. Puisqu'ils ne font pas partie des quelques hypogés de ce groupe de Crustacés (DUMONT, 1987), ils peuvent être considérés comme caractéristiques des eaux de la Planche.

En résumé, la **brusque montée des eaux entraîne le lessivage de nombreux habitats du système**, poussant jusqu'à l'exutoire les organismes, notamment des espèces terrestres (+ de 40% du peuplement en S12) mais aussi des espèces aquatiques. Les eaux de ruissellement de la Planche introduisent dans le système des organismes, tels que les Cladocères. Comme l'a montré MOESCHLER (1982) dans une résurgence alimentée par un lac, ces organismes peuvent être considérés comme des traceurs de l'alimentation par des eaux d'origine épigée. L'absence des larves d'Insectes épigés est à mettre en relation, d'une part avec l'assec prolongé du ruisseau de la Planche et d'autre part avec l'emploi de filets à vide de maille trop important pour filtrer les larvules présentes à cette époque.

Le groupe des Cyclopoïdes suit les principales étapes hydrodynamiques et hydrocinématiques de cette crue ; aussi il paraît intéressant de connaître l'évolution des différentes espèces présentes.

3-1-2-2 Evolution des espèces de Cyclopoïdes.

Les quatre espèces observées au cours de la crue, *A. venustus* et *M. viridis* (les plus nombreuses) accompagnées de *P. fimbriatus* et de *E. serrulatus* font partie de celles qui sont installées dans le système souterrain (cf. § 1-2). L'évolution de *A. venustus* est liée à l'arrivée des eaux de réserve du karst poussées par celles du ruisseau de la Planche (fig. 66 B). Ses abondances absolue et relative passent de zéro à un maximum, au moment de l'arrivée à l'exutoire des eaux bien minéralisées du système, puis retournent à des valeurs nulles avec le passage des eaux épigées.

En dehors de cet intervalle, *M. viridis* domine le peuplement de Cyclopoïdes. Cette espèce est influencée par la brusque augmentation de débit ; aussi les individus capturés en S12 sont-ils plus nombreux (fig. 66 B). Suite à ce prélèvement les quantités de *M. viridis* fluctuent en restant supérieures à celles obtenues dans les premiers relevés.

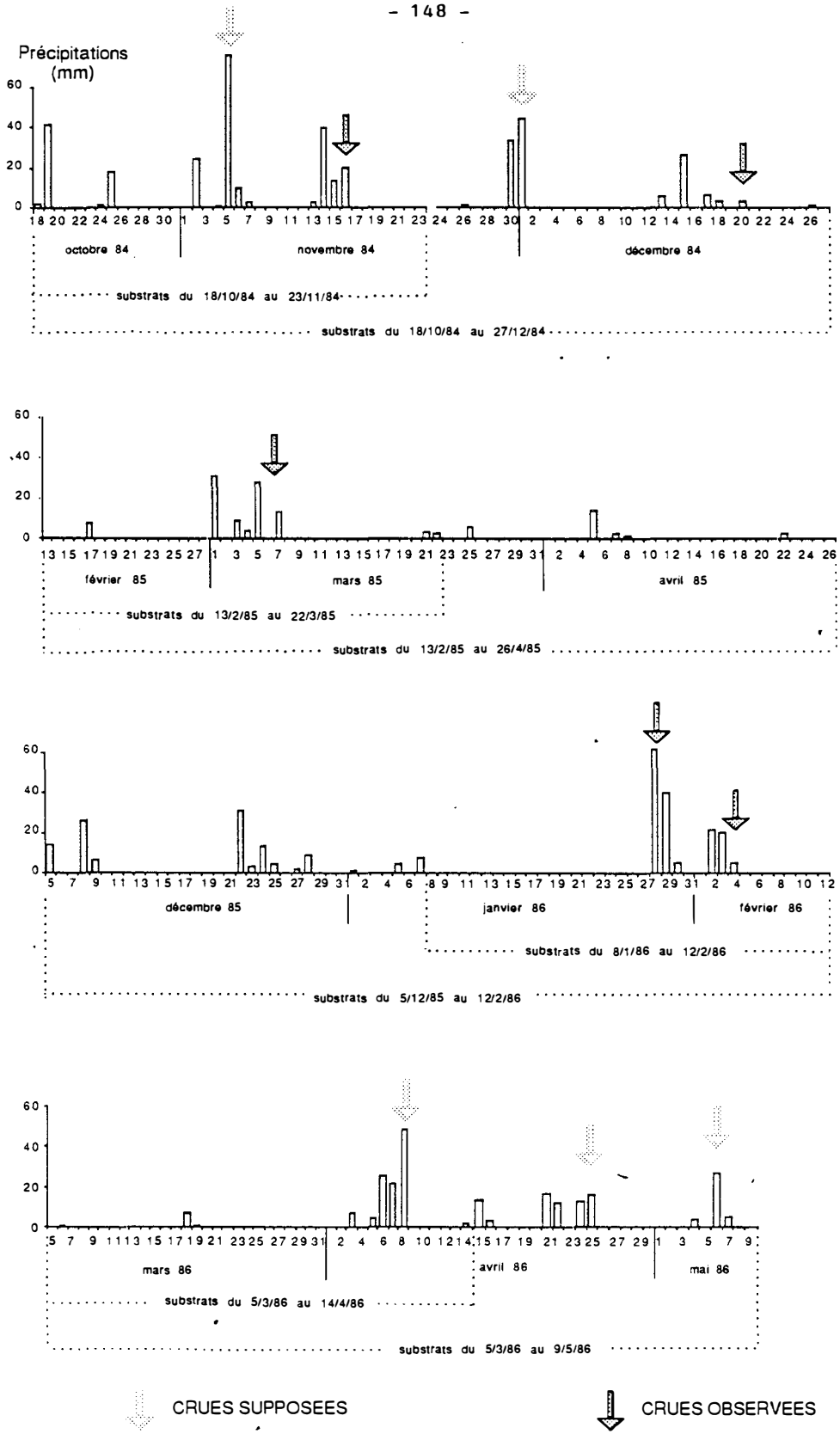


Figure 67 : Evolution des précipitations journalières au cours des périodes d'immersion des substrats artificiels mensuels et bimestriels à l'évent de Foussoubie. Situations des crues observées et supposées.

Une relation a pu être mise en évidence entre certaines crues observées et la pluviosité des jours précédents. Ce lien a permis de supposer l'existence des crues n'ayant pas pu être constatées.

P. fimbriatus et *E. serrulatus* n'apparaissent que faiblement : en S11 pour la première citée et en S12 pour la seconde.

Parmi ces espèces, *M. viridis* considérée comme épigée domine le peuplement des Cyclopoïdes dérivant pendant cet événement hydrologique. *A. venustus* , bien que stygophile, est moins présente et ses variations au cours de la crue indiqueraient qu'elle est implantée dans les réserves du système ou bien qu'elle se comporte comme un organisme plus benthique. Dans ce cas, les individus auraient été entraînés avec les sédiments mis en suspension lors de l'arrivée des eaux de la Planche (cf. 1 partie).

3-1-3 Actions directes de la crue.

Cette analyse faunistique a permis de mettre en évidence plusieurs conséquences directes de la crue du 28-29/01/86 sur les biocénoses du système souterrain de Foussoubie. Un des aspects principaux est **l'effet de chasse** avant le maximum de débit, phénomène souvent observé lors des crues des systèmes karstiques (ROUCH 1972, 1974 ; MOESCHLER, 1982 ; GIBERT, 1986). Cette action est importante car elle permet la **dispersion des organismes** dans le système qu'ils soient terrestres (ils constituent alors un apport énergétique) ou aquatiques.

Les résultats confirment que la crue intensifie le rôle de l'eau comme "**transporteur**" d'organismes épigés, ici les Cladocères, dans le système souterrain. Leur présence correspond à une moindre représentation, voire à l'absence, des organismes hypogés comme *N. virei* et *A. venustus*.

La présence permanente d'espèces considérées comme épigées, telle que *M. viridis*, montre leur bonne implantation dans le milieu souterrain.

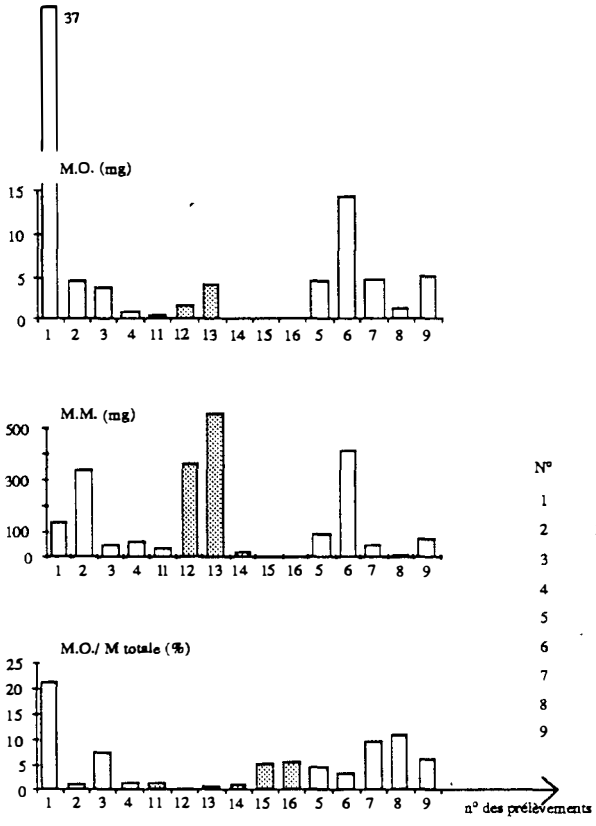
Après la vérification de ces quelques aspects des conséquences instantanées des crues, leurs effets à long terme sur le système écologique de Foussoubie peuvent être maintenant abordés.

3-2 IMPACT A LONG TERME DES CRUES SUR LES PEUPLEMENTS A L'EVENT DE FOUSSOUBIE.

Pour essayer d'apprécier les conséquences à long terme des crues sur les peuplements, il est nécessaire de connaître les éventuelles crues auxquelles les substrats ont été soumis, ainsi que la durée séparant l'épisode hydrologique et le retrait des appareils.

3-2-1 Détermination des "crues" précédant le retrait des substrats.

Certaines crues ont été observées directement au cours des sorties sur le terrain. Dans ce cas, il est possible de définir précisément l'intervalle de temps précédant le retrait des substrats. C'est ainsi que pour 4 séries, les crues qui précèdent le retrait des appareils sont connues (tab. 26).



N°	prélèvement du:
1	18/10/84 au 23/11/84
2	18/10/84 au 27/12/84
3	13/02/85 au 22/3/85
4	13/02/85 au 26/4/85
5	8/01/86 au 12/02/86
6	5/12/85 au 12/02/86
7	5/03/86 au 14/04/86
8	14/04/86 au 9/05/86
9	5/03/86 au 9/05/86

N°	prélèvement du:
11	26/06/85 au 31/07/85
12	31/07/85 au 4/09/85
13	26/06/85 au 4/09/85
14	4/09/85 au 2/10/85
15	26/10/85 au 27/11/85
16	15/12/85 au 8/01/86

Figure 68 : Evolution des quantités absolues et relatives de matière organique (M.O.) et de matière minérale (M.M.) présentes dans les substrats mensuels et bimestriels immergés à l'évent de Foussoubie.

Tableau 26: Nombre de crues observées auxquelles ont été soumis les substrats mensuels et bimestriels pendant leur immersion. Durée séparant le jour où la crue a été observée et le jour où les appareils ont été retirés de l'eau.

Date de retrait des substrats	Nombre de crues connues auxquelles ils ont été soumis	Intervalle de temps entre la crue et le retrait des appareils
23/11/1984	1	7 jours
27/12/1984	1	7 jours
22/03/1985	1	15 jours
12/02/1986	2	7 et 14 jours

En fonction de ces épisodes hydrologiques connus et des conditions météorologiques qui ont régné les jours précédents, on peut envisager de définir qu'elle peut être la pluviosité optimale qui déclenche ces crues (fig. 67).

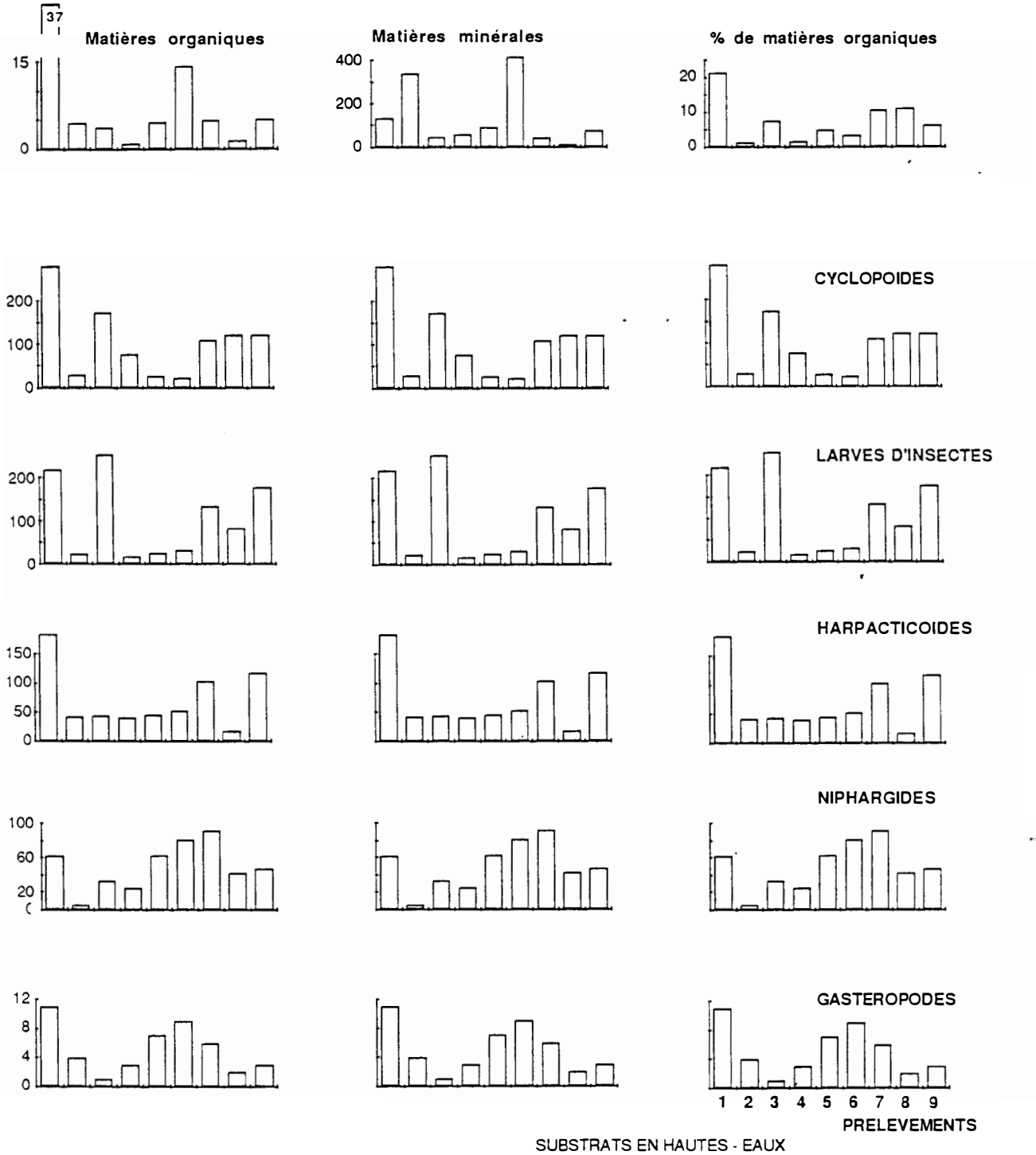
Les crues des 16/11/84, 20/12/84, 06/03/85 et 04/02/86 ont été précédées de quelques journées relativement pluvieuses (entre 10 et 30 mm par jour). En revanche, celle du 28/01/86 s'est déclenchée à la fin d'une journée de précipitations plus intenses (plus de 60 mm en une journée). Il faut également considérer l'état des réserves du système. En effet, les précipitations qui ont eu lieu du 21 au 27 décembre après l'important déficit hydrique de l'automne 1985 n'ont pas provoqué de brusque augmentation de débit. Ces résultats non chiffrés sont basés sur des observations en continu durant cette période.

Cependant, la probabilité d'existence d'un tel épisode hydrologique au cours de la période d'immersion des substrats peut être déduite des conditions pluviométriques. En plus des crues observées, une liste des crues probables, qui se seraient déroulées au cours du mois précédant le retrait des substrats, peut être dressée (tab. 27).

Tableau 27 : nombre de crues observées et probables (déduites de la pluviométrie) qui sont survenues au cours du mois précédant le retrait des substrats artificiels. Indication de la durée séparant la crue et le retrait des substrats.

dates de retrait des substrats	durée d'immersion	crues observées		crues hypothétiques	
		nombre	nbre de jours avant le retrait	nombre	nbe de jours avant le retrait
23/11/84	1m	1	7	1	18
27/12/84	2m	1	7	1	26
22/3/85	1m	1	15		néant
26/4/85	2m		néant		néant
12/2/86	1m	2	7 et 14		néant
12/2/86	2m	2	7 et 14		néant
14/4/86	1m		néant	1	6
9/5/86	1m		néant	2	3 et 14
9/5/86	2m		néant	3	3,14 et 30

Le calendrier des crues ainsi établi va permettre d'observer leur impact sur les peuplements de l'évent de Foussoubie. Avant ceci, les caractéristiques qualitatives des crues et notamment leur action hydraulique seront estimées.



SUBSTRATS EN HAUTES - EAUX

N°	date des relevés	durée d'immersion
1	23/11/84	1m
2	27/12/84	2m
3	22/3/85	1m
4	26/4/85	2m
5	12/2/86	1m
6	12/2/86	2m
7	14/4/86	1m
8	9/5/86	1m
9	9/5/86	2m

Figure 69 : Abondances absolues et relatives des matières organique (M.O.) et minérale (M.M.) et abondances absolues des différents groupes systématiques des peuplements hypogés et épigés dans les substrats mensuels et bimestriels immergés à l'évent de Foussoubie.

Les matières particulaires permettent de connaitre l'action mécanique des crues et ainsi de comprendre l'évolution des peuplements épigés et hypogés pendant les hautes-eaux.

3-2-2 Caractéristiques qualitatives des crues.

Les matériaux inertes, qui ne réagissent pas activement aux forces hydrauliques, peuvent donner de bonnes indications sur le mode d'action mécanique des crues. Dans ce but, il est pertinent d'examiner les quantités de matières particulaires (> 160µ) constituées de matières minérales (M.M.) et organiques (M.O.). Celles-ci peuvent s'accumuler différemment dans les substrats artificiels ; ce phénomène est montré par les variations des pourcentages de matières organiques par rapport aux matières totales pour chaque série (fig. 68).

Les substrats artificiels mensuels relevés le 23/11/84 et bimestriels immergés jusqu'au 27/12/84 ont été soumis à une crue le 16/11/84. Les appareils exondés en décembre ont subi une autre crue le 20/12/84. Les substrats de ces deux séries qui ont été exposés aux mêmes conditions hydrauliques le 16/11/84, ne présentent pas les mêmes teneurs en matières particulaires. Les appareils mensuels sont riches en matière organique alors que ceux de la série relevée le 27/12/84 présentent des pourcentages faibles de matière organique, mais une quantité absolue de matière minérale supérieure (fig. 68)(il faut noter que pour cette série seulement deux substrats ont été récupérés).

Ainsi, la crue du 16/11/84 aurait provoqué une "**accumulation**" des débris organiques dans les substrats et donc dans ceux de la série bimestrielle. Celle du 20/12/84 aurait eu une action mécanique de "**lessivage**" de la matière organique (matériaux légers) et un effet de remise en suspension des matières lourdes (matières minérales).

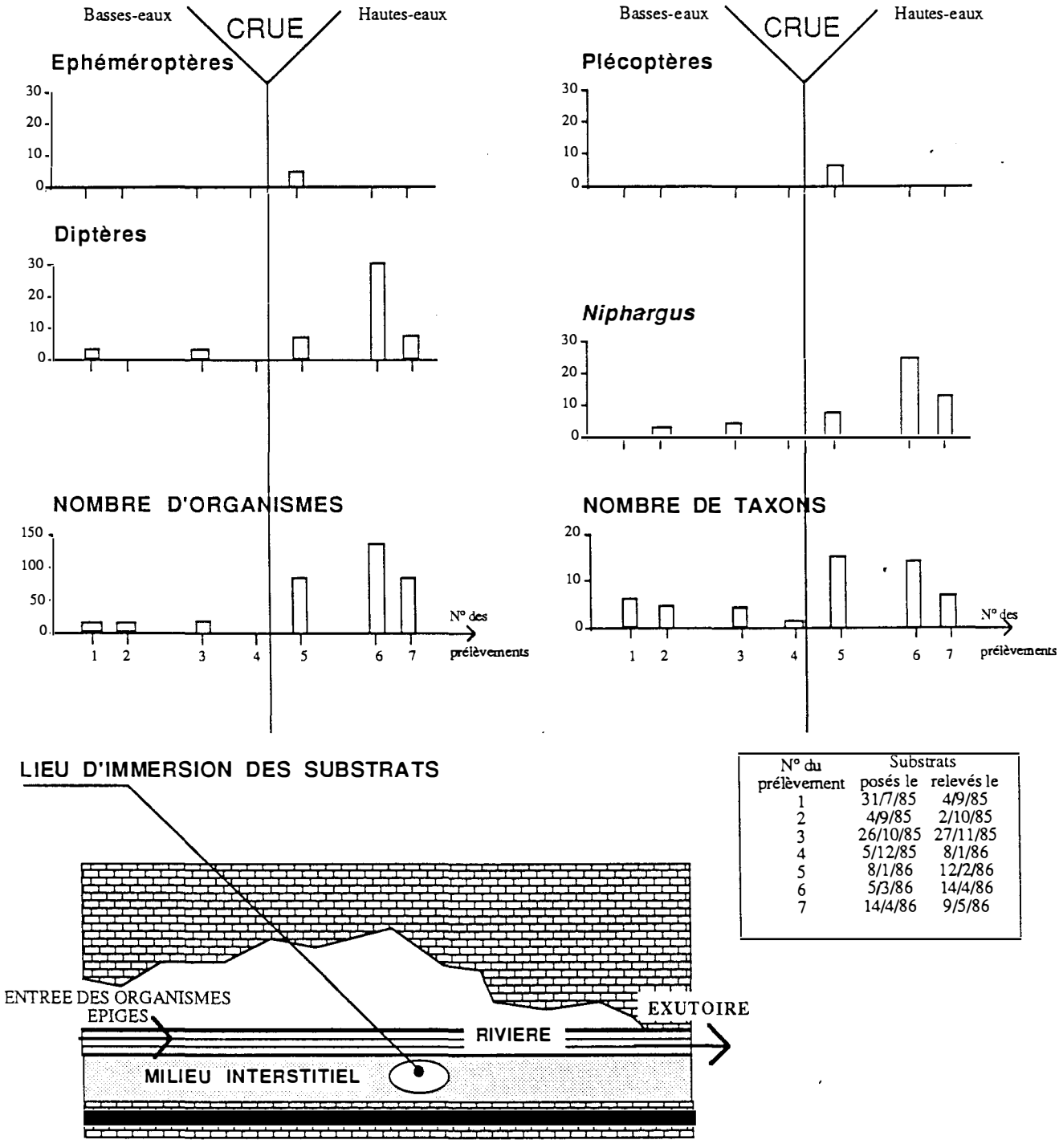
Contrairement à ceci, les appareils relevés le 26/4/85, qui n'ont pas subi de crues dans les 30 jours précédents, ne contiennent que de faibles quantités de matières organiques et de matières minérales (Fig. 68). Cette série se rapproche de celles effectuées en étiage, hormis les deux qui se sont achevées le 4/09/85 et qui ont piégé les matériaux lors de leur retrait (cf § 1-3).

Les crues peuvent donc avoir plusieurs types opposés d'action sur la composition des habitats du milieu souterrain. Elles peuvent provoquer soit "**l'accumulation**" soit le "**lessivage**" des matières particulaires.

Ces deux effets différents peuvent être en partie expliqués par la rivière Ardèche. En effet, lorsqu'elle est elle-même en crue, du fait de l'élévation de son niveau, celle-ci peut jouer le rôle d'un barrage pour les eaux d'écoulement du karst, dont les vitesses de circulation sont alors ralenties : dans ce cas, les matériaux transportés par les eaux souterraines peuvent se déposer. En revanche, en période de décrue, la rivière ne fait plus obstacle aux eaux souterraines qui possèdent alors une compétence plus importante, propice au transport des matériaux.

3-2-3 Les crues et les peuplements de l'évent de Foussoubie.

Le rythme saisonnier, qui influence la structure des peuplements des larves d'Insectes épigés et des Cyclopoïdes, ne suffit pas à expliquer toutes les différences observées entre les relevés au cours du cycle hydrologique. Ainsi, le prélèvement du 26/04/85 est pauvre en Insectes et en Cyclopoïdes (fig. 69), ce qui le rapproche des échantillons hivernaux. En revanche, les substrats relevés le 23/11/84, en période hivernale, regroupent beaucoup de ces organismes (fig. 69). Ceci s'explique par le fait que les appareils retirés le 26/04/85 n'ont subi aucune perturbation hydraulique, alors que ceux émergés le 23/11/84 ont été soumis à une crue très importante qui aurait eu une action "d'accumulation" de matières organiques et d'organismes (fig. 69). Cette crue a donc transporté de nombreux éléments en provenance du



N° du prélèvement	Substrats posés le	Substrats relevés le
1	31/7/85	4/9/85
2	4/9/85	2/10/85
3	26/10/85	27/11/85
4	5/12/85	8/1/86
5	8/1/86	12/2/86
6	5/3/86	14/4/86
7	14/4/86	9/5/86

Figure 70 : Evolution des peuplements présents dans les substrats artificiels enfouis dans le milieu interstitiel du ruisseau de l'évent de Foussoubie.

Les crues, en période de hautes-eaux, entrainent l'augmentation de l'abondanc_ et de la richesse faunistique des peuplements de l'habitat interstitiel.

ruisseau de la Planche jusqu'à l'exutoire ; la présence des larves de Trichoptères et de Coléoptères dans ce seul relevé confirme ce phénomène (annexe 7).

Les Harpacticoïdes, les Gastéropodes hypogés et l'Amphipode *N. virei* qui n'ont pas un cycle biologique soumis directement à l'influence des rythmes saisonniers, possèdent quand même des fluctuations dans la composition de leur peuplement. Ainsi, les faibles abondances de ces organismes peuvent être liées aux crues qui ont eu une forte action mécanique de "lessivage". Ceci se traduit par de faibles quantités de matières organique et minérale (séries 3, 4 et 8) ou une forte proportion de matière minérale (série 2) dans ces relevés (fig. 69).

4 CONCLUSION.

Le peuplement de l'évent de Foussoubie est marqué par son abondance et sa diversité faunistiques qui montrent leurs valeurs minimales au cours de l'étiage. Le peuplement est alors composé d'organismes hypogés et de Cyclopoïdes et d'Harpacticoïdes épigés qui semblent installés dans ce système souterrain.

Au cours des périodes de hautes-eaux, le ruisseau de la Planche se perd dans la goule de Foussoubie en y entraînant des larves d'Insectes. Ce phénomène est amplifié lors des **crues** qui, par l'intermédiaire de ces invertébrés, impriment un rythme saisonnier au peuplement de l'évent et peuvent alors être considérées comme des "**vecteurs d'information" du milieu épigé vers le milieu souterrain.** Ces épisodes hydrologiques agissent à deux échelles de temps. La première concerne l'action instantanée de la crue, alors que la seconde met en jeu les conséquences à long terme de ces épisodes hydrologiques sur les peuplements du système.

Dans le premier cas, la crue a une action de **dispersion des organismes et des matières particulaires** dans le système qui est ainsi homogénéisé pendant une courte période.

Dans le second cas, la crue **participe activement à l'organisation du peuplement souterrain.** En effet, de nombreux habitats, comme par exemple le milieu interstitiel du ruisseau souterrain de l'évent (Fig. 70), sont colonisés par les organismes mis en mouvement qui proviennent des réserves du karst et du ruisseau de la Planche.

Le fonctionnement hydrologique du système de Foussoubie a donc une action importante sur la dynamique de sa faune. L'influence des eaux de la Planche dans ce phénomène peut être quantifiée indirectement par l'étude d'un système à exsurgence.

II LA BIOCENOSE A L'EXUTOIRE DE L'AIGUILLE ET SON EVOLUTION TEMPORELLE.

Le système à exsurgence de l'Aiguille est, par rapport à celui de Foussoubie, moins soumis à de fortes variations hydrauliques et ne possède pas d'entrée massive et ponctuelle d'eau superficielle. La faune aquatique est *a priori* composée d'organismes hypogés ou éventuellement d'espèces épigées qui peuvent être bien installées dans le système, comme c'est le cas pour l'Harpacticoïde épigé *B. echinatus* dans le karst à exsurgence du massif de Dorvan-Cleyzieu (GIBERT, 1986).

En raison de la géomorphologie de ce système, seule l'étude du peuplement de son exutoire a pu être réalisée. La plupart des données faunistiques ont été obtenues à l'aide de substrats artificiels immergés pendant 1 mois ; elles seront complétées par les informations apportées par le filtrage des eaux de la source.

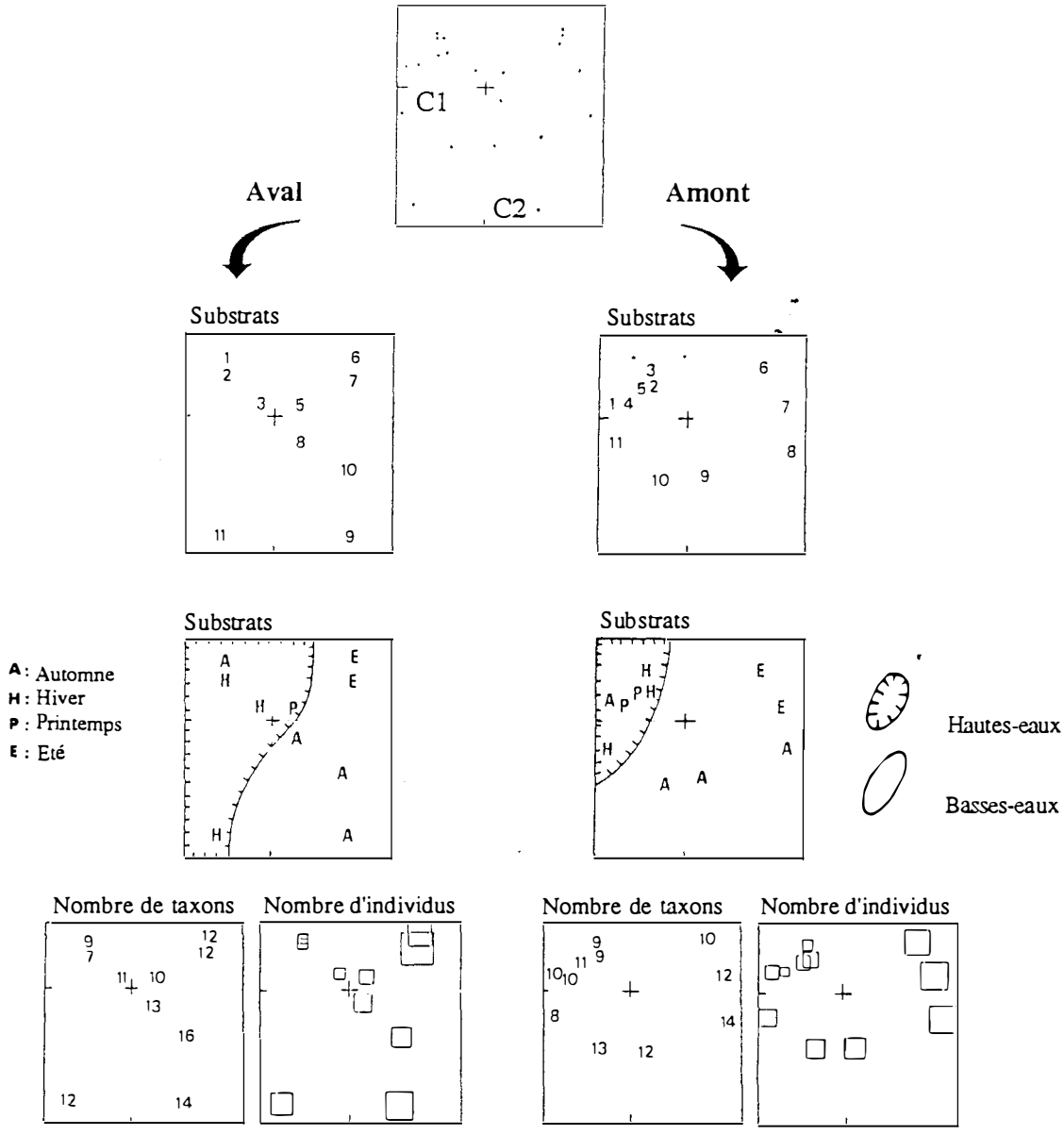


Figure 71 : Représentation graphique des résultats de l'ACPC réalisée sur les données obtenues par substrats artificiels immergés à la source de l'Aiguille.
Les deux premières composantes contiennent plus de 50% de l'information (C1 = 27,9% et C2 = 24,5%). Les relevés projetés sur le plan factoriel C1xC2 sont séparés selon le lieu d'immersion (amont ou aval) des substrats artificiels. Sur le plan factoriel C1xC2, les taxons sont classés en fonction de leur contribution sur les axes. Chacun est symbolisé par un carré dont la surface est proportionnelle à son abondance.

La première composante individualise les relevés riches en organismes et en taxons effectués en été et à l'automne, pendant la période de hautes-eaux. La deuxième composante isole les prélèvements les plus diversifiés qui sont ceux relevés au cours de l'étiage automnal.

1 RESULTATS FOURNIS PAR LES SUBSTRATS ARTIFICIELS A LA SOURCE DE L'AIGUILLE.

1-1 ANALYSE DES DONNEES.

1-1-1 Choix de la méthode.

Le tableau faunistique obtenu est formé de 23 taxons, placés en colonnes, et 22 relevés qui représentent 11 dates de prélèvement et deux lieux d'immersion (annexe 13). En effet, deux substrats artificiels sont placés à chaque immersion et en fonction de la place disponible ; l'un se situe à l'amont de l'autre : le premier appelé "substrat amont" est donc plus à l'intérieur du griffon que le second nommé "substrat aval" (cf. 2 Partie; fig. 39).

Ces données ont été traitées par une ACPC afin de pouvoir éventuellement comparer les images de peuplement avec celles obtenues pour le système de Foussoubie.

1-1-2 Résultats.

L'ACPC révèle que plus de 50% de la variabilité totale du peuplement échantillonné par les substrats artificiels sont expliqués par les deux premières composantes (fig. 71). Ce sont donc les renseignements fournis par celles-ci qui vont être pris en compte.

La projection des relevés sur le plan formé par ces deux composantes (principales) permet d'obtenir un agencement chronologique des échantillons (fig. 71), notamment de ceux situés le plus à l'intérieur du griffon.

1-2 PARTITION DES RELEVES.

Le cycle formé par les relevés sur le plan factoriel suit celui des saisons mais dépend aussi, dans une moindre mesure, de la période hydrologique. Ainsi, en période de hautes-eaux, les prélèvements ne se positionnent pas l'un par rapport à l'autre en fonction de la succession des saisons (fig. 71).

Malgré cette restriction, la première composante individualise les relevés effectués en été et à l'automne, pendant la période de basses-eaux qui sont riches en organismes et en taxons (fig. 71).

La deuxième composante sépare les prélèvements les plus diversifiés qui sont ceux relevés au cours de l'étiage automnal (fig. 71).

Cette évolution globale, résumée par l'abondance et la diversité du peuplement échantillonné, peut être expliquée plus précisément par l'étude de certains taxons.

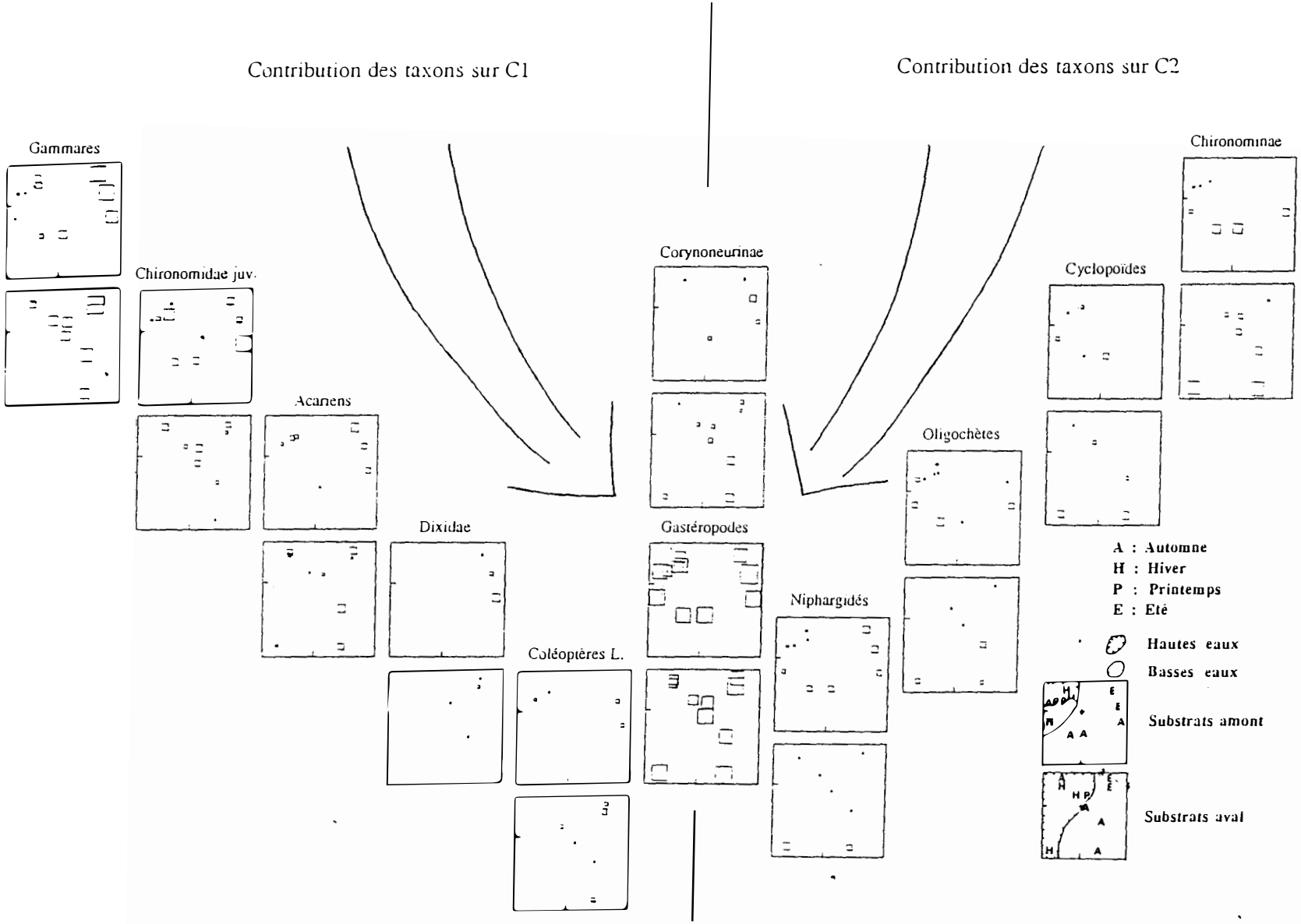


Figure 72 : Représentation de l'abondance des taxons dans les prélèvements effectués par substrats artificiels à l'Aiguille.

Sur le plan factoriel C1xC2, à l'emplacement des relevés est projeté un carré dont la surface est proportionnelle à l'abondance du taxon qu'il symbolise.

L'évolution temporelle des différentes populations est liée pour certaines, au régime hydrologique et pour d'autres, au rythme des saisons.

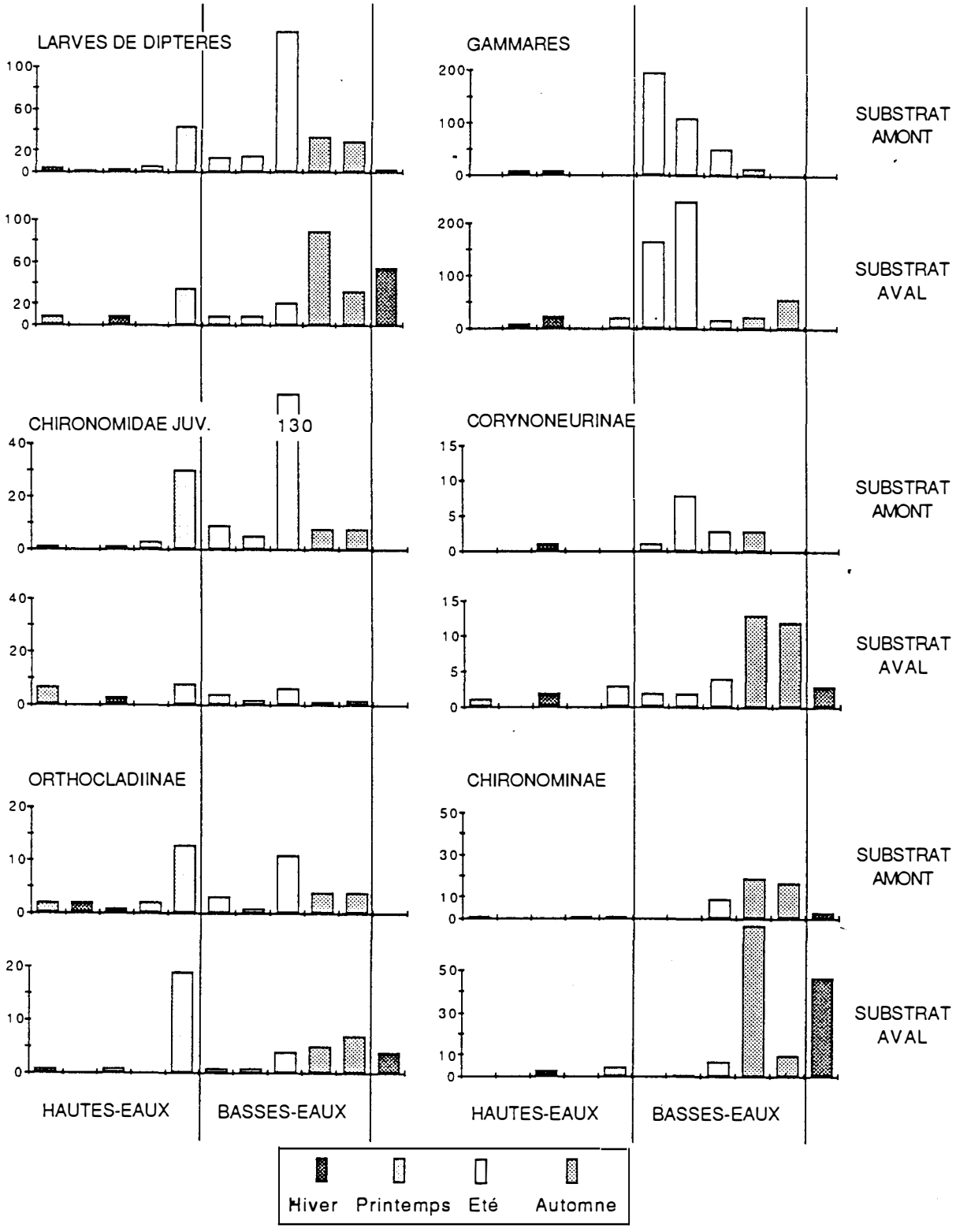


Figure 73 : Evolution des abondances relatives et totales dans différents groupes systématiques dans les substrats de l'Aiguille.

L'évolution des populations de Gammares et de larves Diptères est logiquement influencée par le rythme saisonnier.

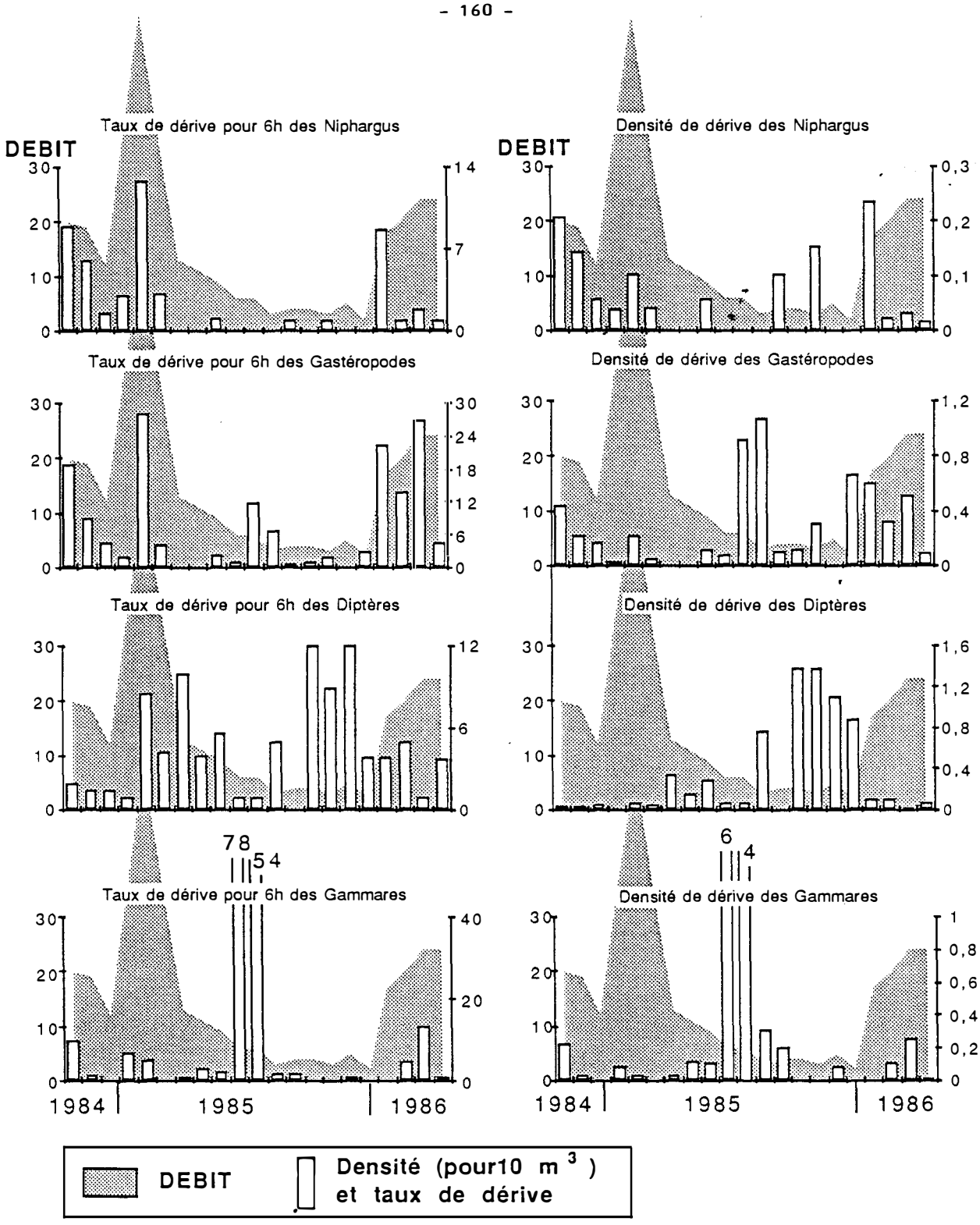


Figure 74 : Evolutions comparées des densités (pour 10 m^3) et taux de dérive des peuplements hypogé et épigé, en fonction du temps, au cours de filtrage des eaux de l'Aiguille.

La dérive des organismes hypogés (Niphargus et Gastéropodes) est due aux vitesses des écoulements, élevées en période de hautes-eaux. Les organismes épigés (larves de Diptères et Gammares) effectuent une dérive comportementale d'évitement non liée au débit.

2 EVOLUTION DU PEUPLEMENT A LA SOURCE DE L'AIGUILLE.

2-1 ROLE DES TAXONS DANS LES PHENOMENES OBSERVES.

La classification des relevés peut être expliquée par les groupes faunistiques qui contribuent le plus aux composantes (fig. 72).

- Ainsi, les Gammares, les larves d'Insectes Chironomidae (larvules) et, dans une moindre mesure, les Acariens, les Dixidae et les Coléoptères définissent assez bien, par leur présence quantitativement importante, la composition faunistique des **échantillons d'été et d'automne réalisés en basses-eaux.**

- Les larves d'Insectes Chironominae, les Crustacés Cyclopoïdes, notamment les stades copépodites, les Oligochètes et les Amphipodes hypogés du genre *Niphargus* apparaissent principalement pendant les prélèvements **d'étiage réalisés en automne** ;

- Les larves d'Insectes Corynoneurinae et les Gastéropodes hypogés (principalement *Hauffenia minuta globulina*)sont moins présents ou moins abondants pendant les périodes de hautes-eaux que pendant celles de basses-eaux.

En fonction des variations entre les taxons, il apparaît que certains sont sensibles au facteur saisonnier qui agit sur leurs cycles de développement alors que d'autres sont plus soumis aux variations hydrologiques. La part de ces deux facteurs dans l'évolution du peuplement peut être un peu mieux définie en prenant en compte séparément ses composantes hypogée et épigée.

2-2 IMPORTANCE DE L'EFFET SAISONNIER ET DU DÉBIT.

2-2-1 Le peuplement épigé.

Les populations de Gammares et de Diptères Chironomidae (larvules, Chironominae et Corynoneurinae), les mieux représentées dans la composante épigée du peuplement, atteignent leur développement maximum pendant les périodes estivales et automnales (fig. 73). Cette évolution est identique à celle observée pour les populations de Gammares de la rivière Ardèche (DOLEDEC, 1986). En ce qui concerne les larves de Diptères, il convient de noter la présence d'un autre maximum de développement, situé en période printanière, dû à l'abondante présence des larvules et des Orthocladiinae (fig. 73).

Au cours de ces périodes estivales et automnales, les taux et les densités de dérive de ces invertébrés épigés (fig. 74) sont aussi relativement importants. Du fait des faibles vitesses de circulation des eaux, qui ne peuvent avoir de véritables actions sur les animaux, cette dérive doit être attribuée à un comportement d'évitement entre les individus. Les organismes, qui sont très nombreux dans cette petite vasque, effectuent **une dérive comportementale.** Les larves de Diptères sont aussi soumises à **une dérive passive** due aux vitesses de circulation des eaux plus importantes en période de fort débit, ce phénomène étant traduit par un taux de dérive assez important (fig. 74).

L'évolution des populations de Gammares et de Diptères est logiquement influencée par le rythme saisonnier. Le débit a un poids moindre sur la dynamique de ce peuplement épigé en n'intervenant que pendant la période printanière, sur les populations d'Orthocladiinae notamment.

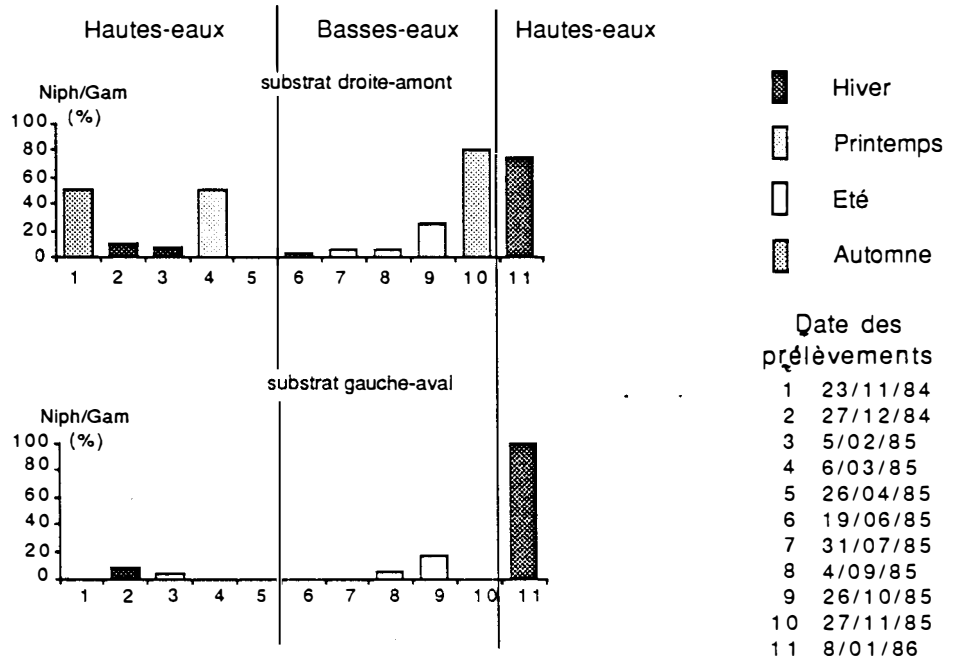


Figure 75 : Evolution du rapport des Amphipodes épigé et hypogé récoltés dans les substrats amont et aval immergés à la source de l'Aiguille.

Les Amphipodes hypogés (Niphargus) sont soumis indirectement à l'influence saisonnière par compétition avec les Amphipodes épigés (Gammares).

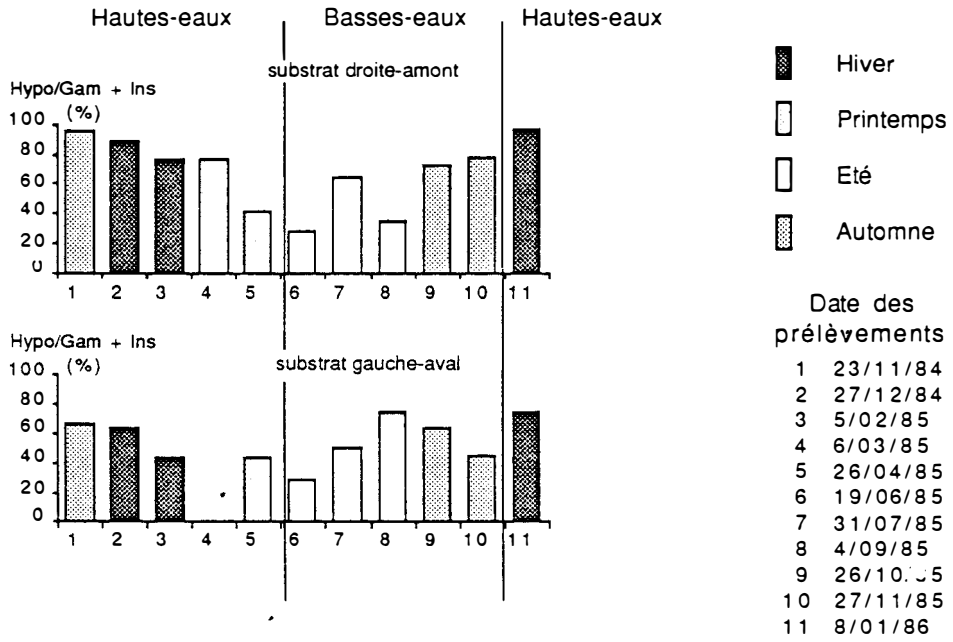


Figure 76 : Evolution du rapport de la faune épigée et hypogée récoltée dans les substrats amont et aval immergés à la source de l'Aiguille.

L'évolution de la composante hypogée du peuplement est sous la dépendance du cycle hydrologique alors que celle de la composante épigée est soumise au rythme saisonnier.

2-2-2 Le peuplement hypogé.

Les organismes hypogés, qui sont représentés par les Gastéropodes et les Amphipodes du genre *Niphargus* présentent leur maximum d'abondance dans les substrats artificiels durant l'étiage (fig. 72). En revanche, c'est en période de hautes-eaux que leur taux de dérive est le plus fort (fig. 74). Il existe donc une relation inverse entre la quantité absolue d'organismes qui parviennent à l'exutoire et le nombre d'individus présents dans les appareils. Pour expliquer ce phénomène, il faut considérer séparément le cas des Gastéropodes et des Amphipodes.

En période de fort débit, les Gastéropodes qui sont passifs vis à vis du courant, sont poussés en dehors du karst au-delà des substrats artificiels. Au cours de l'étiage, la veine d'eau parvenant à l'exutoire est d'un volume plus faible et passe entièrement à travers les appareils ; les Mollusques y sont alors accumulés.

Ce processus peut expliquer l'évolution des Gastéropodes mais pas celle des Amphipodes qui sont des animaux capables d'un déplacement actif par rapport au courant. Pour ces organismes, il faut prendre en compte le facteur "compétition avec les Gammares", ces deux Crustacés n'étant qu'exceptionnellement capturés simultanément dans les sources des Pyrénées centrales (BOUILLON, 1964) :

- très nombreux en étiage, les Amphipodes épigés obligeraient les hypogés à se cantonner près du griffon, donc dans les substrats (fig. 75) ;
- les Gammares étant absents en période de hautes-eaux, les nombreux habitats disponibles à proximité du griffon peuvent être alors occupés par les Niphargides, qui sont signalés en plus grand nombre pour cette période hydrologique (fig. 75).

Le peuplement hypogé est plus influencé par le facteur hydrologique que par les rythmes saisonniers. Les Gastéropodes notamment, animaux très passifs vis à vis des fortes vitesses de courant, sont donc rejetés dans le milieu épigé en hautes-eaux, alors qu'ils semblent s'accumuler près du griffon en basses-eaux. Toutefois les Amphipodes hypogés, sont soumis indirectement à l'influence saisonnière. En effet, lorsqu'en étiage ils sortent du milieu souterrain, la présence importante des Gammares en étiage semble agir sur leur répartition lorsque les Niphargides sortent du milieu souterrain.

2-3 EVOLUTION COMPARATIVE DES PEUPLEMENTS HYPOGE ET EPIGE.

Pour comparer l'évolution des peuplements épigé et hypogé, seuls les organismes qui sont stygoxènes ou stygobies ont été choisis. Ainsi, le peuplement hypogé considéré est composé de Mollusques et d'Amphipodes stygobies alors que celui caractéristique du milieu épigé est formé de larves d'insectes et d' Amphipodes stygoxènes.

Les organismes hypogés sont mieux représentés dans le peuplement global récolté par les substrats artificiels en hautes-eaux (fig. 76). Ceci est dû à leur important taux d'arrivée à l'exutoire et au fait que les organismes épigés ne sont pas encore nombreux. Les prélèvements d'été et d'automne sont riches en taxons et en organismes épigés. A l'exutoire de l'Aiguille, l'évolution du peuplement est sous la dépendance du cycle hydrologique, pour sa composante hypogée, et sous celle des rythmes saisonniers, en ce qui concerne sa composante épigée.

3 CONCLUSION.

Le peuplement du système de l'Aiguille est caractérisé par la **présence constante** et quantitativement **importante** des **Gastéropodes hypogés**, *Hauffenia minuta globulina*. Bien que les hautes-eaux entraînent à l'extérieur du massif un grand nombre de ces organismes, ils sont moins bien échantillonnés par les substrats que pendant les basses-eaux. Ceci met en évidence un biais de ce mode d'échantillonnage qui peut surestimer une population comme celle des Mollusques qui sont accumulés passivement.

Le rythme saisonnier, agit directement sur les organismes épigés, notamment les Gammares et les larves de Diptères. Son action est indirecte sur la répartition des Amphipodes hypogés, qui entrent en compétition avec les Gammares pendant la période d'étiage.

La dynamique du peuplement présent à l'exutoire de l'Aiguille est moins soumis aux fluctuations des modes de circulation des eaux souterraines que dans le cas de l'évent de Foussoubie. L'influence plus marquée des rythmes saisonniers, qui se traduit notamment par les quelques différences observées entre les substrats placés à l'amont et ceux placés à l'aval, rappelle que la source de l'Aiguille est une zone de contact entre deux systèmes écologiques aux caractéristiques bien marquées.

III LES ECOTONES AQUATIQUES ENTRE MILIEUX SOUTERRAIN ET SUPERFICIEL.

Les études des systèmes karstiques sont souvent réalisées aux entrées ou aux exutoires. Ces zones qui offrent un accès au milieu souterrain constituent des lieux de contact entre deux systèmes écologiques très contrastés. En effet, l'absence de lumière et donc de production primaire sont des facteurs caractéristiques de l'opposition entre les milieux souterrains et l'environnement superficiel. Ces zones présentent aussi l'intérêt d'être les lieux privilégiés des **échanges** entre ces systèmes. La prise en compte de ces échanges est d'autant plus nécessaire que le milieu souterrain est dépendant, du point de vue énergétique, du milieu superficiel. Ils sont concrétisés par l'existence de **flux biotiques** ou **abiotiques** qui passent d'un système à l'autre et qui interagissent entre eux. Les lieux de contact étudiés ici, sont donc des **zones d'interactions** qui sont situées à l'amont ou à l'aval du système karstique. Dans le premier cas, ce sont le ruisseau de la Planche et le système de Foussoubie qui interagissent, dans le second ce sont le système de l'Aiguille et le ruisseau créé par sa source.

1 LES FLUX DE MATIERES ENTRE LES MILIEUX SOUTERRAIN ET SUPERFICIEL.

La dynamique des eaux est un élément prépondérant pour les milieux étudiés. Aussi, les flux abiotiques et biotiques pris en compte sont surtout créés par les mouvements de l'eau. Si l'étude des flux de matières entre les milieux souterrain et superficiel peut se faire directement à l'exutoire de l'Aiguille, l'absence de données précises à la perte de la Planche ne peut le permettre à cet endroit. Aussi l'analyse des flux provenant du milieu superficiel sera faite indirectement à l'évent de Foussoubie.

1-1 LES FLUX ABIOTIQUES

Les matières particulaires récoltées dans les substrats artificiels immergés pendant 1 mois à l'évent de Foussoubie permettent d'illustrer l'influence des eaux de la Planche. En effet, les quantités de matières organiques mesurées en période de hautes-eaux sont nettement plus considérables que celles relevées en étiage. L'exemple des substrats retirés le 23/11/84 après une crue est caractéristique de ce phénomène. En effet, les quatre appareils ont récolté globalement **36,7 mg** (soit 9 mg par substrat) de matières organiques (>160µ) alors que les quantités moyennes observées en étiage par série sont de **1,1 mg** (soit 0,3 mg par substrat). Les échanges s'effectuent unilatéralement et se traduisent par un apport d'énergie dans le milieu souterrain.

Les substrats artificiels représentant une unité de volume standard, les **0,48 mg** de matières organiques (teneur maximale) pour les substrats en amont à l'Aiguille, peuvent être comparés avec les 9 mg enregistrés à l'évent de Foussoubie. Les flux de matière du système de l'Aiguille vers le ruisseau superficiel sont donc moindres.

1-2 LES FLUX BIOTIQUES.

Les flux biotiques peuvent être représentés par les organismes entraînés par les mouvements de l'eau. Ainsi, ceux de la Planche sont caractérisés par les larves d'Insectes épigés. Ils ont été récoltés à **253** exemplaires dans les substrats artificiels de 1 mois relevés à l'évent de Foussoubie le 22/3/85 alors que l'échantillon contenait 886 individus.

Les Gastéropodes constituent, pour le système de l'Aiguille, le principal composant des flux biotiques délivrés au milieu superficiel. Des quantités relativement importantes de ces organismes ont été dénombrées dans les substrats artificiels. Ainsi, **482** Mollusques (représentés dans leur quasi totalité par *Hauffenia minuta globulina*) ont colonisé les deux substrats relevés le 4/09/86 alors que le prélèvement comptait 912 invertébrés.

1-3 DYNAMIQUE DES FLUX.

Les quantités présentées ci-dessus n'ont qu'une valeur indicatrice et ne doivent pas être prises comme référence. Elles soulignent simplement que les flux en provenance de la Planche sont importants puisque leur action se fait sentir jusqu'à l'évent.

Les processus observés à la source de l'Aiguille sont marqués par les relativement fortes quantités de Gastéropodes que le système rejette. Ceci est d'autant plus intéressant que ces organismes, étant très passifs vis à vis du courant, sont abandonnés au milieu superficiel. Les systèmes doivent donc être distingués selon leur situation par rapport au sens d'écoulement des eaux. Ainsi, le système situé à l'amont de l'autre lui délivre de l'énergie et peut être considéré comme un système "donneur" ; le second devenant alors "receveur".

Ces quelques illustrations des échanges existant entre les milieux souterrains et superficiels montrent que leurs interactions peuvent s'étendre **plus loin que le lieu même de leur contact physique.**

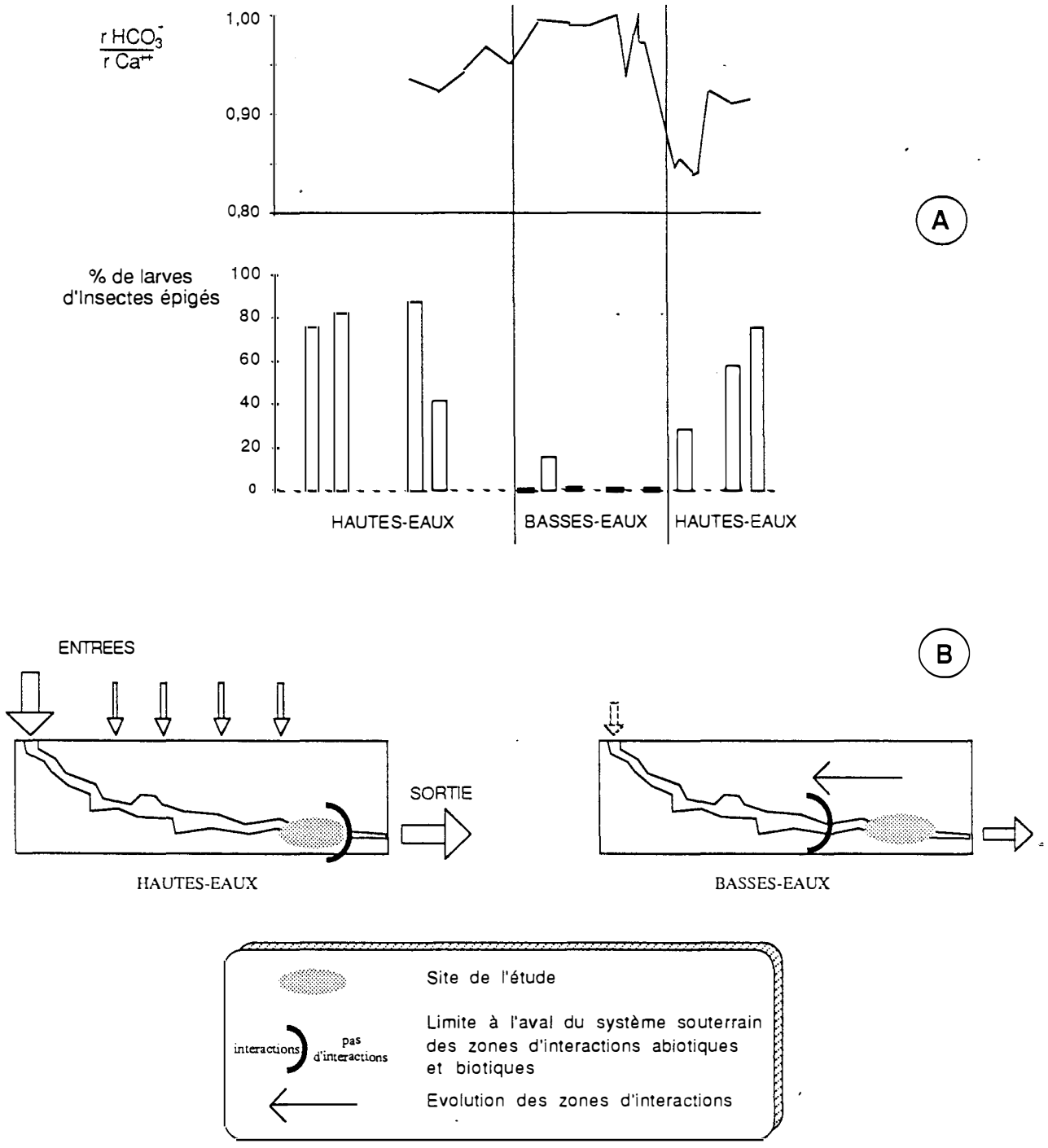


Figure 77 : Dynamique des zones d'interactions entre le ruisseau superficiel de la Planche et le système de Foussoubie

-A- caractérisation des zones d'interactions abiotiques et biotiques par les descripteurs chimique et biologique que sont le rapport entre les bicarbonates et le calcium et l'abondance relative des larves d'Insectes épigés par rapport aux Amphipodes hypogés.

-B- évolution spaciale des zones d'interactions en fonction de la période de hautes-eaux et basses-eaux du cycle hydrologique.

La zone d'affrontement entre les deux systèmes s'étend jusqu'à l'évent en période de hautes-eaux mais n'existe plus en ce lieu pendant l'étiage.

2 LES ZONES D'INTERACTIONS ENTRE LES SYSTEMES SOUTERRAINS ET LES SYSTEMES SUPERFICIELS ADJACENTS.

Le contact entre les systèmes souterrain et superficiel est symbolisé par la frontière physique qui les sépare, représentée par la confrontation entre l'obscurité permanente et l'existence d'un nycthémère. Les interactions qui découlent de ce contact peuvent s'étendre plus loin que cette frontière. La zone d'interactions ainsi créée peut être définie par des descripteurs biotiques et abiotiques.

2-1 CHOIX DES DESCRIPTEURS BIOTIQUES ET ABIOTIQUES DES ZONES D'INTERACTIONS.

2-1-1 "la Planche/ système de Foussoubie".

L'élément abiotique sélectionné doit décrire l'affrontement entre les deux systèmes qui peut se traduire par le mélange des eaux de la Planche et de celles des réserves du karst. Le rapport bicarbonates/calcium convient puisque ses valeurs indiquent si les écoulements sont assurés par un mélange d'eaux de la Planche et des réserves du karst ou uniquement par celles-ci. Dans le premier cas, qui correspond aux faibles valeurs, le lieu où sont effectuées les mesures est le siège d'interactions entre les deux systèmes. Dans le second cas, marqué par de fortes valeurs, les eaux ne proviennent que des réserves et la station d'étude n'est donc plus soumise aux influences du milieu épigé (fig. 77 A).

La zone d'interactions biotiques peut être décrite par la présence simultanée d'éléments appartenant exclusivement à l'un des systèmes. Le rapport entre les larves d'Insectes épigés et l'Amphipode hypogé *Niphargus* constitue un bon descripteur biotique de la zone d'affrontement des systèmes de la planche et de Foussoubie. Plus les valeurs du rapport sont élevées, plus l'influence du milieu superficiel est forte (fig. 77 A).

2-1-2 "système de l'Aiguille/source".

Les eaux de la source proviennent du système de l'Aiguille et ont donc des caractéristiques souterraines ; mais leur composition se transforme sous l'influence des conditions environnementales du milieu épigé. C'est pourquoi, les variations au cours du temps des teneurs en bicarbonates peuvent traduire l'existence d'interactions entre les deux milieux. Les concentrations de cet ion sont plus faibles en milieu épigé, en raison de la précipitation sous forme de carbonates. Ce phénomène est induit par les conditions de pression et de température variables dans ce milieu (fig. 78 A).

Le descripteur biotique de la confrontation du système souterrain avec le milieu superficiel est constitué par la proportion de Crustéropodes et d'Amphipodes hypogés par rapport aux Gammares et les larves d'Insectes épigés (fig. 78 A). En effet, la présence simultanée de ces organismes qui sont pour les premiers stygobies et pour les seconds stygoxènes, définit l'existence d'une zone de confrontation entre les milieux souterrain et superficiel dont ils proviennent.

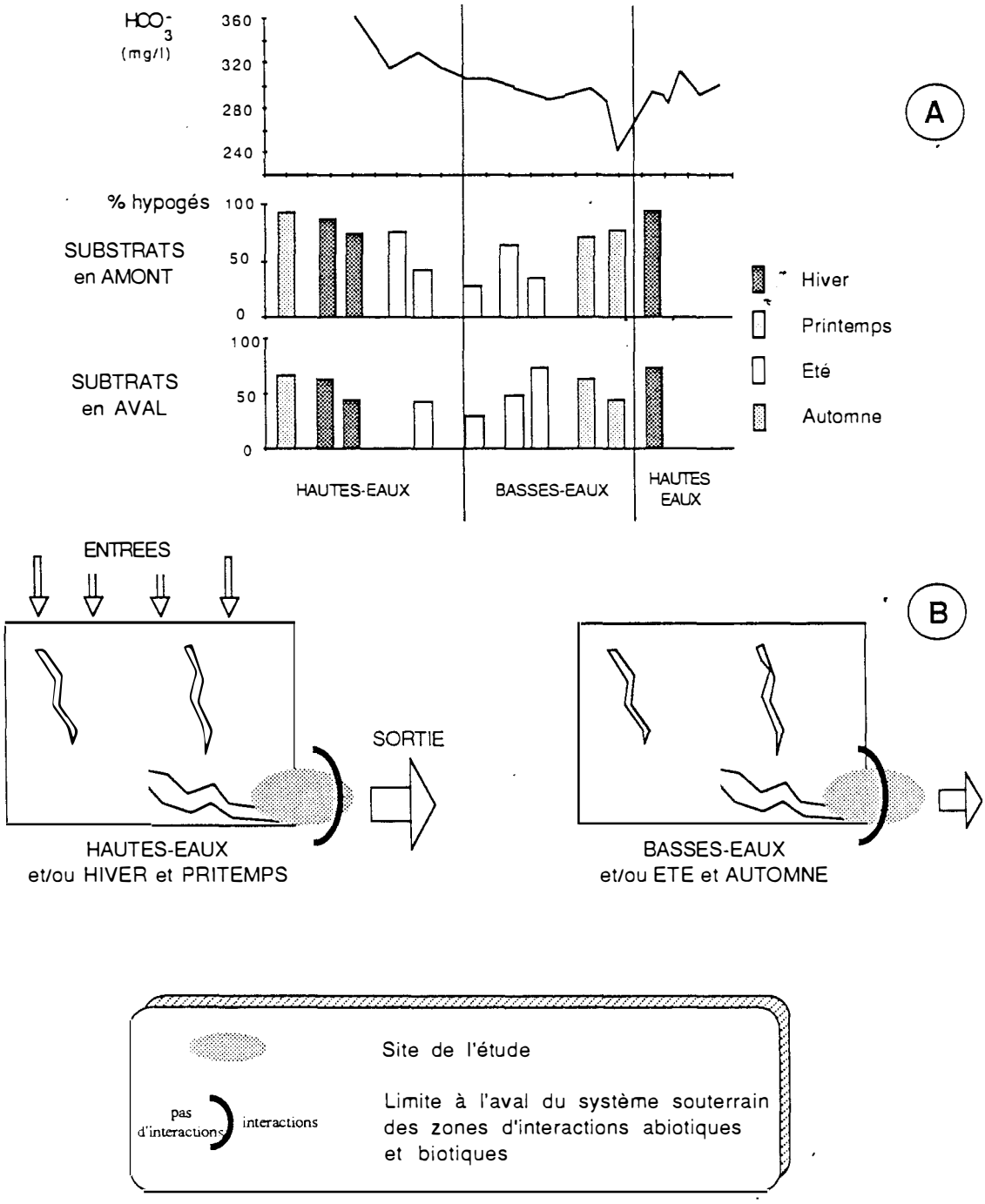


Figure 78 : Dynamique des zones d'interactions entre le système de l'Aiguille et la source :

-A- caractérisation des zones d'interactions abiotiques et biotiques par les descripteurs chimique et biologique que sont les bicarbonates et l'abondance relative des Gastéropodes et Amphipodes hypogés par rapport aux Gammares et larves d'Insectes épigés.

-B- évolution spatiale des zones d'interactions en fonction de la période de hautes-eaux et basses-eaux du cycle hydrologique.

Les flux biotiques du système souterrain sont plus importants au niveau du griffon pendant la période hivernale. Au cours de lété et de l'automne la pression biotique du milieu épigé domine.

2-2 VARIABILITE DES INTERACTIONS ENTRE LES SYSTEMES.

2-2-1 "la Planche/ système de Foussoubie".

Les valeurs du rapport entre les bicarbonates et le calcium montrent que la zone d'affrontement des deux systèmes s'étend jusqu'à l'évent en période de hautes-eaux (fig. 77 B). En revanche, les interactions entre les eaux des deux systèmes n'existent plus en ce lieu pendant l'étiage (fig. 77 B). Ceci est en partie du à la disparition des écoulements de surface de la Planche pendant cette période d'assèchement.

Les interactions biotiques caractérisées par la présence simultanée des Amphipodes stygobies et des larves d'Insectes épigés, présentent la même évolution (fig. 77 A).

Il existe un intervalle de temps au cours duquel s'effectue une variation progressive des valeurs des deux descripteurs. Ceci traduit une diminution progressive de l'influence du système écologique épigé (fig. 77 B).

2-2-2 "système de l'Aiguille/source".

Les teneurs en bicarbonates sont les plus basses pendant la période d'étiage ; ce phénomène est du aux caractéristiques du système épigé. Cette période hydrologique correspondrait donc à une influence moins forte du système souterrain à la source (78 B).

L'abondance relative du peuplement hypogé total (Gastéropodes et Crustacés Niphargides) dans les substrats placés en amont suit une évolution qui résulte des facteurs saisonnier et hydrologique (fig. 78 A). Le pourcentage des organismes hypogés est élevé en hautes-eaux (exception faite de la série printanière n° 5) et faible pendant les époques estivale et automnale qui correspondent aux basses-eaux (fig. 78 A). Ce phénomène est moins net dans les substrats situés à l'aval qui présentent globalement une présence moins forte des hypogés (fig. 78 B). Ces variations temporelles de la composition du peuplement peuvent être attribuées aux différents taxons épigés. Ainsi, la diminution de l'abondance relative des organismes stygobies, en basses-eaux, est surtout due à l'abondance des Gammares (Fig . 79), alors que celle observée pendant les prélèvements printaniers est inhérente aux larves d'Insectes et notamment aux Chironomidés (juvéniles et Orthocladiinae) (fig. 79).

En ce qui concerne les interactions entre les flux biotiques au niveau du griffon (fig. 78 B), c'est le milieu souterrain qui exerce la plus forte influence pendant la période hivernale. Au printemps, les interactions entre les deux systèmes s'équilibrent. Enfin, au cours de l'été et de l'automne, la pression biotique du milieu épigé est dominante.

2-2-3 Influence de l'hydrodynamique et des rythmes saisonniers.

Le rôle de la **dynamique des eaux** dans l'évolution spatiale et temporelle des zones d'interactions est importante pour le système de Foussoubie.

L'influence de la dynamique hydrique sur les zones d'interactions entre le système de l'Aiguille et la source interfère ou inter-agit avec celle du **facteur saisonnier**. Les flux abiotiques du milieu souterrain, qui sont sous l'influence des écoulements, s'étendent plus à l'aval de la frontière en période de forts débits qu'au cours de l'étiage. De plus, cette époque correspondant à l'hiver, les flux biotiques du système souterrain prédominent sur ceux du système

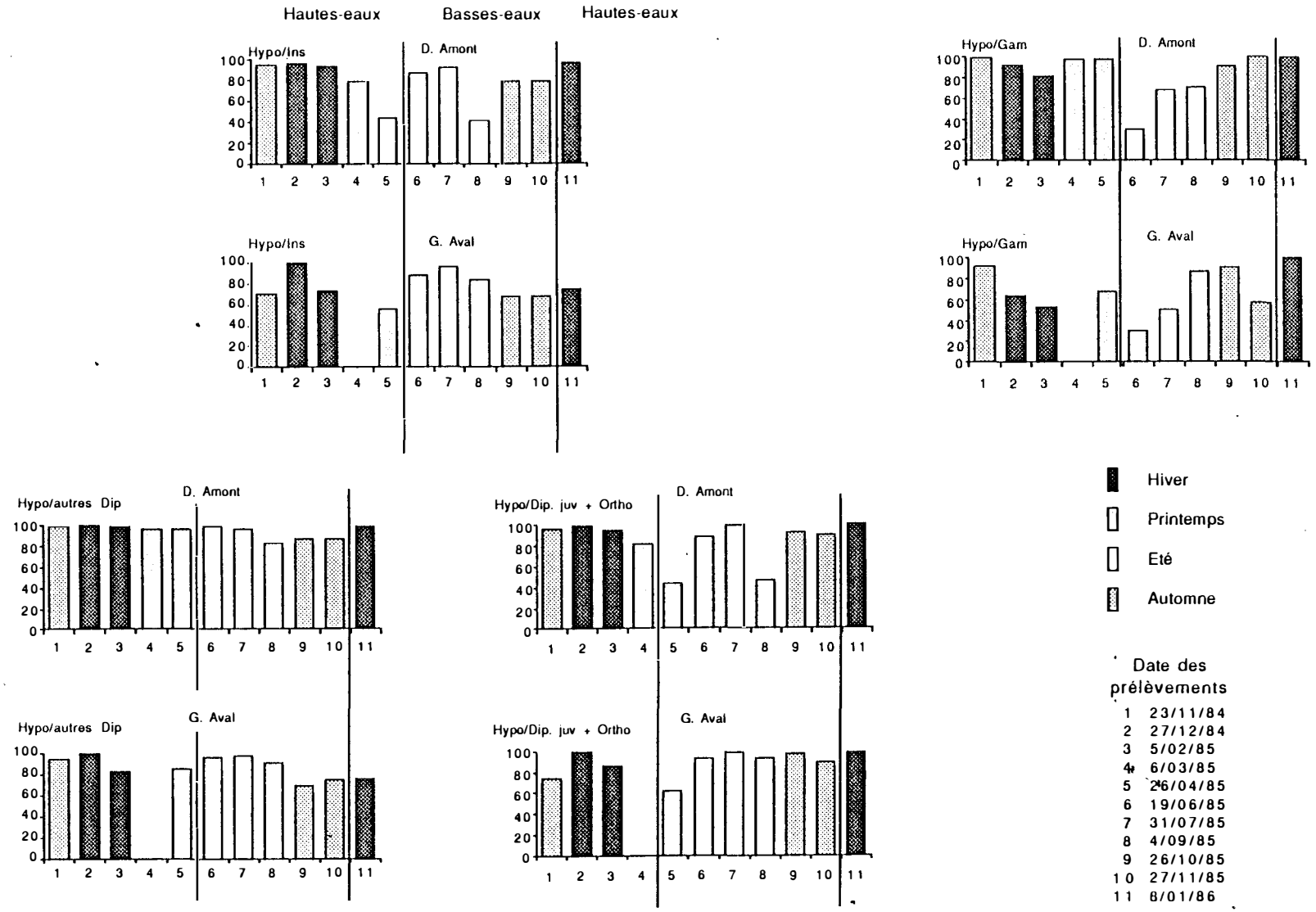


Figure 79 : Evolution de l'abondance relative du peuplement hypogé par rapport aux différentes populations d'organismes épigés à l'exutoire de l'Aiguille.

La diminution de l'abondance relative des organismes stygobies en basses-eaux est surtout due à l'abondance des Gammares, alors que celle observée pendant les prélèvements printaniers est inhérente aux larves d'Insectes et notamment aux Chironomidés (juvéniles et Orthocladiinae).

superficiel à proximité de la frontière physique. En revanche, durant les saisons estivale et automnale, qui correspondent aux basses-eaux, les flux biotiques du milieu superficiel sont plus intenses et "remontent" dans le milieu souterrain. Les flux abiotiques, bien que modifiés par le milieu superficiel, sont encore sous l'influence du milieu souterrain.

2-3 LA NOTION D'ECOTONE.

Les évolutions des zones d'interactions entre les milieux souterrain et superficiel pour les systèmes de l'Aiguille et de Foussoubie laissent apparaître des phénomènes qui peuvent s'exercer à des échelles très différentes. Ainsi, **l'influence du système de la Planche peut persister en période de hautes-eaux jusqu'à l'évent de Foussoubie qui se trouve à plusieurs kilomètres à l'aval.** En revanche à l'Aiguille, des fluctuations de la zone d'interactions peuvent être observées à proximité du griffon. Il est facile de concevoir pour ce système, l'existence de telles variations au niveau de la zone de contact avec le milieu superficiel, que l'on peut nommer écotone.

Cette notion d'écotone a été définie par CLEMENTS en1905 (*in* HOLLAND, 1988) comme la zone de jonction entre deux communautés où les processus d'échanges et de compétition entre formations voisines peuvent être observés. Plus récemment, ODUM (1971) présente l'écotone comme une transition entre deux ou plusieurs communautés en y rattachant le concept "edge effect" défini par LEOPOLD en 1933 (in HANSEN et Coll., 1988).

Les grandes différences d'échelles dans les phénomènes observés dans les deux cas étudiés dans ce travail montrent que les écotones aquatiques entre les milieux souterrain et superficiel correspondent à la **définition fonctionnelle** donnée par HOLLAND (1988). Selon cet auteur, l'écotone peut être défini comme "a zone of transition between adjacent ecological systems, having a set of characteristics uniquely defined by space and time scales anf by strengh of the interactions between adjacent ecological systems".

L'**écotone** dépend donc directement du **contact** entre les milieux souterrain et superficiel qui est matérialisé par la **frontière physique** qui sépare **l'obscurité permanente** de **l'existence d'un nycthémère.** Mais l'écotone doit aussi être défini d'une façon **dynamique**, car il ne peut être délimité uniquement par des barrières statiques et car il peut avoir un rôle actif dans les échanges entre les systèmes adjacents.

3 LES ÉCOTONES AQUATIQUES ENTRE LES MILIEUX SOUTERRAIN ET SUPERFICIEL.

3-1 DYNAMIQUE SPATIALE ET TEMPORELLE DES ÉCOTONES.

Les différentes échelles auxquelles ont été perçues les interactions entre les milieux souterrain et superficiel étudiés ont donc montré la nécessité de concevoir l'écotone comme une zone dynamique.

Il est nécessaire de bien différencier les flux abiotiques et biotiques dans le cas de la source de l'Aiguille. En effet, en étiage, les animaux peuvent s'enfoncer dans le milieu souterrain alors que les éléments minéraux ne peuvent le faire directement. L'écotone [système de l'Aiguille/source] est alors défini par ces deux zones d'interactions des flux biotiques et abiotiques dont la situation spatiale est différente.

En revanche, dans le cas des interactions entre la Planche et le système de Foussoubie, les flux biotiques et abiotiques subissent les mêmes variations spatiales et temporelles par l'intermédiaire de la dynamique des eaux.

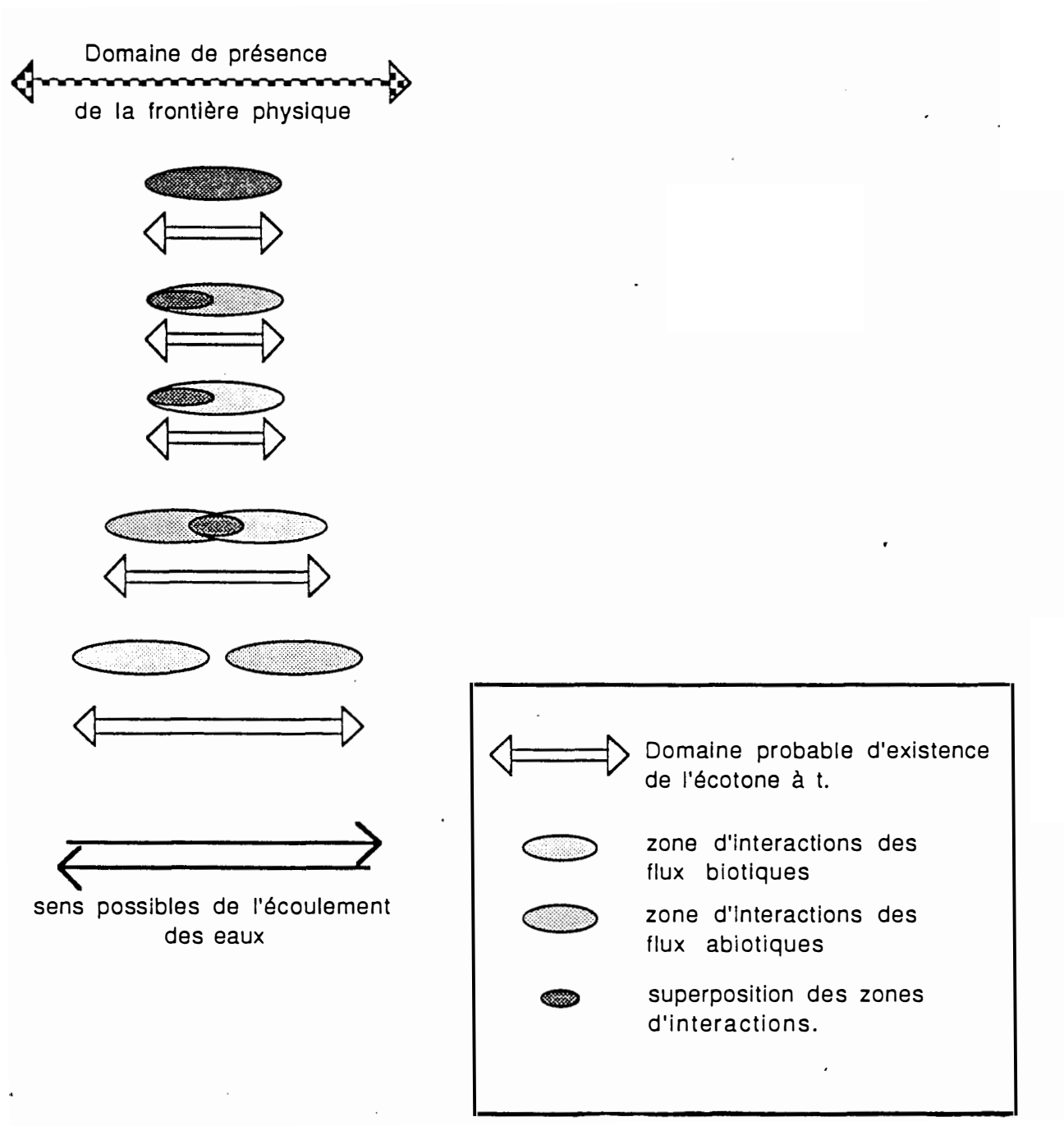


Figure 80 : Domaine d'existence de l'écotone aquatique [système souterrain/système superficiel] en fonction des zones d'interactions des flux abiotiques et biotiques.

Chaque zone d'interactions des flux abiotiques et biotiques possède sa propre configuration. A un instant "t", le domaine d'existence de l'écotone est définie par l'une des cinq conformations possibles de ces zones ; la frontière physique peut être incluse ou non dans la zone d'interactions.

Ainsi, c'est du **domaine d'existence** des écotones aquatiques entre les milieux souterrain et superficiel dont il faut parler en faisant référence aux **zones d'interactions des flux biotiques et abiotiques**. Ces interactions entre les deux systèmes adjacents entraînent une modification des flux qu'ils s'échangent. Cette action peut être abordée indirectement par la notion de perméabilité de l'écotone.

3-2 PERMEABILITE DES ECOTONES ET ECHANGES ENTRE SYSTEMES ECOLOGIQUES ADJACENTS.

Le milieu karstique est caractérisé par la présence de fissures et de drains de grandes dimensions qui ne s'opposent pas, ou faiblement, au transit des éléments transportés par l'eau. Ainsi, le système de Foussoubie reçoit les flux de la Planche qui régulent son fonctionnement hydrologique, la composition faunistique des peuplements et la quantité des réserves énergétiques. Les échanges entre les deux systèmes sont donc dominés par la dynamique des eaux de la Planche. L'écotone possède une perméabilité presque totale dans un sens et très faible dans l'autre.

En revanche, si à l'exutoire de l'Aiguille les écoulements imposés par le système souterrain entraînent les Gastéropodes dans le système superficiel, des flux d'énergie s'effectuent en retour du milieu superficiel vers le milieu souterrain. Ceux-là sont provoqués par les Amphipodes hypogés qui consomment l'énergie produite par le milieu épigé, sous forme de matières organiques, puis qui retournent dans le milieu hypogé. Dans ce cas la perméabilité de l'écotone n'est pas unidirectionnelle.

CONCLUSION

Le peuplement de l'évent de Foussoubie est soumis directement à la dynamique des eaux et dans une moindre mesure aux rythmes saisonniers. L'influence de l'hydrodyamique est caractérisée par les crues qui participent très activement à l'organisation du peuplement.

Le système de l'Aiguille n'est pas soumis à des écoulements de forte intensité. Aussi, les influences du milieu épigé, dues principalement au cycle des saisons, peuvent elles s'exprimer dans le peuplement de la source.

L'influence plus ou moins importante du milieu épigé dans la dynamique des peuplements met en évidence l'existence des interactions entre les systèmes souterrains et superficiels adjacents. Ces écotones ainsi formés peuvent être perçus avec des échelles de temps et d'espace variées, mais leur domaine d'existence est défini par les zones d'interactions des flux biotiques et abiotiques des systèmes en contact. Dans le cas général des écotones aquatiques [système souterrain/système superficiel], chacune de ces zones possède une configuration qui lui est propre et il existe, à un instant "t", cinq possibilités d'agencement spatial de l'une par rapport à l'autre (fig. 80). Cette définition des écotones, indépendante des notions de jonction géographique, permet de comparer leur fonctionnement. Ainsi. il apparaît que les flux entre la Planche et le système de Foussoubie sont **unilatéraux**, alors qu'ils sont **bilatéraux** entre l'Aiguille et la source.

CONCLUSION GENERALE

oooooo

Ce travail s'est appuyé sur une nouvelle méthode d'échantillonnage de la "boîte noire" qu'est un karst. Il avait pour but de mieux connaître le fonctionnement de ces systèmes souterrains pour éventuellement les replacer dans le paysage et notamment vis-à-vis des systèmes superficiels qui leur sont adjacents.

I ECHANTILLONNAGE.

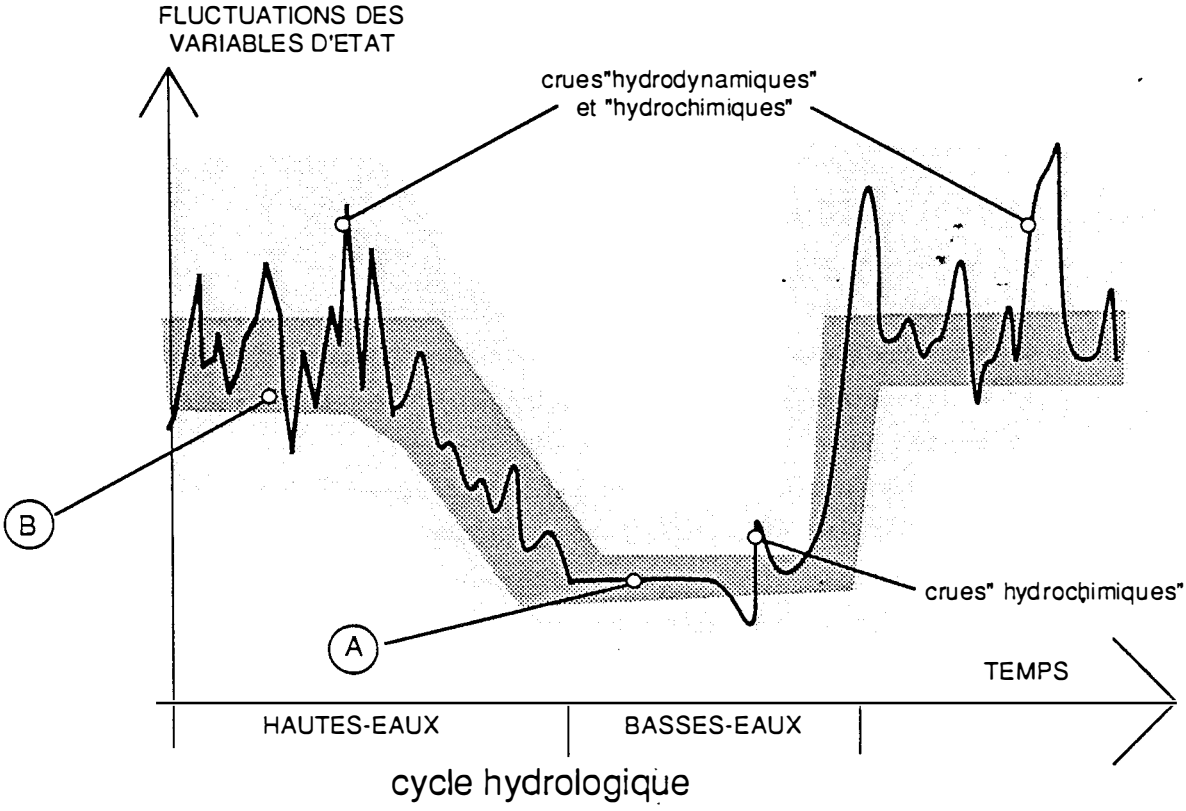
L'échantillonnage d'un système naturel est établi tout d'abord en fonction des buts de l'étude (FRONTIER, 1983). Dans le présent travail, l'objectif était, pour les deux systèmes karstiques des Gorges de l'Ardèche, d'une part de connaître les relations entre la dynamique des peuplements et les phénomènes hydrologiques, les crues notamment, et d'autre part de mettre en évidence les relations entre les systèmes superficiel et souterrain.

Quel que soit le but à atteindre, l'échantillonnage de la faune aquatique des systèmes karstiques se heurte en premier lieu à l'inacessibilité de la majeure partie des vides susceptibles d'être peuplés par la faune (GINET et DECOU, 1977). Il faut donc effectuer les prélèvements aux exutoires des systèmes (par exemple la source de l'Aiguille) ou dans les grottes qui offrent un regard sur les écoulements souterrains (par exemple l'évent de Foussoubie).

Après le choix du lieu, se pose celui de la méthode la mieux adaptée à l'étude. Celle des substrats artificiels permet d'observer au même endroit **l'évolution** d'un échantillon du **peuplement en place** au cours du temps. Ceci peut être comparé à l'échantillonnage du milieu interstitiel par la méthode BOU-ROUCH (BOU, 1974) qui consiste à prélever un volume d'eau donné d'eau à l'aide d'une pompe fixée sur une sonde munie d'une crépine enfoncée dans les sédiments. En effet, avec ces deux méthodes, le volume prospecté est toujours le même dans ses dimensions et dans sa situation et c'est donc bien l'évolution temporelle d'un peuplement en place qui peut être ainsi observée. Tel est le cas des études qui ont été faites dans un site précis du milieu interstitiel d'un bras court-circuité du Rhône à l'amont de Lyon, en fonction des circulations des eaux superficielles et souterraines (MARMONIER et DOLE, 1986 ; MARMONIER, en prép.). Pour les **systèmes karstiques**, ce type d'étude est envisageable uniquement à l'aide des **substrats artificiels**, car les eaux filtrées drainent des milieux différents selon les conditions hydrologiques qui sont rarement les mêmes d'un prélèvement à l'autre. Ainsi, les résultats apportés par le seul filtrage des eaux donnent une image uniquement globale du système, mais ils ne permettent pas de comprendre quelle peut être l'évolution du peuplement d'un lieu précis du système, en réaction aux phénomènes hydrologiques.

L'utilisation des substrats artificiels rend possible l'étude des **échanges qui s'effectuent entre les systèmes superficiel et souterrain**. Citons pour exemple les fluctuations de la répartition spatiale des espèces au niveau de l'exutoire de l'Aiguille, mises en évidence par les substrats placés à l'amont et l'aval de la frontière physique séparant les systèmes souterrain et superficiel. Ces données n'auraient pu être obtenues par le filtrage des eaux.

Toutefois, les processus de colonisation des substrats artificiels peuvent être différents selon les taxons, notamment en fonction de la vitesse de circulation des eaux qui règne à proximité des appareils (citons par exemple les différences de capture des espèces de Cyclopoïdes entre les zones lente et rapide à l'évent de Foussoubie). De plus le vide de la maille du filet à utiliser lors de l'émersion des substrats doit être adapté aux espèces étudiées. Ces renseignements préliminaires devront être obtenus, au début de l'étude d'un système inconnu, par le filtrage des eaux lors de quelques crues (les résultats pouvant être différents selon les crues (GIBERT, 1986)) qui permettent de connaître **la majorité des** taxons qui vivent dans le système souterrain.



Etats que prennent les variables au cours des :
A : basses-eaux
B: hautes-eaux

DOMAINES DE FLUCTUATION / DE STABILISATION DU SYSTEME

Figure 81 : Représentation schématique des domaines de fluctuation et de stabilisation d'un système karstique (d'après BLANDIN et LAMOTTE, 1985).

Le système occupe deux états A, au cours de la période des basses-eaux, et B, pendant les hautes-eaux. Les variables peuvent sortir des états lors des crues "hydrochimiques" en étiage et "hydrodynamiques et hydrochimiques" en hautes-eaux. Le système entre alors dans le domaine de stabilisation puis retourne dans le domaine de fluctuation.

Pour étudier, par la méthode des **substrats artificiels,** les phénomènes importants que sont, d'une part les crues, éléments prépondérants de la dynamique des systèmes souterrains karstiques, d'autre part les interactions entre les systèmes souterrain et superficiel, un **protocole expérimental préliminaire** peut être proposé. Les **filtrages des eaux** de la crue mettant fin à l'étiage, et d'une ou deux autres crues au cours de la période des hautes-eaux, devront être réalisés au début de l'étude. Les résultats permettront d'une part **de bien adapter les substrats artificiels à la faune échantillonnée** et d'autre part de connaître les **effets à court terme de la crue** sur le peuplement global du système.

La méthode des substrats artificiels et le filtrage des eaux de crue doivent donc être utilisés en complément l'une de l'autre.

II HYDROLOGIE ET DYNAMIQUE DES PEUPLEMENTS.

Les analyses hydrochimiques, hydrothermiques, et dans une moindre mesure hydrodynamiques, ont montré que les deux systèmes étudiés sont caractérisés par un cycle hydrologique annuel qui présente une période de hautes-eaux et une période de basses-eaux. La première correspond à peu près à l'hiver et au printemps, alors que la seconde est estivale et automnale. Le système de Foussoubie se singularise par la présence, à l'amont, du ruisseau de la Planche qui alimente en partie les écoulements souterrains. Ceci ne doit pas masquer la participation importante des eaux d'infiltrations diffuses et des eaux des réserves du karst ; mais la dynamique qu'impose le ruisseau de la Planche est prépondérante dans l'évolution des peuplements du système de Foussoubie. En effet, ces entrées momentanées et massives d'eaux superficielles entraînent, dans le système souterrain, des organismes et des matières organiques. Certains des organismes épigés introduits font alors partie intégrante du peuplement souterrain, comme l'a montré ROUCH (1977 ; 1979) pour les Harpacticoïdes du karst du Baget, et ils impriment ainsi un rythme saisonnier par leur cycle de développement. Ces entrées d'animaux et de matières sont favorisées par les crues, qui peuvent alors être considérées comme des **"vecteurs d'information"** du milieu épigé vers le milieu souterrain.

Dans le système, les crues ont une action immédiate de **"dispersion des réserves énergétiques"** comme l'a démontré GIBERT (1986) dans le système à exsurgence de Dorvan-Cleyzieu. Elles peuvent alors être comparées à des "perturbations naturelles" (ce qui correspond aux "disturbances" de la littérature anglo-saxone (WHITE et PICKETT, 1985 ; RYKIEL, 1985)).

Ces crues qui naissent en partie à l'extérieur du système (comme dans le cas de Foussoubie avec les crues de la Planche) ou totalement à l'intérieur (cas de l'Aiguille), se propagent préférentiellement dans les drains majeurs et y agissent par "l'effet piston" sur les masses d'eaux et par "l'effet de chasse" sur les organismes. Mais cette "onde de choc" n'atteint pas directement tous les compartiments du karst. Certaines de ces zones protégées, par exemple le milieu interstitiel du ruisseau de l'évent de Foussoubie, offrent alors des abris aux organismes. Ainsi, le système karstique possède globalement, grâce à la grande hétérogénéité de ses vides, une **forte résistance** (au sens de WEBSTER et Coll. (1983) et de PIMM (1984)) à ces perturbations naturelles. En revanche, les sous-systèmes que sont **les drains** sont peu résistants aux effets directs des crues. Mais, grâce aux processus de recolonisation à partir des **"zones refuges",** ils peuvent retrouver progressivement les conditions précédant la crue ; ils possèdent donc une **forte résilience** (GIBERT, 1987).

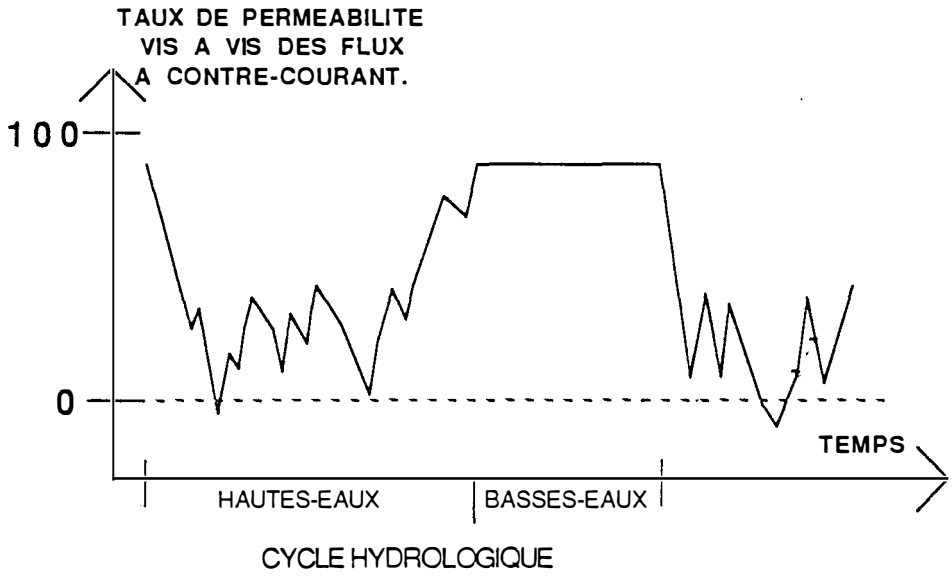


Figure 82 : Variations temporelles du taux de perméabilité vis-à-vis des flux d'un écotone aquatique [système superficiel/système souterrain karstique].

En période de hautes-eaux, l'écotone est presque imperméable vis-à-vis des flux qui s'exercent à contre-courant. En période de basses-eaux, la perméabilité de l'écotone n'est plus directionnelle.

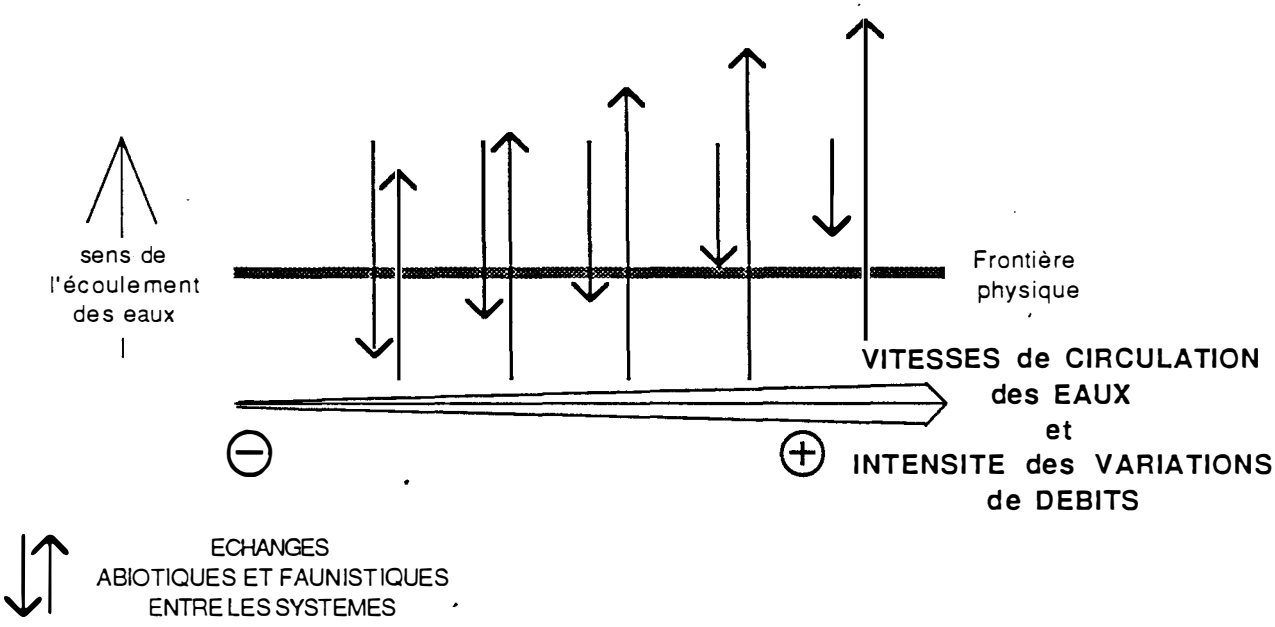


Figure 83 : Schéma théorique de la perméabilité des écotones aquatiques [système souterrain karstique/système superficiel] vis-à-vis des flux abiotiques et faunistiques.

Pour un écotone donné, le sens des échanges entre les deux systèmes adjacents est directement lié à la vitesse de circulation des eaux et à l'intensité des variations de débit. Plus les vitesses sont élevées et les variations de débit fortes et fréquentes, plus les flux sont unidirectionnels et suivent le sens des écoulements.

Par analogie, ce qui a déjà été suggérée par MANGIN (1975), pour le fonctionnement hydrologique, et par ROUCH (1977) par la notion "d'écosystème karstique", ces mécanismes biologiques ne sont pas sans rappeler le fonctionnement d'une rivière superficielle (l'axe de drainage principal du karst), son sous-écoulement et ses annexes comme par exemple les bras-morts (réseau de fentes et réserves du karst).

L'étude du système de Foussoubie au cours d'un cycle hydrologique et demi montre une succession de deux états. En hautes-eaux, la composante épigée fait partie intégrante **du peuplement** qui est ainsi très différent de celui observé en basses-eaux. Les **variables abiotiques** mettent aussi en évidence deux états qui correspondent à la partition du cycle hydrologique. Les fluctuations observées pendant la première période de hautes-eaux se reproduisent au cours de la seconde, indiquant que le système décrit un cycle stable (BLANDIN et LAMOTTE, 1985). Ces deux états, dont les variables peuvent présenter des valeurs différentes définissent le **domaine de fluctuation** du système défini par BLANDIN et LAMOTTE (1985). Pendant l'étiage, les crues "hydrochimiques", et au cours des hautes-eaux, les crues "hydrodynamiques et hydrochimiques", provoquent temporairement des perturbations. Les variables prennent alors des valeurs exceptionnelles, caractérisant un état temporaire qui définit le **domaine de stabilisation** (BLANDIN et LAMOTTE, 1985) (fig. 81). Puis, le système retourne progressivement dans son domaine de fluctuation.

Les crues n'ont donc pas d'effet destructeur, mais plutôt **régulateur du fonctionnement d'un système karstique** (GIBERT, 1986). Elles correspondent ainsi aux perturbations incorporées (incorporated disturbance) (*in* HANSEN et Coll., 1988).

III LES ECOTONES AQUATIQUES : MILIEUX SOUTERRAIN ET SUPERFICIEL.

Les données récoltées au cours de ce travail ont confirmé que les écotones et en particulier, les écotones aquatiques [système souterrain karstique/ système superficiel], sont **dynamiques** dans l'espace et dans le temps (HANSEN et Coll., 1988). Ces fluctuations peuvent s'effectuer dans un espace très grand puisque dans le cas de l'écotone [la Planche/système de Foussoubie], les interactions sont très fortes sur plusieurs kilomètres en période de hautes-eaux. Les zones d'interactions peuvent être spatialement discontinues dans le temps. Ainsi, au cours d'une crue, elles peuvent ne plus exister, pendant quelques instants, **au niveau du drain** que constitue le ruisseau de l'évent. Ces zones d'interactions sont, en raison de la dominance des eaux de la Planche, déplacées exceptionnellement vers d'autres zones du karst. Donc, si les interactions disparaissent **localement** (ici l'évent de Foussoubie), elles sont **globalement accentuées** entre les deux systèmes. Ceci laisse penser que les processus dus aux interactions qui sont observés à l'évent en période de hautes-eaux peuvent se dérouler dans ces nouvelles zones de contacts.

Dans le cas des écotones présentés dans ce travail, l'eau qui, par ses déplacements, agit sur leur dynamique, provoque des mouvements de matière et d'énergie et peut donc être considérée comme un **vecteur** au sens de FORMAN (1981). Les **flux** ansi créés vont rencontrer l'écotone, qui par définition va les modifier (WIENS et Coll, 1985), ce qui se traduit par des phénomènes de gradient, d'accumulation voire de production (GIBERT et Coll., 1988). L'écotone doit donc être qualifié par sa **perméabilité**, fonction importante pour les échanges entre les systèmes (WIENS et Coll., 1988 ; JONHSTON et NAIMAN, 1987).

Dans le cas de circulations d'eaux unidirectionnelles et à forte intensité, qui caractérisent le système de Foussoubie, il s'agit en période de hautes-eaux d'une perméabilité vis-à-vis des flux abiotiques et faunistiques, presque

totale dans le sens des écoulements et presque nulle dans l'autre. Elle reste cependant **sélective,** puisque certains taxons comme les Coléoptères et les Trichoptères ne transitent que rarement jusqu'à l'évent.

En revanche, dans le cas de vitesses de circulations des eaux moins fortes et moins fluctuantes, comme celles qui caractérisent le système de l'Aiguille, des vecteurs abiotiques peuvent **inverser les flux** par rapport au sens des écoulements. En effet, ceux-ci peuvent provoquer un flux contre un gradient (WIENS et Coll., 1985), comme le font par exemple les organismes qui, en été, remontent dans le griffon. La perméabilité n'est alors plus unidirectionnelle, mais tous les flux ne peuvent passer d'un système à l'autre. En effet, citons pour exemple l'absence de lumière, qui interdit tout développement des végétaux dans le système souterrain. L'écotone reste donc "semi-perméable" (NAIMAN et Coll, 1988).

Ces phénomènes peuvent aussi se manifester pour l'écotone amont [la Planche/système de Foussoubie] en étiage. Pour un système donné, il faut donc prendre en compte les **variations temporelles** du taux de perméabilité en fonction de la période du cycle hydrologique (fig. 82).

Ces résultats sont en accord avec la classification fonctionnelle des écotones aquatiques [systèmes souterrains/systèmes superficiels] basée sur la dynamique des eaux proposée par GIBERT et Coll. (1988).

Dans le cas des écotones aquatiques [système souterrain karstique/système superficiel], **le taux de perméabilité** vis-à-vis de la majorité des flux abiotiques et faunistiques **est directement liée aux vitesses de circulations, à la fréquence et à la force des variations de débit.**

Les recherches futures peuvent être concentrées sur ces **zones d'échanges** entre les milieux superficiel et souterrain. Les phénomènes à mettre en évidence ne devront pas être uniquemement liés à l'aspect quantitatif des flux, puisque les deux milieux en contact ont des productions très différentes. C'est pourquoi, il paraît intéressant d'aborder l'**aspect qualitatif de la perméabilité des écotones** vis-à-vis des flux. Celle-ci pourrait être comparée pour différents systèmes qui offrent des conditions hydrologiques différentes dans le but de vérifier l'hypothèse suivante :

"la perméabilité de l'écotone formé par le contact entre deux systèmes karstique et superficiel est liée à l'hydrodynamique. Ainsi, plus les vitesses de circulations sont élevées et plus les variations de débit sont fortes et fréquentes, plus la perméabilité est unidirectionnelle (fig. 83)".

Cette hypothèse pourrait éventuellement être testée pour tous les écotones issus du contact entre deux systèmes écologiques aquatiques quelconques.

TRAVAUX CITES

ooooooo

ADAM C. (1979) : Composition des eaux souterraines du département de l'Ardèche. *Th. Doct. Spéc., Univ. Lyon I*, 172 p.

ANDRIEUX C. (1972) : Le système karstique du Baget. I. Sur la thermique des eaux au niveau de l'exutoire principal (note préliminaire). *Annls Spéléol.*, 27, 3, 525-541.

ANDRIEUX C. (1978) : Les enseignements apportés par la thermique dans le karst. *Réunion A.G.S.O.*, Tarbes 1978, *Ed. Sepmart*, Toulouse, 49-63.

A.R.A.L.E.P.B.P. (1986-a) : Suivi hydrobiologique du Haut-Rhône de l'aménagement de Chautagne (79-85). *Rapport à la C.N.R.*, Lyon, 68 p.

A.R.A.L.E.P.B.P. (1986-b) : Suivi hydrobiologique du Rhône au niveau de la centrale nucléaire de Saint Alban - Saint Maurice. Année 85. *Rapport à E.D.F.*, Lyon, 51 p.

AUDA Y. (1983) : Rôle des méthodes graphiques en analyse de données : application au dépouillement des enquêtes écologiques. *Th. Doct. Spéc., Univ. Lyon I*, 127 p.

AUDA Y. (1985) : Logiciel graphique pour analyse des données (Fortran 77). *Doc. Lab. Biom., Univ. Lyon I*, 107p.

BAKALOWICZ M. (1974) : Géochimie des eaux d'aquifères karstiques. 1. Relation entre minéralisation et conductivité. *Annls Spéléol.*, 29, 2, 167-173.

BAKALOWICZ M. (1975) : Variations de la conductivité d'une eau en fonction de la température et précision des mesures. *Annls Spéléol.*, 30, 1, 3-6.

BAKALOWICZ M. (1979) : Contribution de la géochimie des eaux à la connaissance de l'aquifère karstique et de la karstification. *Th. Et., Univ. Paris VI*, 269 p.

BAKALOWICZ M. (1981) : Les eaux d'infiltration dans l'aquifère karstique. *Proc. 8 th. Int. Cong. Spéléol.*, Bowling-Green U.S.A., 710-713.

BAKALOWICZ M. et A. AMINOT (1974) : Géochimie des eaux d'aquifères karstiques. III. Premiers résultats obtenus sur le système karstique du Baget durant le cycle hydrologique 1973. *Annls Spéléol.*, 29, 4, 484-493.

BAKALOWICZ M. et A. MANGIN (1980) : L'aquifère karstique. Sa définition, ses caractéristiques et son identification. *Mém. h. sér. Soc. géol. France*, 11, 71-79.

BALAZUC J. (1986) : Spéléologie du département de l'Ardèche. *Ed. Bouquinerie Ardéchoise*, Aubenas, 189 p.

BARTHELEMY D. (1984) : Impact des pollutions sur la faune stygobie karstique : approche typologique sur seize émergences des départements de l'Ain et du Jura. *Th. Doct. Spéc., Univ. Lyon I*, 181 p.

BELLEVILLE L. (1985) : Hydrogéologie karstique. Géométrie, fonctionnement et karstogenèse des systèmes karstiques des Gorges de l'Ardèche (Ardèche, Gard). *Th. Doct. Spéc., Univ. Grenoble*, 228 p.

BENFIELD E.F., HENDRICKS A.C. and J. CAIRNS Jr. (1974) : Proficiencies of two artificial substrates in collecting stream macroinvertebrates. *Hydrobiologia*, 45, 4, 431-440.

BISHOP J.E. (1973) : Observations on the vertical distribution of the benthos in a Malasian stream. *Freshwat. Biol.*, 3, 147-156.

BLANDIN P. et M. LAMOTTE (1985) : Ecologie des systèmes et aménagement : Fondements théoriques et principes méthodologiques. *In* Lamotte M. : Fondements rationnels de l'aménagement d'un territoire, Ed. Masson, Paris, 140-161.

BLAVOUX B. et J. MUDRY (1983) : Séparation des composantes de l'écoulement d'un exutoire karstique à l'aide des méthodes physico-chimiques. *Hydrogéologie, Géologie de l'Ingénieur*, 4, 269-278.

BOISSON J.C. et F. PROST (1984) : Technique de prélèvement des sédiments de cours d'eau : utilisation de substrats artificiels. *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, 22, 3, 1735-1738.

BOTOSANEANU L. (1986) : Stygofauna mundi. A Faunistic, distributional and ecological synthesis of the world fauna inhabiting subterranean waters (including the marine interstitial). *Ed. E.J. Brill / Dr. W. Backhuys*, 740 p.

BOU C. (1974) : Recherches sur les eaux souterraines. 25. Methodes de récolte dans les eaux souterraines interstitielles. *Annls Spéléol.*, 29, 4, 611-619.

BOUILLON M. (1964) : Contribution à l'étude ecologique des Amphipodes du genre *Niphargus* dans les Pyrénées Centrales. *Annls. Spéléol.*, 19, 3, 537-551.

BOURNAUD M. et C. AMOROS (1984) : Des indicateurs biologiques aux descripteurs de fonctionnement : quelques exemples dans un système fluvial. *Bull. Ecol.*, 15, 1, 57-66.

BOURNAUD M., CHAVANON G. et H. TACHET (1978) : Structure et fonctionnement des écosystèmes du Haut-Rhône français. 5. Colonisation par les macroinvertébrés de substrats artificiels suspendus en pleine eau ou posés sur le fond. *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, 20, 1485-1493.

BOURNAUD M. et M. THIBAULT (1973) La dérive des organismes dans les eaux courantes. *Annls Hydrobiol.*, 4, 11-49.

BOUROCHE B.J.M. et S.G. SAPORTA (1983) L'analyse des données. *Coll. "Que sais-je", 2ème Ed., P.U.F.*, Paris, 127 p.

CAIRNS Jr. J. (Ed.) (1982) : Artificial substrates. *Ann. Arbor. Science Publishers Inc.*, Ann. Arbor., Michigan, 276 p.

CALLOT Y. (1978) : A propos des plateaux ardéchois : karst, rapport fond-surface et évolution des paysages calcaires ou en roche perméable cohérente. Essai sur les paramètres influant dans la formation des paysages calcaires ou en roche perméable. *Th. Doct. Spéc., Univ. Reims*, 384 p.

CARREL G., BARTHELEMY D., AUDA Y. et D. CHESSEL (1986) : Approche graphique de l'analyse en composantes principales normée : utilisation en hydrobiologie. *Acta Œcologica, Œcol. Gener.*, 7, 2, 189-203.

CASTANY G. et J. MARGNAT (1977) : Dictionnaire français d'hydrogéologie. *B.R.G.M.*, Orléans, 249 p.

CELLOT B. (1982) : Cycle annuel et zonation de la dérive des macro-invertébrés du Rhône en amont de Lyon. *Th. Doct. Spéc., Univ. Lyon I*, 161 p.

CELLOT B. et M. BOURNAUD (1984) : Dynamique saisonnière des mouvements de l'eau et des particules en suspension dans un fleuve. *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, 22, 3, 2002-2008.

CELLOT B. et M. BOURNAUD (1986) : Modifications faunistiques engendrées par une faible variation de débit dans une grande rivière. *Hydrobiologia*, 135, 223-232.

CELLOT B., BOURNAUD M. and H. TACHET (1984) : The movements of the larvae of *Hydropsyche* (trichoptera) in a large river. *Entomologica*, 30, 57-68.

CHAUVIN C. (1987) : Une application de la méthode de filtrage aux exsurgences ascendantes. *Bull. Sci. Bourg.*, 40, 61-65.

CHESSEL D. et J. THIOULOUSE (1983) : ECOBASIC. Programmathèque d'analyse de données écologiques. *Documents pour la pratique de l'écologie statistique, I.A.S.B.S.E., Univ. Lyon I*, 34 p.

CHEVALIER J. (1988) : Hydrodynamique de la zone non saturée d'un aquifère karstique : étude expérimentale. Site du Lamalou-Languedoc. *Th. Doct. Spéc., Univ. Montpellier*, 212 p.

COLEMAN M.J. and H.B.N. HYNES (1970) : The vertical distribution of the invertebrate fauna in the bed of a srteam. *Limnol. Oceanogr.*, 15, 1, 31-40.

COLOMBANI L. (1987) : Fréquentation touristique et protection de l'environnement dans la réserve naturelle des Gorges de l'Ardèche. *Th. Doct. Spéc., Univ. Lyon I*, 287 p.

COMBIER J., PORTE J.L. et P. OLLIER de MARICHARD (1982) : La préhistoire. *In* La réserve naturelle des gorges de l'Ardèche, *Ed. Comité Scientifique de la Réserve Naturelle des Gorges de l'Ardèche*, Aubenas, 25-33.

Comission Météorologique Départementale de l'Ardèche (1984) Annales météorologiques 1984. *Ed. Comission Météorologique Départementale*, 167 p.

Comission Météorologique Départementale de l'Ardèche (1985) : Annales météorologiques 1985. *Ed. Comission Météorologique Départementale*, 178 p.

Comission Météorologique Départementale de l'Ardèche (1986) : Annales météorologiques 1986. *Ed. Comission Météorologique Départementale*, 54 p.

CONSEIL INTERNATIONAL de la LANGUE FRANCAISE (1978) : Vocabulaire de l'Hydrologie et de la Météorologie. *Ed. La Maison du Dictionnaire*, Paris, 239 p.

COVER E.C. and R.C. HARREL (1978) : Sequences of colonization, diversity, biomass, and productivity of macroinvertebrates on artificial substrates in freshwater canal. *Hydrobiologia*, 59, 1, 81-95.

COWELL B.C. (1984) : Benthic invertebrate recolonization of small-scale disturbances in the littoral zone of a subtropical Florida lake. *Hydrobiologia*, 109, 193-205.

CROSSMAN J.S. and J. CAIRNS Jr. (1974) : A comparative study between two different artificial substrate samples and regular sampling techniques. *Hydrobiologia*, 44, 4, 517-522.

DECAMPS H. et H. LAVILLE (1975) : Invertébrés et matières organiques entrainés lors des crues à l'entrée et à la sortie du système karstique du Baget. *Annls Limnol.*, 11, 3, 287-296.

DECAMPS H. et R. ROUCH (1973) : Recherches sur les eaux souterraines. Le système karstique du Baget. I. Premières estimations sur la dérive des invertébrés aquatiques d'origine épigée. *Annls Spéléol.*, 28, 1, 89-110.

DEJOUX C., JESTIN J.M. et J.J. TROUBAT (1983) : Validité de l'utilisation d'un substrat artificiel dans le cadre d'une surveillance écologique des rivières tropicales traitées aux insecticides. *Rev. Hydrobiol. Trop.*, 16, 2, 181-193.

DE PAW N., ROELS D. and A.P. FONTOURA (1986) : Use of artificial substrates for standardized sampling of macroinvertebrates in the assessment of water quality by the Belgian Biotic Index. *Hydrobiologia*, 133, 237-258.

DE ROSNAY J. (1975) : Le macroscope. Vers une vision globale. *Ed. du Seuil*, Paris, 295 p.

DESSAIX J. (1980) : Les Gammares du Rhône en amont de Lyon. Dynamique des populations et estimations de production. *Th. Doct. Spéc., Univ. Lyon I*, 129 p.

DEUTSCH W.G. (1980) : Macroinvertebrate colonization of acrylic plates in a large river. *Hydrobiologia*, 75, 65-72.

DOLE M.J. (1983) : Le domaine aquatique souterrain de la plaine alluviale du Rhône à l'est de Lyon; écologie des niveau supérieurs de la nappe. *Th. Doct. Spéc., Univ. Lyon I*, 168 p.

DOLE M.J. et D. CHESSEL (1986) : Stabilité physique et biologique des milieux interstitiels. Cas de deux stations du Haut-Rhône. *Annls Limnol.*, 22, 1, 69-81.

DOLEDEC S. (1986) : Les peuplements de macroinvertebrés benthiques du cours inférieur de l'Ardèche. Dynamique spatio-temporelle. *Th. Doct. Spéc., Univ. Lyon I*, 246 p.

DOLEDEC S. et D. CHESSEL (1987) : Rythmes saisonniers et composantes stationnelles en milieu aquatique. I. Description d'un plan d'observation complet par projection de variables. *Acta Œcologica, Œcol. Gener.*, 8, 3, 403-426.

DROGUE C. (1969) : Contribution à l'étude quantitative des systèmes hydrologiques karstiques, d'après l'exemple de quelques karsts périméditerranéens. *Th. Doct. Spéc., Univ. Montpellier*, 92 p.

DROGUE C. (1971) : Coefficient d'infiltration ou infiltration efficace sur les roches calcaires. *1er Coll. Hydrol. Pays Calcaire, Annls Scient. Univ. Besançon*, 15, 121-130.

DROGUE C. (1980) : Essai d'identification d'un type de structure de magasins carbonatés, fissurés. Application à l'interprétation de certains aspects du fonctionnement hydrogéologique. *Mém. h. sér. Soc. géol. France*, 11, 101-108.

DROGUE C. (1982) : L'aquifère karstique, un domaine perméable original. *Courrier du C.N.R.S.*, Paris, 44, 293-311.

DROGUE C. et A.M. LATY (1983) : Les eaux souterraines des karsts méditerranéens. Exemple de la région pyrénéo-provençale (France méridionale). *Bull. B.R.G.M., Hydrogéol. Géol. de l'Ingénieur*, 4, 293-311.

DUMONT H.J. (1987) : Groundwater Cladocera : a synopsis. *Hydrobiologia*, 145, 169-173.

DUSSART B. (1969) : Les copépodes des eaux continentales d'Europe occidentale. T. II- Cyclopoïdes et biologie. *Ed. Boubée*, 290 p.

ELOUARD J.M. (1984) : Un nouveau type de substrat artificiel de surface pour échantillonner la faune invertébrée lotique. *Rev. Hydrobiol. Trop.*, 17, 1, 77-81.

ELOUARD P. (1982) : Eléments de géologie. *In* La réserve naturelle des gorges de l'Ardèche. *Ed. Comité Scientifique des Gorges de l'Ardèche*, Aubenas, 5-11.

FALK P. (1982) : Bref aperçu des peuplements animaux. *In* La réserve naturelle des gorges de l'Ardèche. *Ed. Comité Scientifique des Gorges de l'Ardèche*, Aubenas, 12-24.

FLANNAGAN J.F. and D.M. ROSENBERG (1982) : Type of artificial substrates used for sampling fresh water benthic macroinvertebrates. *In* Artificial Substrates, *Ed. J. Cairns Jr., Ann. Arbor. Science Publishers Inc.*, Ann. Arbor., Michigan, 237-266.

FRONTIER S. (1978) : Interface entre deux écosystèmes : exemple dans le domaine pélagique. *Ann. Inst. océanogr.*, Paris, 54, 2, 95-106.

FRONTIER S. (1983) : Stratégies d'échantillonnage en écologie. *Ed. Masson*, Paris, 494 p.

FULLNER W. (1971) : A comparison of macroinvertebrates collected by basket and modified multiple-plate samplers. *Jour. Water. Poll. Control Fed.*, 43, 3, 494-499.

GASCHIGNARD-FOSSATI O. (1986) : Répartition spatiale des macroinvertébrés benthiques d'un bras vif du Rhône : rôle des crues et dynamique saisonnière. *Th. Doct. Spéc., Univ. Lyon I*, 197 p.

GIBERT J. (1987) : VIII. Underground waters. Functional sub-units of an exsurgence karstic system, and exchanges with the surface environment. Reflectionns on the characterization of natural aquatic groundwater ecosystems. *Verh. Internat. Verein. Limnol.* (sous presse).

GIBERT J. (1986) : Ecologie d'un système karstique jurassien. Hydrogéologie, dérive animale, transits de matières, dynamique de la population de *Niphargus* (Crustacé Amphipode). *Th. Et., Univ. Lyon I, Mém. Biospéol.*, 379 p.

GIBERT J., DOLE-OLIVIER M.J., MARMONIER P. et P. VERVIER (sous-presse) : Groundwater ecotones. *In* Land/Inland Ecotones : strategies for research and management. *R.J. Naiman et H. Decamps, Cambridge University Press*, 1988.

GIBERT J. et R. LAURENT (1982) : L'écosystème karstique du massif de Dorvan (Torcieu, Ain, France). IV. La dérive d'invertébrés hypogés aquatiques au niveau de l'exutoire principal du massif. *5ème Coll. Int. sur Gammarus et Niphargus*, Lodz Pologne, *Pol. Arch. Hydrobiol.*, 29, 2, 471-483.

GIBERT J., LAURENT R. et I. MÜLLER (1984) : L'écosystème karstique du massif de Dorvan (Torcieu, Dpt. Ain, France). VI. Analyse hydrochimique et hydrobiologique d'une crue de printemps au niveau de l'exutoire principal. *Bull. Centre Hydrogeol., Univ. Neuchâtel*, 5, 71-90.

GINET R. et V. DECOU (1977) : Initiation à la biologie et à l'écologie souterraines. *Ed. Delarge*, Paris, 345 p.

HANSEN A.J., DI CASTRI F. and R.J. NAIMAN (1988) : Ecotones : what and why ? *Biology Internationnal*, Special issue 17, 9-46.

HANSEN A.J., DI CASTRI F. and P.G. RISSER (1988) : A new SCOPE project. Ecotones in a changing environment : the theory and management of landscape boundaries. *Biology Internationnal*, Special issue 17, 137-161.

HOLLAND M.M. (1988) : SCOPE/MAB technical consultations on landscape boundaries. Report of a SCOPE/MAB workshop on ecotones. *Biology Internationnal*, Special issue 17, 47-106.

HYNES H.B.N. (1974) : Further studies on the distribution of stream animals within the substratum. *Limnol. Oceanogr.*, 19, 1, 92-99.

JOHNSTON C.A. and R.J. NAIMAN (1987) : Boundary dynamics at the aquatic-terrestrial interface : The influence of beaver and geomorphology. *Landscape Ecology*, 1, 1, 47-57.

JUBERTHIE C. et L. JUBERTHIE-JUPEAU (1975) : La réserve biologique du laboratoire souterrain du C.N.R.S. à Sauve (Gard). *Annls Spéléol.*, 30, 539-551.

KHALAF G. et H. TACHET (1977) : La dynamique de colonisation des substrats artificiels par les macroinvertébrés d'un cours d'eau. *Annls Limnol.*, 13, 2, 169-190.

KHALAF G. et H. TACHET (1978) : Un problème d'actualité : revue de travaux en matière d'utilisation des substrats artificiels pour l'échantillonnage des macroinvertébrés des eaux courantes. *Bull. Ecol.*, 9, 78, 29-38.

KHALAF G. and H. TACHET (1980) : Colonization of artificial substrata by macro-invertebrates in a stream and variations according to stone size. *Freshwat. Biol.*, 10, 475-482.

KIRALY L. et I. MÜLLER (1979) : Hétérogénéité de la perméabilité et de l'alimentation dans le karst : effet sur la variation du chimisme des sources karstiques. *Bull. Centre Hydrogéol., Univ. Neuchâtel*, 3, 237-285.

KREIS R.D., SMITH R.L. and J.E. MOYER (1971) : The use of limestone-filled basket samplers for collecting reservoirs macroinvertebrates. *Wat. Res.*, 5, 1099-1106.

LAPCHIN L. (1977) : Utilisation de substrats artificiels pour l'étude des populations d'invertébrés benthiques. Résultats préliminaires dans un ruisseau à Salmonidés de Bretagne. *Annls Hydrobiol.*, 8, 1, 33-44.

LAVILLE H. (1974) : Utilisation de substrats artificiels pour l'étude de la faune macrobenthique de la zone littorale rocheuse des lacs de montagne. *Annls Limnol.*, 10, 2, 163-172.

LE ROUX (Ed.) (1984) : Système goule/évent de Foussoubie. Historique résumé de son exploration. Avril 1984. *Soc. Et. Rech. Archéol. Hist. Vagnas (Ardèche)*, 18, 12-20.

MANGIN A. (1975-a) : Contribution à l'étude hydrodynamique des aquifères karstiques. *Annls Spéléol.*, 29, 3, 283-332 ; 29, 4, 495-601 et 30, 1, 21-124.

MANGIN A. (1975-b) : Notion de système karstique. *Spelunca Mém.*, 8, 65-68.

MANGIN A. (1983) : L'approche systémique du karst, conséquences conceptuelles et méthodologiques. *Reunion monografica sobre el karst*, Larra, 141-157.

MANGIN A. (1984) : Pour une meilleure connaissance des systèmes hydrologiques à partir des analyses corrélatoire et spectrale. *J. Hydrol.*, 67, 25-34.

MANGIN A. (1985) : Progrès récents dans l'étude hydrogéologique des karsts. *Stygologia*, 1, 3, 239-257.

MARMONIER P. (en prép.) : Les biocénoses interstitielles de secteurs court-circuités du Haut-Rhône français. Utilisation pour la cartographie des mouvements des eaux souterraines et effets des crues. Ecologie et valeur descriptive des Ostracodes *Candoninae* stygobies de la région lyonnaise. *Th. Doct. Spéc., Univ. Lyon I.*

MARMONIER P. et M.J. DOLE (1986) : Les Amphipodes des sédiments d'un bras court-circuité du Rhône. Logique de répartition et réaction aux crues. *Sciences de l'eau*, 5, 461-486.

MARTEL E.A. (1930) : La France ignorée. Nord, Ouest, Centre, Causses et Pyrénées. Ed. Delagrave, Paris, 125-145.

MATHIEU J., MARTIN D. et P. HUISSOUD (1984) : Influence des conditions hydrologiques sur l'évolution de la structure spatiale et de la démographie d'une population phréatique de l'Amphipode *Niphargus rhenorhodanensis*. Premiers résultats. *Mém. Biospéol.*, 11, 27-36.

MATHIEU J., DEBOUZIE D. et D. MARTIN (1987) : Influence des conditions hydrologiques sur la dynamique d'une population phréatique de *Niphargus rhenorhodanensis* (Amphipode souterrain). *Vie Milieu*, 37, 3/4, 193-200.

MAZELLIER R. (1971) : Contribution à l'étude géologique et hydrogéologique des terrains crétacés du Bas-Vivarais. *Th. Doct. Spéc., Univ. Montpellier*, 86p.

MISEREZ J.J. (1973) : Géochimie des eaux du karst jurassien. *Th. Doct. Spéc., Univ. Neuchâtel*, 299 p.

MOESCHLER P. (1982) : Traçage des eaux souterraines dans le karst neuchâtelois à l'aide d'éléments aquatiques d'origine épigée. *Bull. Centre Hydrogéol., Univ. Neuchâtel*, 4, 41-58.

MOESCHLER P., MÜLLER I., SCHOTTERER U. et U. SIEGENTHALER (1982) : Les organismes vivants, indicateurs naturels dans l'hydrodynamique du karst, confrontés aux données isotopiques, chimiques et bactériologiques, lors d'une crue de la source de l'Areuse (Jura neuchâtelois, Suisse). *Beitraege zur geologie der schweiz-Hydrologie*, 28, 1, 213-224.

MORRIS D.L. and M.P. BROOKER (1979) : The vertical distribution of macro-invertebrates in the substratum of the upper reaches of the River Wye, Wales. *Freshwat. Biol.*, 9, 573-583.

MUDRY J. (1987) : Apport du traçage physico-chimique naturel à la connaissance hydrocinématique des aquifères carbonatés. *Th. Et., Univ. Besançon, Annls Scient. Univ. Besançon*, 381 p.

MUDRY J., KIRALY L. et I. MÜLLER (1979) : Analyse multivariée des chimismes de quelques sources karstiques du Jura suisse et franc-comtois. *Bull. Centre Hydrogéol., Univ. Neuchâtel*, 3, 183-221.

MÜLLER I. et R. PLANCHEREL (1982) : Contribution à l'étude de l'hydrogéologie karstique du massif du Vanil noir et de la chaîne des Gastlosen (Préalpes fribourgeoises, Suisse). *Bull. Soc. fribourg. Sci. Nat.*, 71, 1, 2, 102-132.

NAIMAN R.J., DECAMPS H., PASTOR J. and C.A. JOHNSTON (1988) : The potential importance of boundaries to fluvial ecosystems. *J. N. Am. Benthol. Soc.*

NAIMAN R.J., HOLLAND M.M., DECAMPS H. and P.G. RISSER (1988) : A new UNESCO programme : research and management of land/inland water ecotones. *Biology Internationnal*, Special issue 17, 107-136.

NILSON L.M. and P. SJÖSTRÖM (1977) : Colonization of implanted substrates by differently sized *Gammarus pulex* (Amphipoda). *Oikos*, 28, 1, 43-48.

ODUM E.P. (Ed.) (1971) : Ecotones and the concept of edge effect. *In* Fundamentals of ecology, *W.B. Saunders company*, Philadelphia, 157-159.

PIMM S.L. (1984) : The complexity and stability of ecosystems. *Nature*, 307, 321-326.

PINAY G. (1984) : Etude de la faune souterraine d'un massif karstique du Jura (Dpt. du Doubs). Essai de typologie de ses différentes résurgences. *D.E.A., Univ. Lyon I*, 24 p.

POOLE W.C. and K.W. STEWART (1976) : The vertical distribution of macrobenthos within the substratum of the Brazos River, Texas. *Hydrobiologia*, 50, 151-160.

RABENI C.F. and G.W. MINSHALL (1977) : Factors affecting microdistribution of stream benthic insects. *Oikos*, 29, 33-43.

RAYMOND P. (1897) : Les rivières souterraines de la Dragonnière et de Midroï (Ardèche). *Mém. Soc. Fr. Spéléol.*, 10, 1, 40 p.

REYGROBELLET J.L. et M.J. DOLE (1982) : Structure et fonctionnement des écosystèmes du Haut-Rhône français. XVII. Le milieu interstitiel de la "lône du Grand Gravier"; premiers résultats hydrologiques et faunistiques. *Pol. Arch. Hydrobiol.*, 29, 2, 485-500.

REYGROBELLET J.L., MATHIEU J., GINET R. et J. GIBERT (1981) : Structure et fonctionnement des écosystèmes du Haut-Rhône français. VIII. Hydrologie de deux stations phréatiques dont l'eau alimente des bras morts. *Actes 2ème Int. Symp. Groundwater Ecology*, Blacksburg U.S.A., *Int. J. Speleol.*, 11, 1/2, 129-139.

RIABOFF H. (1985) : La population de *Niphargus rhenorhodanensis* (Amphipode Gammaridae) de la forêt de Chassagne (Ain, France). Etude de la colonisation de substrats artificiels en fonction du régime hydrologique des canaux de drainage. *D.E.A., Univ. Lyon I*, 68 p.

RICHARDOT-COULET M., RICHOUX P. et C. ROUX (1983) : Structure et fonctionnement des écosystèmes du Haut-Rhône français. 29. Structure des peuplements de macroinvertebrés benthiques d'un ancien méandre. *Arch. Hydrobiol.*, 96, 3, 363-383.

ROBINSON C.T. and G.W. MINSHALL (1986) : Effects of disturbance frequency on stream benthic community structure in relation to canopy cover and season. *J. N. Am. Benthol. Soc.*, 5, 3, 237-248.

RODIER J. (1975) : L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer. *Ed. Dunod*, Paris, 1, 629 p.

ROSENBERGH D.M. and V.H. RESH (1982) : The use of artificial substrates in the study of freshwater benthic macroinvertebrates. *In* Artificial Substrates, *Ed. J. Cairns Jr., Ann. Arbor. Science Publishers Inc.*, Ann. Arbor., Michigan, 175-235.

ROUCH R. (1968) : Recherches sur les eaux souterraines. I. Sur les eaux souterraines continentales et l'importance de leur peuplement. *Annls Spéléol.*, 23, 4, 693-703.

ROUCH R. (1970) : Recherches sur les eaux souterraines. 12. Le sytème karstique du Bagét. I. Le phénomène "d'hémorragie" au niveau de l'exutoire principal. *Annls Spéléol.*, 25, 3, 665-709.

ROUCH R. (1972) : Recherches sur les eaux souterraines. 17. Le sytème karstique du Baget. II. Etude des Harpacticides rejetés au niveau de Las Hountas au cours de plusieurs crues du cycle hydrologique 1970-1971. *Annls Spéléol.*, 27, 1, 139-176.

ROUCH R. (1977) : Considérations sur l'écosystème karstique. *C.R. Acad. Sc.*, Paris, D, 284, 1101-1103.

ROUCH R. (1980-a) : Le système karstique du Baget. IX. La communauté des Harpacticides. Richesse spécifique, diversité et structures d'abondances de la nomocénose hypogée. *Annls Limnol.*, 16, 1, 1-20.

ROUCH R. (1980-b) : Le système karstique du Baget. XI. La communauté des Harpacticides sur l'évolution de la nomocénose épigée au sein de l'aquifère. *Annls Limnol.*, 16, 3, 299-314.

ROUCH R. (1982-a) : Le système karstique du Baget. XII. La communauté des Harpacticides. Sur l'indépendance des nomocénoses épigée et hypogée. *Annls Limnol.*,18, 1, 41-54.

ROUCH R. (1982-b) : Le système karstique du Baget. XIII. Comparaison de la dérive des Harpacticides à l'entrée et à la sortie de l'aquifère. *Annls Limnol.*,18, 2, 133-150.

ROUCH R. (1984) : Les structures de peuplements des Harpacticides dans l'écosystème karstique. *Crustaceana, Suppl.*, 7, 359-368.

ROUCH R. (1986) : Sur l'écologie des eaux souterraines dans le karst. *Stygologia*, 2, 4, 352-398.

ROUCH R. et L. BONNET (1977-a) : Le système karstique du Baget. VI. La communauté des Harpacticides. Signification des échantillons récoltés lors des crues au niveau de deux exutoires du système. *Annls Limnol.*, 13, 3, 227-249.

ROUCH R. et L. BONNET (1977-b) : Le système karstique du Baget. VII. La communauté des Harpacticides. Structure du peuplement hypogé pendant les crues. *Annls Limnol.*, 13, 3, 251-259.

ROUCH R. et A. CARLIER (1985-a) : Le système karstique du Baget. XIV. La communauté des Harpacticides. Evolution et comparaison des structures du peuplement épigé l'entrée et à la sortie de l'aquifère. *Stygologia*, 1, 1, 71-92.

ROUCH R. et A. CARLIER (1985-b) : Le système karstique du Baget. XV. Le peuplement des Harpacticides épigés. Analyse de prélèvements synchrones à l'entrée et à la sortie de l'aquifère. *Stygologia*, 1, 2, 224-238.

ROUCH R. et R. GINET (1983) : Recherches sur l'écosystème aquatique karstique. *In* Travaux Français en Limnologie, *Ed. R. Lesel, Ass. Fr. Limnol.*, Paris, 262-269.

ROUX A.L., TACHET H. et M. NEYRON (1976) : Structure et fonctionnement des écosystèmes du Haut-Rhône français. III. Une technique simple et peu onéreuse pour l'étude des macroinvertébrés benthiques des grands fleuves. *Bull. Ecol.*, 7, 4, 493-496.

RYKIEL Jr. E.J. (1985) : Towards a definition of ecological disturbance. *Australian Journal of Ecology*, 10, 361-365.

SHAW D.W. and G.W. MINSHALL (1980) : Colonization of an introduced substrate by stream macroinvertebrates. *Oikos*, 34, 259-271.

SLACK K.V., FERREIRA R.F. and R.C. AVERETT (1986) : Comparison of four artificial substrates and the ponar grab for benthic invertebrate collection. *Water Ress. Bull.*, 22, 2, 237-248.

SLAMA P. (1976) : Coloration de Foussoubie. *Bull. Info. du M.A.S.C.*, 10, 42-48.

SLAMA P., LEROUX P., CHEDHOMME J. et E. CHEILLETZ (1981) : Etat actuel des recherches dans la goule de Foussoubie et dans diverses autres cavités au confluent de l'Ardèche et de l'Ibie. Vallon-Pont d'Arc. Ardèche. *Spelunca*, 2, 28-31.

SYLVESTRE-BARON P. (1976) : Ecosystèmes et dynamique des systèmes. *Analyse de Systèmes*, 2, 3, 49 p.

TISSOT G. et P. TRESSE (1978) : Etude des systèmes karstiques du Lison et du Verneau, région de Nans-sous-Sainte Anne (Doubs). *Th. Doct. Spéc., Univ. Besançon*, 134 p.

TURQUIN M.J. (1976) : Choix d'un traceur biologique dans un système karstique jurassien. *2ème Coll. Hydrol. Pays Calcaire, Annls Scient. Univ. Besançon*, 25, 423-429.

TURQUIN M.J. (1981) : Profil démographique et environnement chez une population de *Niphargus virei* (Amphipode troglobie). *Bull. Soc. Zool. Fr.*, 106, 4, 457-466.

TURQUIN M.J. (1984) : Age et croissance de *Niphargus virei* (Amphipode pérennant) dans le système karstique de Drom : méthodes d'estimation. *Mém. Biospéléol.*,11, 37-49.

TURQUIN M.J. (1986) : Mortalité et stock de l'Amphipode *Niphargus virei*, dans le système karstique de Drom. *Bull. Mens. Soc. Linn. Lyon*, 55, 9, 293-304.

VERNEAUX J., FAESSEL B. et G. MALESIEUX (1977) : Note préliminaire à la proposition de nouvelles méthodes de détermination de la qualité des eaux courantes. *Internal Report, Centre Hydrobiol. Univ. Besançon et Lab. Hydroécol. C.T.G.R.E.F.*

VERVIER P. (1984) : Le milieu aquatique souterrain des Gorges de l'Ardèche. Premiers résultats hydrologiques et faunistiques. *D.E.A., Univ. Lyon I*, 22 p.

VERVIER P. (1984) : Etude du peuplement souterrain karstique de la réserve naturelle. *1er rapport de travail à la convention d'étude et au conseil régional Rhone-Alpes, Univ. Lyon I*, 16 p.

VERVIER P. (1985) : Etude du peuplement souterrain karstique de la réserve naturelle. *2ème rapport de travail à la convention d'étude et au conseil régional Rhone-Alpes, Univ. Lyon I*, 16 p.

VERVIER P. (1986) : Etude du peuplement souterrain karstique de la réserve naturelle des Gorges de l'Ardèche. *3ème rapport de travail à la convention d'étude et au conseil régional Rhone-Alpes, Univ. Lyon I*, 11 p.

VERVIER P., GIBERT J., LAURENT R. et A. COUTURAUD (1986) : Plongée souterraine et hydrobiologie dans la Source Bleue, Montperreux, Doubs. Utilisation de substrats artificiels pour étudier la faune des réseaux noyés. *Spelunca*, 22, 37-42.

VERVIER P., MARMONIER P. et J. GIBERT (sous-presse) : Structure et fonctionnement de trois écosystèmes aquatiques souterrains : un karst à résurgence, un karst à exurgence et le sous écoulement du fleuve. *IVème Cong. Nat. A.F.I.E., Gestion des Systèmes écologiques*, Bordeaux France, (et communication sur panneaux).

WALLISSER B. (1977) : Systèmes et modèles. Introduction critique à l'analyse de systèmes. *Ed. du Seuil*, Paris, 247 p.

WEBSTER J.R., GURTZ M.E., HAINS J.J., MEYER J.L., SWANK W.T., WAIDE J.B. and J.B. WALLACE (1983) : Stabilitty of stream ecosystems. *In* Stream ecology. Application and testing of general ecological theory, *Eds. Barns J.R. and Minshall G.W., Plenum press*, New-York, 355-395.

WHITE P.S. and S.T.A. PICKETT (1985) : Natural disturbance and patch dynamics : an introduction. *In* The ecology of natural disturbance and patch dynamics, *Academic Press, Inc.*, 3-455.

WIENS J.A., CRAWFORD C.S. and J.R. GOSZ (1985) : Boundary dynamics : a conceptual framework for studying landscape ecosystems. *Oikos*, 45, 421-427.

WILLIAMS D.D. (1977) : Movements of benthos during recolonization of temporary stream. *Oikos*, 29, 306-312.

WILLIAMS D.D. (1980-a) : Temporal patterns in recolonization of stream benthos. *Arch. Hydrobiol.*, 90, 1, 58-74.

WILLIAMS D.D. (1980-b) : Some relationships between benthos and substrate heterogeneity. *Limnol. Oceanogr.*, 25, 1, 166-172.

WILLIAMS D.D. and H.B. HYNES (1976) : The recolonization mechanisms of stream benthos. *Oikos*, 27, 265-272.

WISE D.H. and M.C. MOLLES Jr. (1979) : Colonization of artificial substrates by stream insects : influence of substrate size and diversity. *Hydrobiologia*, 65, 1, 69-74.

ANNEXES

ooooooo

ANNEXE O : LISTE FAUNISTIQUE	FOUSSOUBIE PERTE	FOUSSOUBIE EVENT	FOUSSOUBIE SOURCE	AIGUILLE
OLIGOCHETES				
(Détermination : J. JUGET)				
Oligochètes non déterminés	+		+	+
Naididae				
Pristinella sp.		+		
Pristinella jenkinae (STEPHENSON, 1931)		+		
Pristinella menoni (AIYER, 1929)		+		
Chaetogaster diastrophus (GRUITHUISEN, 1828)		+		
Tubificidae		+		
Tubifex tubifex (MULLER,1774)		+		
Rhyacodrilus sp.		+		
Lumbriculidae				
Stylodrilus sp.		+		
Trichodrilus sp.		+		
Enchytraeidae				
Enchytraeus buchholzi (MICHAELSEN,1887)		+		
Cernosvitoviella sp.		+		
Fridericia sp.		+		
Marionina argentea (MICHAELSEN, 1889)		+		
Lumbricullus sp.		+		
APHANONEURA				
Aeolosomatidae				
Aeolosoma sp.		+		
NEMATODES	+	+	+	+
GASTEROPODES				
(Détermination : R. BERNASCONI)				
Hauffenia (Neohoratia) minuta ssp. globulina (PALADILHE, 1866)		+	+	+
Palacanthiliopsis vervierii BERNASCONI, 1987		+		+
Moitessieria locardi COUTAGNE 1833		+		
Moitessieria puteana COUTAGNE 1883		+		
Bythiospeum articense BERNASCONI, 1985		+		+
CRUSTACES				
Copépodes				
(Détermination :J. GIBERT,J. MATHIEU)				
Copépodes non déterminés	+		+	
Cyclopoïdes				
Eucyclops serrulatus (FISCHER, 1851)	+	+		
Paracyclops fimbriatus (FISCHER, 1853)		+		+
Acanthocyclops (Megacyclops) viridis (JURINE, 1820)	+	+		
Diacyclops bicuspidatus (CLAUS, 1857)		+		
Diacyclops languidoïdes (LILLJEBORG, 1901)		+		
Diacyclops bisetosus (REHBERG, 1880)		+		
Diacyclops languidus (SARS, 1863)		+		
Acanthocyclops Robustus (SARS, 1863)		+		
Acanthocyclops venustus (NORMAN et SCOTT, 1906)		+		
Tropocyclops prasinus (FISCHER, 1860)		+		
Harpacticoïdes				
Canthocamptus staphilinus (JURINE, 1820)		+		
Bryocamptus typhlops (MRAZEK, 1893)		+		
Attheyella crassa (SARS, 1863)		+		+
Paracamptus schmeili (MRAZEC, 1893)		+		
Moraria varica (GRAETER,1911)		+		

Elaphoidella cavatica (CHAPPUIS, 1957)		+		
Bryocamptus echinatus (MRAZEC, 1893)		+		+
Ceuthonectes sp.		+		
Bryocamptus zschokkei (SCHMEIL, 1893)				+
				+
Ostracodes				
(Détermination :P. MARMONIER)				
Eucypris lutaria	+		+	
Eucypris pigra	+	+	+	
Potamocypris sp.	+	+		
Cypria ophthalmica (JURINE, 1820)	+	+	+	
Ilyocypris sp.		+		
Pseudocandona pratensis (HARTWIG, 1901)	+	+		
Pseudocandona albicans (BRADY, 1864)		+		
Candona neglecta SARS, 1887		+		
Cyclocypris ovum (JURINE, 1820)	+		+	
Eucypris virens	+			
Amphipodes				
(Détermination : R. GINET)				
Gammaridae				
Niphargus virei CHEVREUX, 1896		+		+
Niphargus kochianus BATE, 1863				+
Gammarus fossarum KOCH, 1835	+		+	+
Isopodes (terrestres)	+	+	+	
Isopodes (aquatiques)			+	
Syncarides		+		
Cladocères	+	+	+	
TARDIGRADES		+	+	
INSECTES				
Diptères				
Chironomidae				
Tanypodinae	+	+		
Corynoneurinae	+	+		+
Orthocladiinae	+	+		+
Chironominae	+	+		+
		+		
Simuliidae	+	+		
Ceratopogonidae	+	+		
Stratiomyidae	+	+		
Culicidae	+			
L. Ephéméroptères				
(Détermination : C. ROUX, H.TACHET)				
Ephemerellidae				
Ephemerella ignita (PODA, 1761)		+		
Leptophlebiidae				
Habrophlebia sp.		+		
Heptageniidae				
Ecdyonurus sp.		+		
L. Plécoptères				
(Détermination : S. DOLEDEC)				
Plécoptères non déterminés				+
Nemouridae				
Nemoura sp.		+		
Leuctridae				
Leuctra sp.		+		

Coléoptères				
(Détermination : P. RICHOUX)				
Elmidae				
Elmis aenea (MÜLLER, 1806)				+
Dryopidae				
Dryops sp.		+		
Dytiscidae				
Hydroporus sp.		+		
Siettitia avenionensis				(+)
Curculionidae				+
Chrysomelidae				
Haltica sp.				+
Trichoptères				
(Détermination : H. TACHET, S. DOLEDEC)				
Polycentropodidae				
Plectrocnemia geniculata Mc LACHLAN, 1871				+
Plectrocnemia conspersa				+
Psocoptères	+	+	+	
Thysanoptères	+			
Hétéroptères	+			
Homoptères	+			
Hyménoptères	+		+	
Odonates			+	
Orthoptères			+	
Plannipennes			+	
PROTOURES		+		
COLLEMBOLES	+			+
ARACHNIDES				
Araneïdes	+		+	
Acariens	+	+	+	+
MYRIAPODES			+	
Diplopodes			+	

ANNEXE 1: Evolution de l'hydrochimie, de l'hydrothermie et de la pluviométrie à l'évent de Foussoubie au cours de la période d'étude de novembre 1984 à mai 1986.

date	HCO3-		Ca++		rHCO3	Mg++		SO4		PO4		SiO2
	mg/l	meq.	mg/l	meq.	rCa	mg/l	meq.	mg/l	meq.	mg/l	meq.	mg/l
22/03/85	336	5,51	118	5,90	0,93	3,9	0,32	17	0,35	0,35	0,011	6
26/04/85	320	5,25	114	5,70	0,92	2,7	0,22	20	0,42	0,85	0,027	7
27/05/85	345	5,66	120	6,00	0,94	2,7	0,22	12	0,25	0,4	0,013	7,5
24/06/85	354	5,80	120	6,00	0,97	2,7	0,22	11	0,23	0,5	0,016	7,5
22/07/85	339	5,56	117	5,85	0,95	3,0	0,24	7	0,15	0,25	0,008	7,5
24/08/85	336	5,51	111	5,55	0,99	2,7	0,22	7	0,15	0,1	0,003	7
02/10/85	323	5,30	107	5,35	0,99	3,2	0,26	4	0,08	0,1	0,003	7,5
26/10/85	323	5,30	107	5,35	0,99	3,4	0,28	8	0,17	0,45	0,014	9
27/11/85	326	5,34	107	5,35	1,00	3,4	0,28	7	0,15	0,65	0,021	7,5
09/12/85	320	5,25	112	5,60	0,94	3,0	0,25	8	0,17	0,45	0,014	8
18/12/85	320	5,25	107	5,35	0,98	2,7	0,22	3	0,06	0,3	0,009	8
25/12/85	317	5,20	104	5,20	1,00	4,1	0,34	5	0,10	0,25	0,008	8
26/12/85	311	5,10	105	5,25	0,97	3,0	0,25	3	0,06	0,1	0,003	9
30/12/85	311	5,10	105	5,25	0,97	3,9	0,32	7	0,15	0,4	0,013	8
05/02/86	250	4,10	97	4,85	0,85	1,5	0,12	20	0,42	0,3	0,009	6
12/02/86	284	4,66	109	5,45	0,85	2,2	0,18	22	0,46	0,2	0,006	6,5
26/02/86	284	4,66	111	5,55	0,84	1,9	0,16	26	0,54	0,3	0,009	6
05/03/86	275	4,51	107	5,35	0,84	1,9	0,16	29	0,60	0,2	0,006	6,5
20/03/86	329	5,39	117	5,85	0,92	1,7	0,14	27	0,56	0,22	0,007	6,5
14/04/86	308	5,05	111	5,55	0,91	2,4	0,20	16	0,33	0,22	0,007	6,5
09/05/86	293	4,80	105	5,25	0,91	1,7	0,14	23	0,48	0,35	0,011	7,5

date	cond.	temp.	débit	oluvio. VPA
	µS	°C	l/s	Σ11j
10/10/84			10	
01/11/84			29	
16/11/84				91
23/11/84	558	11,5	91	68,4
21/12/84	563	10,3		47,6
27/12/84				50,1
05/02/85			95	0
13/02/85			81	
27/02/85			30	
06/03/85				66,8
22/03/85	537	11	80	5
26/04/85	535	11,5	46	6,4
27/05/85	540		52	4,4
19/06/85			15	18,9
24/06/85	553	11,5	17	24,2
10/07/85			2	
22/07/85	528	11,9		2,1
05/11/85	494		7	25,8
24/08/85		12		1,3
04/09/85			1	0
02/10/85		11,4	2	0
26/10/85		11,2	2	1,3
05/11/85		11,9		13,6
27/11/85	492	11,2	2	0
05/12/85	496	11,7	2	14,4
09/12/85	496	11,8	2	52,5
18/12/85	493	11,4	2	38,3
25/12/85	492	11,7	6	54,3
26/12/85			6	54,3
30/12/85	480	11,7	5	69,8
08/01/86	479	11,6	4	17,5
05/02/86	450	8,2		171,5
12/02/86	494	10,2	63	54,4
26/02/86	502	10		29,2
05/03/86	489	9,6	62	19,1
20/03/86	510	12,1		6,8
14/04/86	516	10,9	136	55,7
09/05/86	494	11,7	129	42,5
19/06/85				18,9
24/06/85				24,2
12/02/86				54,4

ANNEXE 2 : Evolution de l'hydrochimie et de l'hydrothermie des eaux de la source de Foussoubie lors de la crue du 28 au 29/01/86

heures	cond. µS	T° °C	HCO3- mg/l	Mg mg/l	PO4 mg/l	SiO2 mg/l	SO4 mg/l	Ca mg/l	rHCO3 rCa
50	458	11,7	302	2,2	0,45	4,25	4	99	1,00
80	458	11,7	299	1,9	0,45	4,75	3	98	1,00
120	456	11,7	299	2,7	0,35	3,75	6	99	0,99
155	458	11,7	299	2,2	0,6	4	7,5	98	1,00
185	456	11,7	299	2,2	0,35	4,25	7	98	1,00
220	457	11,6	296	2,2	0,35	4,15	5	97	1,00
260	457	11,6	299	2,2	0,35	4,35	8	98	1,00
295	458	11,6	289	2,4	0,8	4,75	7	98	0,96
330	457	11,6	296	2,4	0,9	4,75	6	98	0,99
360	458	11,6	299	1,9	0,45	4,75	8	98	1,00
390	457	11,5	299	2,7	1,1	4,75	6	98	1,00
395	453	11,5	302	2,4	1,35	5	4	99	1,00
405	430	11,6	299	2,7	0,5	5,5	2	99	0,99
415	433	11,7	299	2,4	0,55	5	9	99	0,99
435	445	11,7	299	2,4	0,3	5,75	8	98	1,00
450	469	11,7	302	2,4	0,7	5,75	6	100	0,99
465	458	11,7	296	2,2	0,7	4,75	7,5	100	0,97
480	490	11,7	314	2,4	0,4	6,9	6	104	0,99
550	546	11,8	360	2,2	0,55	7,25	2	119	0,99
575	517	11,7	351	2,2	0,45	6,85	9	118	0,98
595	506	11,5	329	1,7	0,4	6,5	6	112	0,96
605	491	10,9	308	1,7	0,45	6,15	10	106	0,95
645	449	10,8	268	1,5	0,45	6	12	96	0,91
655	438	10,9	250	1,7	0,5	5,75	8	91	0,90
670	428	10,8	244	1,7	0,7	5,6	12	88	0,91
685	415	10,5	229	1,7	0,65	5,5	13	84	0,89
700	405	10,3	217	1,9	0,65	5,15	17	82	0,86
715	400	10,1	214	2,5	0,65	5,75	18	81	0,86

ANNEXE 3 : Evolution de l'hydrochimie, de l'hydrothermie et de la pluviométrie des eaux de la Planche avant leur entrée dans la goule de Foussoubie, de février à mai 1986.

F.PERTE	T°	HCO3	HCO3	Ca	Ca	rHCO3	PO4	SO4	SO4	Sio2	COND.
date	°C	mg/l	meq	mg/l	meq	/rCa	mg/l	mg/l	meq	mg/l	µS
5/2/86	4,5	186,05	3,05	86,37	4,32	0,71	0,3	27	0,56	8	442
12/2/86	0,3	268,4	4,4	138,68	6,93	0,63	0,35	60	1,25	7,5	639
26/2/86	3,4	265,35	4,35	123,85	6,19	0,70	0,3	70	1,46	7,5	602
5/3/86	5,6	265,35	4,35	121,44	6,07	0,72	0,4	70	1,46	5,25	594
20/3/86	8,6	301,95	4,95	128,66	6,43	0,77	0,3	70	1,46	4,75	611
14/4/86	9,5	280,6	4,6	119,44	5,97	0,77	0,3	29	0,60	5,75	582
9/5/86	14,7	301,95	4,95	118,64	5,93	0,83	0,5	34	0,71	5,5	578

ANNEXE 4 : Evolution de l'hydrochimie et de l'hydrothermie à l'Aiguille au cours de la période d'étude, de novembre 1984 à mai 1986.

date	HCO3-		Ca ++		Mg ++		rHCO3	SO4--		PO4-		SiO2	date	cond.	débit	temp.
	mg/l	meq/l	mg/l	meq/l	mg/l	meq/l	rCa	mg/l	meq/l	mg/l	meq/l	mg/l		µS	l/s	°C
05/02/85	359,9	5,9	106,6	5,33	10,2	0,839	1,11	10	0,21	0,1	0,004	7	16/11/84	506		13,6
6/03/85	329,4	5,4	108,2	5,41	2,2	0,181	1,00	10	0,21	0,3	0,009	4,2	23/11/84	509	20	13,8
22/03/85	313,5	5,1	107	5,35	5,1	0,419	0,96	11	0,23	0,3	0,008	4,5	21/12/84	508	19	13,8
26/04/85	329,4	5,4	105,8	5,29	2,7	0,222	1,02	6	0,13	0,4	0,013	5,5	27/12/84		12	
27/05/85	314,1	5,1	106,2	5,31	2	0,164	0,97	7	0,15	0,3	0,009	5,5	05/02/85	483		13,8
24/06/85	305	5,0	103,4	5,17	2,7	0,222	0,97	8	0,17	0,2	0,006	5	06/03/85	489	58	13,6
22/07/85	305	5,0	101,4	5,07	2,7	0,222	0,99	6	0,13	0,1	0,003	5,5	22/03/85	485	33	13,9
24/08/85	295,8	4,8	99,4	4,97	3,2	0,263	0,98	6	0,13	0,1	0,003	5,5	26/04/85	480	13	13,9
2/10/85	286,7	4,7	101	5,05	2,4	0,197	0,93	3	0,06	0,1	0,002	5,5	27/05/85	485	11	
26/10/85	289,7	4,7	97,8	4,89	1,7	0,14	0,97	7	0,15	0,3	0,009	5,5	19/06/85		9	
27/11/85	295,8	4,8	100,2	5,01	1,5	0,123	0,97	6	0,13	0,4	0,013	6	24/06/85	487		13,9
18/12/85	283,6	4,6	98,2	4,91	2,2	0,181	0,95	4	0,08	0,3	0,009	5,5	22/07/85	486		14,0
30/12/85	240,9	3,9	84,2	4,21	2	0,164	0,94	6	0,13	0,2	0,006	1,8	31/07/85		6	
12/02/86	292,8	4,8	102,6	5,13	2	0,164	0,94	2	0,04	0,1	0,002	4	04/09/85		3	
26/02/86	289,7	4,7	102,6	5,13	1,7	0,14	0,93	11	0,23	0,2	0,005	4,5	02/10/85		4	
05/03/86	283,6	4,6	99,8	4,99	1,2	0,099	0,93	11	0,23	0,2	0,006	4,5	26/10/85		4	
20/03/86	311,1	5,1	105,4	5,27	1,7	0,14	0,97	12	0,25	0,2	0,006	5,2	05/11/85	452		14,1
14/04/86	289,7	4,7	107	5,35	1,2	0,099	0,89	10	0,21		0	4	27/11/85	442	3	14,0
09/05/86	298,9	4,9	104,6	5,23	1,7	0,14	0,94	11	0,23	0,2	0,006	5	05/12/85	450		
													18/12/85	436		13,9
													30/12/85	398	5	13,8
													08/01/86	407	2	13,7
													12/02/86	464	17	13,8
													26/02/86	463		13,8
													05/03/86	455	20	13,8
													20/03/86	461		13,9
													14/04/86	470	24	13,8
													09/05/86	470	24	13,9

ANNEXE 5 : Calcul de la conductivité en fonction des équivalences des principaux ions. Comparaison avec la conductivité mesurée. Données obtenues mensuellement à l'évent et à la goule de Foussoubie, à la source de l'Aiguille et au cours d'une crue à la source de Foussoubie.

F.EVENT	HCO3-		Ca++		Mg++		SO4--		Cond. calc.	Cond. calc.	Cond. mesurée	% représenté dans la minéralisation totale				
		cond.		cond.		cond.		cond.								
date	mg/l	calculée	mg/l	calculée	mg/l	calculée	mg/l	calculée	ttl à 25°C	ttl à 20°C	à 20°C	par HCO3	par Ca	Ca+HCO3	par Mg	par SO4
22/03/85	336	240	118	307	3,9	15	17	26	588	530	537	41	52	93	3	4
26/04/85	320	229	114	296	2,7	10	20	31	566	511	535	40	52	93	2	5
27/05/85	345	247	120	312	2,7	10	12	18	587	530	540	42	53	95	2	3
24/06/85	354	253	120	312	2,7	10	11	17	592	534	553	43	53	95	2	3
22/07/85	339	242	117	304	3,0	11	7	11	569	513	528	43	53	96	2	2
27/11/85	326	233	107	278	3,4	13	7	11	535	482	492	44	52	96	2	2
09/12/85	320	229	112	291	3,0	11	8	12	544	491	496	42	54	96	2	2
18/12/85	320	229	107	278	2,7	10	3	5	522	471	493	44	53	97	2	1
25/12/85	317	227	104	270	4,1	16	5	8	521	470	492	44	52	95	3	1
30/12/85	311	222	105	273	3,9	15	7	11	521	470	480	43	52	95	3	2
05/02/86	250	179	97	252	1,5	8	20	31	467	422	450	38	54	92	1	7
12/02/86	284	203	109	283	2,2	8	22	34	529	477	494	38	54	92	2	6
26/02/86	284	203	111	289	1,9	7	26	40	539	486	502	38	54	91	1	7
05/03/86	275	197	107	278	1,9	7	29	45	527	475	489	37	53	90	1	8
20/03/86	329	235	117	304	1,7	6	27	42	588	530	510	40	52	92	1	7
14/04/86	308	220	111	289	2,4	9	16	25	543	490	516	41	53	94	2	5
09/05/86	293	209	105	273	1,7	6	23	35	524	473	494	40	52	92	1	7

F.goule	HCO3-		Ca++		Mg++		SO4--		Cond. calc.	Cond. calc.	Cond. mesurée	% représenté dans la minéralisation totale				
		cond.		cond.		cond.		cond.								
date	mg/l	calculée	mg/l	calculée	mg/l	calculée	mg/l	calculée	ttl à 25°C	ttl à 20°C	à 20°C	par HCO3	par Ca	Ca+HCO3	par Mg	par SO4
05/02/86	186	133	86	225	1,94	7	27	42	407	367	442	33	55	88	2	10
12/02/86	268	192	139	361	1,94	7	60	92	652	588	639	29	55	85	1	14
26/02/86	265	190	124	322	1,70	6	70	108	626	565	602	30	51	82	1	17
05/03/86	265	190	121	316	1,94	7	70	108	621	560	594	31	51	81	1	17
20/03/86	302	216	129	335	2,19	8	70	108	667	601	611	32	50	83	1	16
14/04/86	281	201	119	311	1,46	6	29	45	561	506	582	36	55	91	1	8
09/05/86	302	216	119	308	1,46	8	34	52	582	525	578	37	53	90	1	9

F.crue	HCO3-		Ca++		Mg++		SO4--		Cond. calc.	Cond. calc.	Cond. mesurée	% représenté dans la minéralisation totale				
		cond.		cond.		cond.		cond.								
heures	mg/l	calculée	mg/l	calculée	mg/l	calculée	mg/l	calculée	ttl à 25°C	ttl à 20°C	à 20°C	par HCO3	par Ca	Ca+HCO3	par Mg	par SO4
50	302	216	99	256	2,2	8	4	6	487	439	458	44	53	97	2	1
80	299	214	98	255	1,9	7	3	5	481	434	458	44	53	97	2	1
120	299	214	99	257	2,7	10	6	9	491	442	456	44	52	96	2	2
155	299	214	98	255	2,2	8	7,5	12	489	441	458	44	52	96	2	2
185	299	214	98	254	2,2	8	7	11	487	439	456	44	52	96	2	2
220	296	212	97	253	2,2	8	5	8	481	434	457	44	53	97	2	2
260	299	214	98	254	2,2	8	8	12	489	441	457	44	52	96	2	3
295	289	207	98	255	2,4	9	7	11	482	435	458	43	53	96	2	2
330	296	212	98	255	2,4	9	6	9	485	438	457	44	53	96	2	2
360	299	214	98	254	1,9	7	8	12	488	440	458	44	52	96	2	3
390	299	214	98	255	2,7	10	6	9	488	441	457	44	52	96	2	2
395	302	216	99	257	2,4	9	4	6	489	441	453	44	53	97	2	1
405	299	214	99	257	2,7	10	2	3	484	437	430	44	53	97	2	1
415	299	214	99	257	2,4	9	9	14	494	446	433	43	52	95	2	3
435	299	214	98	255	2,4	9	8	12	491	443	445	44	52	96	2	3
450	302	216	100	261	2,4	9	6	9	495	446	469	44	53	96	2	2
465	296	212	100	259	2,2	8	7,5	12	491	443	458	43	53	96	2	2
480	314	225	104	271	2,4	9	6	9	514	464	490	44	53	96	2	2
550	360	257	119	308	2,2	8	2	3	577	521	546	45	53	98	1	1
575	351	251	118	306	2,2	8	9	14	579	523	517	43	53	96	1	2
595	329	236	112	292	1,7	8	6	9	543	490	506	43	54	97	1	2
605	308	220	106	276	1,7	6	10	15	518	468	491	42	53	96	1	3
645	268	192	96	250	1,5	6	12	18	466	420	449	41	54	95	1	4
655	250	179	91	238	1,7	6	8	12	435	393	438	41	55	96	1	3
670	244	174	88	228	1,7	6	12	18	428	386	428	41	53	94	2	4
685	229	164	84	219	1,7	6	13	20	409	369	415	40	54	94	2	5
700	217	155	82	214	1,9	7	17	26	402	363	405	39	53	92	2	7
715	214	153	81	212	2,5	9	18	28	401	362	400	38	53	91	2	7

Aiguille	HCO3-		Ca++		Mg++		SO4--		Cond. calc.	Cond. calc.	Cond. mesurée	% représenté dans la minéralisation totale				
		cond.		cond.		cond.		cond.								
date	mg/l	calculée	mg/l	calculée	mg/l	calculée	mg/l	calculée	ttl à 25°C	ttl à 20°C	à 20°C	par HCO3	par Ca	Ca+HCO3	par Mg	par SO4
05/02/85	360	257	107	277	10,2	39	10	15	589	531	483	44	47	91	7	3
06/03/85	329	236	108	281	2,2	8	10	15	541	488	489	44	52	96	2	3
22/03/85	314	224	107	278	5,1	19	11	17	539	486	485	42	52	93	4	3
26/04/85	329	236	106	275	2,7	10	6	9	530	478	480	44	52	96	2	2
27/05/85	314	225	106	276	2	8	7	11	519	468	485	43	53	96	1	2
24/06/85	305	218	103	269	2,7	10	8	12	510	460	487	43	53	96	2	2
22/07/85	305	218	101	264	2,7	10	6	9	501	452	486	44	53	96	2	2
24/08/85	296	211	99,4	258	3,2	12	6	9	491	443		43	53	96	2	2
02/10/85	287	205	101	263	2,4	9	3	5	481	434		43	55	97	2	1
26/10/85	290	207	97,8	254	1,7	6	7	11	479	432		43	53	96	1	2
27/11/85	296	211	100	261	1,5	6	6	9	487	439	442	43	53	97	1	2
18/12/85	284	203	98,2	255	2,2	8	4	6	473	426	436	43	54	97	2	1
30/12/85	241	172	84,2	219	2	8	6	9	408	368	398	42	54	96	2	2
12/02/86	293	209	103	267	2	8	2	3	487	439	464	43	55	98	2	1
26/02/86	290	207	103	267	1,7	6	11	17	497	449	463	42	54	95	1	3
05/03/86	284	203	99,8	259	1,2	5	11	17	484	436	455	42	54	96	1	4
20/03/86	311	222	105	274	1,7	6	12	18	521	470	461	43	53	95	1	4
14/04/86	290	207	107	278	1,2	5	10	15	505	456	470	41	55	96	1	3
09/05/86	299	214	105	272	1,7	6	11	17	509	459	470	42	53	95	1	3

ANNEXE 6 : Contenu faunistique des différentes fractions (300 µ et 160 µ ; filet et ficelle) des substrats artificiels immergés à l'évent de Foussoubie selon les durées d'immersion diférentes (1 j, 8j, 15j, 1 mois et 2 mois). Les relevés sont placés en lignes et les taxons en colonnes. Le code des lignes et des colonnes est expliqué à la fin du tableau.

FICHIER: TE61

*	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
1*	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	12	3	3	-	-	-	-	-	-	-	4	1	
2*	-	-	-	2	2	1	-	-	-	-	-	-	2	7	12	-	1	-	-	20	-	-	38	52	
3*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	1	26	-	-	1	1	7	74	-	2	-	
4*	2	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	1	2	2	-	-	-	-	12	62	-	-	-	
5*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8	3	3	-	-	-	2	-	-	-	3	2	
6*	-	-	-	4	4	-	-	-	-	-	-	-	1	7	23	-	-	-	-	28	3	-	41	250	
7*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	5	1	-	-	-	-	2	-	2	-	
8*	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	1	-	-	-	1	-	-	-	3	
9*	-	-	-	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	1	-	5	-	4	1	6	1	
10*	8	-	-	-	7	3	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	1	-	-	35	13	-	17	211	
11*	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9	1	13	1	3	4	
12*	43	-	-	7	-	1	-	-	-	-	-	-	-	1	2	-	3	-	-	16	25	-	13	30	
13*	-	-	-	2	-	2	-	-	1	-	-	-	7	-	8	-	4	-	4	3	4	4	11	4	1 mois
14*	-	-	-	4	4	1	1	-	-	-	-	-	-	1	12	-	7	-	-	36	18	-	47	142	18/10/84
15*	12	-	-	21	-	19	-	-	-	1	3	3	6	7	36	-	17	-	41	14	31	5	106	25	23/11/84
16*	73	-	-	11	118	19	-	-	-	-	-	-	-	1	19	7	32	-	-	83	71	-	82	347	
17*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8	-	2	-	-	-	-	-	-	1	7	-	
18*	1	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7	-	-	-	-	3	1	1	94	11	
19*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	R1
20*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	1	-	-	-	1	-	-	1	
21*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	1	-	1	-	3	-	-	2	18	3	2 mois
22*	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	7	10	-	8	3	18/10/84
23*	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	1	-	2	5	10	-	12	3	L1
24*	5	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10	12	-	1	7	27/12/84
25*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
26*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	
27*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	1	-	-	-	
28*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	
29*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
30*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
31*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
32*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	
33*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
34*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
35*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	
36*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	
37*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	1 jour
38*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	-	-	3	26/04/85
39*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	27/12/85
40*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	
41*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	3	-	1	-	-	-	
42*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	1	-	-	1	
43*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	2	-	-	-	
44*	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	13	-	-	-	
45*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	
46*	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	2	
47*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	-	-	-	
48*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	16	-	-	-	
49*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	
50*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
51*	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	20	-	-	-	
52*	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6	-	-	1	
53*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	2	-	-	-	8 jours
54*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5/02/85
55*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	29	-	-	-	12/02/85
56*	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	29	-	-	-	
57*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	
58*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	2	
59*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	3	-	-	-	
60*	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6	-	-	-	
61*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
62*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	1	
63*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12	1	-	-	
64*	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	8	-	-	-	
65*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	
66*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	1	
67*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	8	1	-	-	
68*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	
69*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	15 jours
70*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	13/02/85
71*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	9	-	-	-	27/02/85
72*	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	
73*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	1	-	-	-	
74*	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8	87	-	-	-	-	7	1	-	8	16	
75*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
76*	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	43	-	-	-	-	1	3	-	-	3	
77*	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	3	-	-	-	2	1	
78*	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	4	75	-	-	-	-	7	3	-	11	-	1 mois
79*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9	1	-	-	-	-	5	1	1	32	13/02/85
80*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	2	-	-	-	1	13	-	-	-	
81*	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	7	-	1	-	22/03/85

82*	15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12	22	-	1	11		
83*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	3	-	4	4		
84*	4	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	9	-	3	2		
85*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	3	-	-	-	5	1	5	-	-	2		1 mois.
86*	17	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	14	58	-	3	22		13/02/85
87*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	20	-	10	-	19	3		22/03/85
88*	21	-	-	1	1	6	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	20	62	-	43	93		
89*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	3	1	-	-	6	-		
90*	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	11	-	-	-	-	1	1	-	5	10		
91*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-		
92*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2		
93*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	1	1	1	-		
94*	1	-	-	1	-	-	1	-	-	-	-	-	-	1	1	-	1	-	-	1	6	-	2	3		
95*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	1	1	-	-		
96*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	3	3	-	-	-		
97*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	2	1	-	-		
98*	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	19	26	-	2	15		
99*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	1		
100*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	1		
101*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	1	-	-	-		2 mois
102*	4	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	8	-	-	6		13/02/85
103*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6	-	10	-	-	-		26/04/85
104*	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	15	-	-	-		
105*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	1	-	-	-		
106*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
107*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	1	-	-	-		
108*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
109*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-		
110*	-	-	-	2	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
111*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	3	1	-	-		
112*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
113*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	1	-	-	-		
114*	-	-	-	1	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-		
115*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-		
116*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
117*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-		8 jours
118*	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		19/06/85
119*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	3	-	-	-		26/06/85
120*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	-	-	-		
121*	-	-	-	-	-	-	1	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-		
122*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-		
123*	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-		
124*	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	2	-	-	-		
125*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-		
126*	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-		
127*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	1	-	-		
128*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	1		
129*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-		
130*	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
131*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	-	-		
132*	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
133*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	1	-	-		15 jours
134*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		26/06/85
135*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	6	-	-	1	2	-		10/07/85
136*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-		
137*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-		
138*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		R2 15 jours B
139*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-		10/07/85
140*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	-	-	-		31/07/85
141*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-		
142*	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		L2
143*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-		
144*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-		
145*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-		
146*	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-		
147*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-		
148*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
149*	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-		
150*	-	-	-	1	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	3	-	1	-		
151*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	1	-	-	-	-		
152*	2	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-		
153*	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-		
154*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
155*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	4	-	2	-	1	-		
156*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
157*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-		1 mois
158*	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		26/06/85
159*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-		31/07/85
160*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
161*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-		
162*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	1	-	-	-		1mois B
163*	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	2	2	-	-	-		31/07/85
164*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-		4/09/85
165*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		

167*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	1	9	-	-	-	
168*	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	2	-	-	-	
169*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	-	-	-	-	-	
170*	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	1	-	-	-	
171*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	7	-	-	1	-	-	
172*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	
173*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	1mois B
174*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	31/07/85
175*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	1	-	1	-	4/09/85
176*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	2	-	2	-	
177*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	
178*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	
179*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
180*	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
181*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	2	-	-	-	
182*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	5	1	-	1	-	
183*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	4	-	-	-	
184*	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6	2	-	-	-	
185*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	1	-	3	-	
186*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	16	-	-	4	2	
187*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7	-	1	-	10	-	
188*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	52	2	-	7	-	
189*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	2 mois
190*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	26/06/85
191*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	4/09/85
192*	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	5	3	-	4	-	
193*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	
194*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	
195*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	2	-	-	-	
196*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	
197*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	
198*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	1	-	
199*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	1	-	-	-	
200*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	
201*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	
202*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
203*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	
204*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
205*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8 jours
206*	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	27/11/85
207*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5/12/85
208*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	
209*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	7	-	-	-	-	-	
210*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
211*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	1	-	-	-	
212*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	
213*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	
214*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
215*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	2	-	-	-	
216*	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	
217*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	
218*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
219*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	2	-	-	-	
220*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
221*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	15 jours
222*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5/12/85
223*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	1	-	-	-	18/12/85
224*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	
225*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
226*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7	-	-	-	
227*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	
228*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
229*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	
230*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	
231*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
232*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
233*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	
234*	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	
235*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6	-	1	-	-	-	
236*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
237*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	15 jours B
238*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	18/12/85
239*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	8/01/86
240*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
241*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
242*	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
243*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	1	-	-	
244*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
245*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	
246*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
247*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	2	-	-	-	-	
248*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1 mois
249*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8	-	-	-	-	-	5/12/85
250*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8/01/86
251*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	-	1	-	-	-	

252*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
253*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	1	-	1	-		1 mois
254*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		5/12/85
255*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	1	-	-		8/01/86
256*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
257*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	4	-	-	-	9	-	-	1	4	-		
258*	1	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	1	-	-	-	-	21	-	-	6	12		
259*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	-	-	-	-	-		
260*	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-		
261*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	1	-	-	-	6	-	-	3	3	1		
262*	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	1	7	2	-	-	-	-	8	2	-	6	9		
263*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	5	-	-	1	1	-		
264*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-		
265*	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	1	-	-	-		
266*	-	-	-	1	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	22	5	-	-	25		
267*	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	15	-	5	1	-	-		
268*	1	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	1	-	-	1		
269*	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9	-	1	1	3	-		1mois B
270*	5	-	-	2	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	17	6	-	1	53		8/01/86
271*	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	11	1	5	-	-	1		12/02/86
272*	1	-	-	3	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	4	-	-	2		
273*	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	3	-	2	-	-	-	6	2	1	1	3	1		
274*	-	-	-	-	-	1	2	-	-	-	-	-	-	9	6	-	-	-	-	16	1	-	10	13		
275*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	15	-	1	3	6	-		
276*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	3	-		
277*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	-	-	2	1	-		
278*	-	-	-	2	-	2	-	-	-	1	-	-	-	5	3	-	-	-	-	9	-	-	1	16		
279*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	11	2	-	1	3	1		
280*	1	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	2	-	2	-		
281*	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7	2	1	-	2	4		
282*	2	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	16	2	-	3	21		
283*	-	-	-	1	-	1	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	14	-	2	1	3	-		
284*	3	-	-	2	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	11	12	-	1	8		
285*	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9	-	-	-	1	-		2 mois
286*	2	-	-	4	-	3	-	1	-	-	-	-	-	2	-	-	1	-	-	17	2	-	6	36		5/12/85
287*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	14	-	-	1	-	-		12/02/86
288*	-	-	-	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	1	-	1	2		
289*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7	-	1	-	-	-	9	-	-	-	-	-		
290*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
291*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-		
292*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-		
293*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7	-	1	-	-	-	6	-	-	-	-	-		
294*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	1	-	-	-	-	-	3	-	-	-		
295*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	3	-	12	-	1	-		
296*	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	1	27	-	-	-		
297*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
298*	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
299*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	4	1	-	-		
300*	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7	-	-	-		
301*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9	-	-	-	-	-		8 jours
302*	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-		26/02/86
303*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	13	-	-	-		5/03/86
304*	23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	21	-	-	-		
305*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7	-	4	-	-	-		
306*	7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7	-	-	-		
307*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	3	-	-	-		
308*	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	13	-	-	-		
309*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	4	-	1	-	-	-		
310*	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	1	4	-	-	-		
311*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	1	-	-	-		
312*	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-		
313*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	1	-	-	-		
314*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
315*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	6	-	-	-		
316*	9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	15	-	-	-		
317*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-		15 jours
318*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		5/03/86
319*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	1	2	-	-		20/03/86
320*	14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7	-	-	-		
321*	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	1	-	4	-	-	-	8	-	-	-	3	1		
322*	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	53	-	1	-	-	20	1	-	10	12		
323*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	5	-	-	-	3	3	7	2	1	-		R1
324*	3	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7	-	1	-	-	1	7	-	1	1		.5 jours B
325*	-	-	-	1	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7	-	1	-	2	-		20/03/86
326*	5	1	-	2	-	11	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	2	-	-	17	6	-	6	27	L1	14/04/86
327*	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	23	13	6	1	15	-		
328*	50	-	-	1	1	15	-	-	-	-	-	-	-	-	6	-	1	-	-	45	26	-	1	25		
329*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	10	-	-	-	4	-		
330*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	75	-	-	-	-	8	2	-	35	33		
331*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	5	-	-	-	-	-		
332*	1	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	2	1	-	2	1		
333*	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	1	-	-	-	8	-	1	-	5	1		
334*	1	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	42	-	-	-	-	3	2	-	7	11		1 mois
335*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	4	1	-	1	6	-		5/03/86
336*	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	1	3		14/04/86

337*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8	-	-	1	4	-		
338*	2	-	-	1	-	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	11	5	-	3	10		
339*	-	-	-	1	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	37	10	21	3	3	6		
340*	77	-	3	8	2	37	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	2	-	-	77	40	-	15	36		1 mois
341*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	2	2		
342*	3	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7	6	-	12	8		5/03/86
343*	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	20	5	15	1	4	3		14/04/86
344*	29	-	-	2	-	5	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	8	15	-	5	3		
345*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	2	-	-	-	-	-		
346*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	15	-	-	-	-	-	-	-	-	3		
347*	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	4	-	-	-		
348*	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	11	-	-	-		
349*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10	-	-	-	8	-	-	-	-	-		
350*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	54	-	-	-	-	2	-	-	7	15		
351*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	1	-	3	-	-	-		
352*	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	1	3	-	-	-		
353*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	5	-	2	-	-	1		
354*	3	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	2		
355*	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	11	4	20	2	-	1		
356*	15	-	-	-	-	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	9	19	-	1	2		1mois B
357*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7	-	1	-	1	1		
358*	1	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	5	-	-	4		14/04/86
359*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7	-	28	-	-	-		9/05/86
360*	34	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	29	-	-	-		
361*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	19	-	-	-	3	-	-	-	-	-		
362*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	121	-	-	-	-	2	-	-	-	5		
363*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	5	-	-	-		
364*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
365*	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	1	-	-	1	1	-		
366*	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	28	-	-	-	-	13	1	-	6	28		
367*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	1	-	-	-		
368*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-		
369*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	3	-	6	-	-	-		
370*	7	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	4	-	-	39	16	-	7	51		
371*	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	15	13	41	-	-	3		
372*	14	-	-	1	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	19	13	-	1	16		
373*	-	-	-	2	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	9	2	3	1	7	5		2 mois
374*	10	-	-	2	-	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	42	13	-	14	45		5/03/86
375*	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	13	1	4	1	-	-		9/05/86
376*	18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	11	28	-	-	3		

les lignes (qui représentent les échantillons) sont construites ainsi.

300 µ	ficelle	R1
160 µ	ficelle	
300 µ	filet	
160 µ	filet	
300 µ	ficelle	R2
160 µ	ficelle	
300 µ	filet	
160 µ	filet	
300 µ	ficelle	L1
160 µ	ficelle	
300 µ	filet	
160 µ	filet	
300 µ	ficelle	L2
160 µ	ficelle	
300 µ	filet	
160 µ	filet	

1 durée

Les colonnes représentent les taxons dans les différentes fractions.

1 : Nauplius	7 : Psocoptères	13 : Plécoptères	19 : Niphargidés
2 : Diploures	8 : Syncharides	14 : Ephéméroptères	20 : Harpacticoïdes
3 : Protoures	9 : Diptères Adultes	15 : Diptères Larves	21 : Cyclopoïdes
4 : Acariens	10 : Hémiptères	16 : Cladocères	22 : Gastéropodes
5 : Tardigrades	11 : Coléoptères Larves	17 : Ostracodes	23 : Oligochètes
6 : Collemboles	12 : Trichoptères	18 : Gammares	24 : Nématodes

ANNEXE 7 : Taxons récoltés dans les substrats artificiels, immergés à l'évent de Foussoubie. Les prélèvements en lignes sont classés par ordre chronologique et selon leur durée et leur lieu d'immersion. Durées de 1jour (1j), 8 jours (8j), 15 jours (15j), 1 mois (1m) et 2 mois (2m). Lieux d'immersion en zones rapides (R1, R2) et en zones lentes (L1, L2).

		NAU	ACA	TAR	OTI	PSD	DIA	P1	P2	P3	E1	E2	E3	E4	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10	CLA	O1	O2	O3	O4	O5	O6	O7	NPH	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	C1	C2	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	GAS	CL1	NEM	DIP	PRO	HEM	CL	TRI	GAM	BAT	TOTAL
du 10/10/84	1j/r1		2									1																					1						1			1																										4
au 11/10/84	1j/r2		1																														1								1																										3
	1j/l A																																1																																		1
	1j/l B																																1																																		1
	Somme	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9
du 11/10/84	8j/r																																3																																		3
au 18/10/84	8j/r																																																																	0
	8j/l A																																6											1																						14
	8j/l B																																3								1				2																					6
	Somme	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	23
du 18/10/84	15j/r1																																6																						2			1									9
au 1/11/84	15j/r2																																5												1										1												7
	15j/l1		1																														4																						2	1											8
	15j/l2																																6																						9		1										16
	Somme	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	13	2	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	40
du 18/10/84	1m/r1	2	3	2	2			3	13		11		2		3	2	17	11	9		1					1							1	6	8	4	2	2				1	2	31	17					9			38	33		44	53						1		334
au 23/11/84	1m/r2	1	4	4				4	7		12				1		10	1	18		1				2	1							2		20	2	2		6				2	1	1								2	1		48	255									404
	1m/l1	51	13	7	4						2						1	1	2							1		1		1	1		14		18	7	12	2	3		4	6	2	13	2								32		2	39	246									487
	1m/l2	85	38	122	32	1	1	2	9		8		3		11	6	13	14	16			1	3		7	26	8	1	8		1		45	10	25	3	8	3	3	2	18	60		7		1						81	9	9	246	518				1	3	3				1469
	Somme	139	58	135	38	1	1	9	29	0	33	0	5	0	15	8	41	27	45	0	2	1	3	0	9	29	8	2	8	1	2	0	82	18	71	16	24	7	12	2	22	67	4	52	20	1	0	0	0	9	0	0	153	43	11	375	8 8	0	0	1	3	3	1	0	2694
du 18/10/84	2m/r1	1	2						9		1						5		3		1		1			1															2	1													2		2	103	12									146
au 27/12/84	2m/l1	10	3														1	1				1							1				5		2	6	7		2				4		4	3							19	2	2	39	52			1						165
	Somme	11	5	0	0	0	0	0	9	0	1	0	0	0	0	0	6	1	3	0	1	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	5	0	2	6	7	0	2	0	2	5	0	4	3	0	0	0	0	0	0	0	21	2	4	142	84	0	0	1	0	0	0	0	311
du 26/4/85	1j/r1																																1										1										3	1							1				7
au 27/4/85	1j/r2																																										1																					1
	1j/l1																																2												1									1												4
	1j/l2																																1																						4	2		3								10
	Somme	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	8	3	0	3	0	0	0	0	1	0	0	0	22
du 5/2/85	8j/r1	5															1		2		1												4											1										15	1			1								31
au 12/2/85	8j/r2	1																															1											3		1							1	17				2								26
	8j/l1	3																															5											1							16			9				1								35
	8j/l2	10																															3											4		1								42	7												68
	Somme	19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	0	2	0	0	0	17	0	0	1	63	8	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	160
du 13/2/85	15j/r1	1											1																				3							1				1	1									6	1			2								17
au 27/2/85	15j/r2	1																																	1				1					2	5									10	2	1		1								24
	15j/l1																																5											3		1								5	3	1		1								19
	15j/l2	3																															4																						9	3											19
	Somme	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12	0	1	0	0	0	1	1	0	0	6	6	1	0	0	0	0	0	0	0	30	9	2	0	4	0	0	0	0	0	0	0	79
du 13/2/85	1m/r1	5									7		1				18	1	126														2		3								5		1								4			8	19									200
au 22/3/85	1m/r2	2	1						1		5					1	4	1	84						3								3		3		1		1				2	1		1							15	1	1	14	33									176
	1m/l1	19	1		1																												3		2		2				2	6		18								24			9	17									102
	1m/l2	38	1	1	9						1							2	1														25		9	4							21	2	12					1			95	3		65	120								410
	Somme	64	3	1	10	0	0	0	1	1	12	0	1	0	0	1	22	4	211	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	33	0	17	4	3	0	1	0	2	34	3	29	1	0	0	0	1	0	0	0	138	4	1	98	189	0	0	0	0	0	0	0	890
du 13/2/85	2m/r1	1															11	1	3														6		1		1		1					1												11	12									48
au 26/4/85	2m/r2	1	1			1						1					1															1	8				1		2		1			7									4		2	3	3								35
	2m/l1		1																														4		2	2			4		2	8		5									23	2	1	2	17								73
	2m/l2	4	2																														10		1		1		1			4	1	8					1				25	2			6								64
	Somme	6	4	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	12	1	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	25	0	4	2	3	0	8	0	3	12	1	19	0	0	0	0	1	0	0	0	52	4	3	16	38	0	0	0	0	0	0	0	220
du 19/6/85	8j/r1																																3											1	1																						5
au 26/6/85	8j/r2		2			1																											1											1	2	1										1										9
	8j/l1		1			3																											6																	1				1												12
	8j/l2					1					1																						2												1								3	4												12
	Somme	0	3	0	0	5	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	4	1	0	0	1	0	0	0	0	4	4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	38
du 26/6/85	15j/r1	3				4	1																																			1	4	4				1					2	1		1									22
au 10/7/85	15j/r2					1	6																										3								1							1							1										14
	15j/l1	1				1																																					1												1	1									5
	15j/l2																										1						6			1																	2		2	2									16
	Somme	4	0	0	0	6	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	9	0	0	1	0	0	0	0	1	1	7	4	0	0	0	2	0	0	0	0	4	1	4	4	1	0	0	0	0	0	0	0	57
du 10/7/85	15j/r2 B																																1																	1							1										4
au 31/7/85	15j/l2 B					1																											5																									2									8
	Somme	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	12
du 26/6/85	1m/r1					1																											5																						2												8
au 31/7/85	1m/r2	2	2			2																																	2		1		2										2												12
	1m/l1					1																					1						6											1											1		1									11
	1m/l2		1																														5																																		6
	Somme	2	3	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	16	0	0	0	0	0	2	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	4	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	37
du 31/7/85	1m/r1B		1																														3						1									1				1	2												9
au 4/9/85	1m/r2B	1																															7						4				2	1		2							2	5												24
	1m/l1B	1																														1	12			1	1				1				1											1										19
	1m/l2B																																4		1		2		1				1												3		3									15
	Somme	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	26	0	1	1	3	0	6	0	1	3	1	1	2	0	0	1	0	0	0	1	4	8	1	3	0	0	0	0	0	0	0	67
du 26/6/85	2m/r1					1																											1																	1																3
au 4/9/85	2m/r2				1												2																2				1		6		1	4						5					4			1									27
	2m/l1																																11		3	5	27		18		18			3												24	2									107
	2m/l2	1																		1													3		2		1		1			1							1				1			4										16
	Somme	5	2	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	69	0	7	7	35	0	35	0	19	11	2	5	4	0	0	7	2	0	0	2	12	17	2	35	2	0	0	0	0	0	0	0	267

		NAU	ACA	TAR	OLI	PSO	DIA	P1	P2	P3	E1	E2	E3	E4	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10	CLA	O1	O2	O3	O4	O5	O6	O7	NIPH	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	C1	C2	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	GAS	OLI	NEM	DIP	PRO	HEM	CL	TRI	GAM	BAT	TOTAL
du 4/09/85	1m/r1																																						1					2									3	1												7
au 2/10/85	1m/r2																																3								1			1																						5
	1m/r11																																11								1																									12
	1m/r12																																21																					1													22
	Somme	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	35	0	0	0	0	0	1	0	2	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	46
du 26/10/85	1m/r1																																3											1																							4
au 27/11/85	1m/r2																																2						1																											3
	1m/r11																																18								1												2		1											20
	1m/r12																																2											1		1								3												7
	Somme	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	23	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	2	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	34
du 27/11/85	8j/r1																																5										1	1													1											9
au 5/12/85	8j/r2																																4						2										1							1											8
	8j/r11																																2																																		2
	8j/r12	1																																																1															3
	Somme	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11	0	0	0	0	0	2	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	22
du 5/12/85	15j/r1													1																			10						1						1																						13
au 18/12/85	15j/r2	1																															3								1		1	1	1																						8
	15j/r11																																8													2																					10
	15j/r12																																3													1								1													5
	Somme	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	24	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	2	3	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	36
du 18/12/85	15j/r1B																																2																																		2
au 8/01/86	15j/r2B																																						1																			1								2
	15j/r1B		1																														8																					1													10
	15j/r2B																																3																																		3
	Somme	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	17
du 5/12/85	1m/r1				1																												1																								1										3
au 8/01/86	1m/r2																																2										2														1										5
	1m/r11																																13																	1																14
	1m/r12																																4																						1	1	1									7
	Somme	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	29
du 8/01/86	1m/r1B	1	5						1		5						2	1	1				1										14		8	4	6						4														1	12	12									78
au 12/2/86	1m/r2B		2				3				8						3																11		6		2					2												1		4	10	10									61
	1m/r1B	1	4	1	3																		1										18		2		12		4				8		2		1			3			3	1	1		26									91
	1m/r2B	6	5		4		1																										20		4	2	4		4		2	3		3					1	2			7	3	1	4	56									132
	Somme	8	16	1	7	0	1	3	1	0	13	0	0	0	0	0	5	1	1	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	63	0	19	8	24	0	8	0	4	16	0	5	0	1	0	0	1	5	0	0	0	11	4	7	26	104	0	0	0	0	0	0	0	0	362
du 5/12/85	2m/r1				2	2		3			9						6		2														21		6	9	2						1		1	1				1						4	22	14									108
au 12/2/86	2m/r2	1	4		2						4	1					3		1														18		2		2		8															1	1	3	7	17			1						72
	2m/r11	5	5		8							1																					21		15	5	6		4				3							4				5	5	1	9	33									128
	2m/r12	2	11		3						2																					1	23		5	7	4						3											1	2	1	8	38								1	113
	Somme	8	20	0	13	2	0	3	0	0	15	2	0	0	0	0	9	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	81	0	28	21	14	0	10	0	0	7	0	1	1	0	0	1	4	0	0	1	8	7	9	46	102	0	0	1	0	0	0	1	419
du 26/2/86	8j/r1							4	3		1						4		2														11																					3													28
au 5/3/86	8j/r2	3						2	4		2	1					3																9						1					2	2								29	8		1										67
	8j/r11	5																															4											1		1				1		1			7	1										21
	8j/r12	24																															8						1									1	1	2			5	24	4	0										68
	Somme	32	0	0	0	0	0	6	7	0	3	1	0	0	0	0	7	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30	0	0	0	0	0	1	0	0	0	2	2	3	0	1	1	3	0	1	5	56	19	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	184
du 5/3/86	15j/r1	8																															9																					24													41
au 20/3/86	15j/r2	3																	1			1											7						1															7													20
	15j/r11	9																															3						2									1	1	2				18	1												37
	15j/r12	14																															4															1						4	1	2											26
	Somme	34	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	23	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	2	1	2	0	0	0	53	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	124
du 20/3/86	15j/r1B	3		1	3			1	2								2	14	52			1				1						1	11	2	2	4					6	9		1									12	2	2	17	14									163
au 14/4/86		65	4	1	36												2		7			1				2							30	14	3		11		11	4		35		5						1	30	1		1	29	55	1									339
	Somme	68	4	2	39	0	0	1	2	0	0	0	0	0	0	0	4	14	59	0	0	2	0	0	0	3	0	0	0	0	0	1	41	18	5	4	11	0	11	4	8	44	0	6	0	0	0	0	0	0	1	30	13	2	3	46	69	1	0	0	0	0	0	0	0	502
du 5/3/86	1m/r1	1			2												1	8	75														15		3	1	2		2				2		1								1		0	41	34									189
au 14/4/86	1m/r2	1	3		2			2	1								3	5	35					1									12	1	3				1			1		1								2		1	14	15									104
	1m/r11	79	10	2	44														1							3							45	16	3	6	16		8			46		5			2		1				52	5	4	25	50		3							426
	1m/r12	32	7		5														1														20		3						1		16						1	1			36	1	1	23	17									165
	Somme	113	20	2	53	0	0	2	1	0	0	0	0	0	0	0	4	13	112	0	0	0	0	0	1	0	3	0	0	0	0	0	92	17	12	7	18	0	11	1	1	84	1	6	0	0	3	1	1	0	0	0	91	8	6	103	116	0	3	0	0	0	0	0	884
du 14/4/86	1m/r1B	2	1									1					8		8														3																					10	4			3									40
au 9/6/86	1m/r2B	1															50	2	12		1												9				1					2											5			7	15									105
	1m/r1B	18	2		5																					3							16			2	2					8		1	2				2				32	3	2	1	8									105
	1m/r2B	35			1																												14										5	1	3				4	1				53			1	5									123
	Somme	58	3	0	6	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	58	2	20	0	1	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	42	0	0	2	3	0	0	0	0	15	1	4	2	0	0	4	3	0	0	0	100	7	2	9	29	0	0	0	0	0	0	0	373
du 8/3/86	2m/r1															2	113	1	24		2												5				1					1											1	3		5	5									163
au 9/6/86	2m/r2				2												20	4	6														2		2		5		2			4	1										1	1	1	7	28									86
	2m/r11	21	6		2												2					1									5	18		7	20	1				10	33	1	9	2				11				45	3		8	70									274
	2m/r12	28	4		8												1	1				1									1	22		11	6	12				6	18			2					3				37	1	2	21	53									238
	Somme	49	9	0	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	136	8	30	0	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	47	0	20	28	19	0	2	0	18	58	2	11	2	0	3	11	0	0	0	0	84	8	3	41	156	0	0	0	0	0	0	0	761

abréviations utilisées :

ACA - Acariens
COL - Coléoptères
DIA - Diptères adultes
CLA - Cladocères
NIPH - Niphargus
GAS - Gastéropodes
OLI - Oligochètes
NEM - Nématodes
TRI - Trichoptères
ISO - Isoptères terrestres

NAU - Naupli
TAR - Tardigrades
PSO - Psocoptères
DIP - Diptères
PRO - Protoures
HEM - Hémiptères
CL - Coléoptères adultes
GAM - Gammares
BAT - Bathynelles

P - Plécoptères
P1 - larvules
P2 - Nemoura sp.
P3 - Leuctra sp.
E - Ephéméroptères
E1 - larvules
E2 - Ephemerella ignita
E3 - Leptophlebiidae
E4 - Ecdyonurus sp.

D - Diptères
D1 - Tanypodinae
D2 - Corynoneurinae
D3 - Orthocladinae
D4 - Chironominae
D5 - Chironomidae juvéniles
D6 - Dixidae
D7 - Simuliidae
D8 - Ceratopogonidae

D9 - terrestres divers
D10 - Stratiomyidae
O - Ostracodes
O1 : Potamocypris sp.
O2 - Cypris ophthalmica
O3 - Hyhycypris sp.
O4 - Pseudocandona pratensis
O5 - Pseudocandona albicans
O6 - Candona neglecta

O7 - juvéniles
H - Harpacticoïdes
H1 - Canthocamptus staphylinus
H2 - Bryocamptus typhlops
H3 - Alteyella crassa
H4 - Paracamptus schmeili
H5 - Mesaria varica
H6 - Elaphoidella cavatica
H7 - Canthocamptus

H8 - Bryocamptus echinatus
H9 - copépodites
C - Cyclopoïdes
C1 - Eucyclops serrulatus
C2 - Paracyclops fimbriatus
C4 - Megacyclops viridis
C5 - Diacyclops bicuspidatus
C6 - Acanthocyclops robustus
C7 - Acanthocyclops venustus

C8 - Diacyclops languedocides
C9 - Tropocyclops prasinus
C10 - Diacyclops bisetosus
C11 - Diacyclops languidus
C12 - copépodites
C13 - mâles

ANNEXE 8 : Taxons obtenus par filtrage durant trois heures des eaux du ruisseau de l'évent de Foussoubie avec un filet de vide de maille de 300 µ.

DATE	débit l/s	ACA	COL	DIA	PLEC	EPH	DIPT	CLA	OST	NIPH	HAR	CYC	GAS	OLI	NEM	TRI	ISO. T
10/10/84	10		1				1			2		1		1	2		
1/11/84	29		6	2				21		6		50					1
23/11/84	91	4	4		38	3	10	1	12	26	1	90	20	16	6	1	
5/2/85	95					8,8	2,4	0,8	2,4	3,2	0,8	263	0,8	3,2			
13/2/85	81				1	25		1		8		590	1	3			
27/2/85	30			1		7				6		114		2			
22/3/85	80		0,92	1,8	1,8	10	3,7	0,9	1,8	22		257	10	12	0,9		
26/4/85	46			2	1	2	2			7		46	1	2			
27/5/85	52	1	1			2				11		75	4				
19/6/85	15		1							5		1					
24/6/85	17									5		1					
10/7/85	2		1							3		3					
31/7/85	7		2							1		1	1	1			
4/9/85	1		1	1						1							
2/10/85	2			1						1							
26/10/85	2	1	1							1		1					
27/11/85	2									2							
5/12/85	2											1					
9/12/85	2	1										3					
8/1/86	4									7		1					
12/2/86	63		0,95	0,9					5,7	97		125	17	0,9			
26/2/86	45	1			1					18		98	1				
5/3/86	62									68		78	10	4			
20/3/86	27				1					27		69					
14/4/86	136	1			5,8		1		1	52		90	3,9	1			0,97
9/5/86	129	2,9		1		5,8	1		1	65		283	26	2,9	1,9		

Abréviations utilisées :

ACA = Acariens
COL = Coléoptères
DIA = Diptères adultes
PLEC = Plécoptères
EPH = Ephémères
DIPT = Diptères larves
CLA = Cladocères
OST = Ostracodes

Niph = Niphargus
HAR = harpacticoïdes
CYC = Cyclopoïdes
GAS = Gastéropodes
OLI = Oligochètes
NEM = Nématodes
TRI = Trichoptères
ISO T = Isopodes terrestres

ANNEXE 9 : Taxons obtenus par filtrage des eaux du ruisseau de l'évent de Foussouble, avec un filet de vide de maille 300 µ

Date	débit (l/s)	ACA	COL	DIA	P2	P3	E3	E4	D1	D2	D3	D4	D5	D9	CLA	O1
10/10/84	9		1								1					
1/11/84	28		6	2											21	
23/11/84	90	4	4		38			3	4	2	3			1	1	
5/2/85	95						8.0	0.8	2.4						0,8	0,8
12/2/85	80				1		25								1	
27/2/85	30			1			7									
22/3/85	80		0,9	1,8	1,8		10,2		1,8	0,9		0,9			0,9	
26/4/85	45			2		1	2				2					
27/5/85	52	1	1				2									
19/6/85	14		1													
26/6/85	16															
10/7/85	2		1													
31/7/85	6		2													
4/9/85	1		1	1												
2/10/85	2			1												
26/10/85	1	1	1													
27/11/85	2															
5/12/85	1															
9/12/85	1	1														
8/1/86	3															
12/2/86	63		0,9	0,9												
26/2/86	44	1			1											
5/3/86	61															
20/3/86					1											
14/4/86	136	1.0			5.8						1,0					
9/5/86	129	2,9		1,0		0,0	5,8						1,0			

Date	O2	O3	O4	O5	O6	O7	NIPH	H6	H9	C1	C2	C4	C5	C6	C8	C10	C12	C13	GAS	OLI	NEM	TRI	ISO
10/10/84							2											1		1	2		
1/11/84							6			1		5	5				16	23					1
23/11/84	6	1	3	1	1		26	1		13	30	30	17						20	16	6	1	
5/2/85				1,6			3,2		0,8	40,0		20,8		21,6			96,0	84,8	0,8	3,2			
12/2/85							8			104		106		28			137	215	1	3			
27/2/85							6			48	4	11			2		40	9		2			
22/3/85	1,8						22,2			84,9	3,7	48,9		12,9			74,8	31,4	10,2	12,0	0,9		
26/4/85							7			29		2					10	5	1	2			
27/5/85							11			37		4		2			20	12	4				
19/6/85							5			1													
26/6/85							5			1													
10/7/85							3			1							1	1					
31/7/85							1			1									1	1			
4/9/85							1																
2/10/85							1																
26/10/85							1										1						
27/11/85							2																
5/12/85												1											
9/12/85																	3						
8/1/86							7					1											
12/2/86	5,7						96,6					15,2		13,3			3,8	92,8	17,1	0,9			
26/2/86							18					23		1			5	69	1				
5/3/86							68			2		31		4			12	29	10	4			
20/3/86							27			7		11		2			36	13					
14/4/86	1.0						51,6			5,8		22.4		6,8		3,9	23,4	27,2	3,9	1,0			1,0
9/5/86						1,0	65,2			77,8		78,8		12,6			53,5	60,3	26,3	2,9	1,9		

abréviations utilisées :

ACA = Acariens
COL = Coléoptères
DIA = Diptères adultes
CLA = Cladocères

P = Plécoptères
- P2 = Nemoura sp.
- P3 = Leuctra sp.

E = Ephéméroptères
- E3 = Leptophlebiidae
- E4 = Ecdyonurus sp.

D3 = Orthocladiinae
D4 = Chironominae
D5 = Chironomidae juvéniles
D9 = terrestres divers
O = Ostracodes
- O1 : Potamocypris sp.

abréviations utilisées :

O = Ostracodes
- O2 = Cypria ophthalmica
- O3 = Hylyocypris sp.
- O4 = Pseudocandona pratensis
- O5 = Pseudocandona albicans
- O6 = Candona neglecta

H = Harpacticoïdes
- H6 = Elaphoidella cavatica
- H9 = copépodites

C = Cyclopoïdes
- C1 = Eucyclops serrulatus
- C2 = Paracyclops fimbriatus
- C8 = Diacyclops languidoides
- C10 = Diacyclops bisetosus
- C12 = copépodites
- C13 = mâles

NIPH = Niphargus
GAS = Gastéropodes
OLI = Oligochètes
NEM = Nématodes
TRI = Trichoptères
ISO = Isoptères terrestres

ANNEXE 10 : Taxons récoltés dans les substrats artificiels placés pendant 1 mois dans les sédiments du ruisseau de l'évent de Foussoubie.

DATE		NAU	ACA	COL	PSO	PLEC	EPH	DIP	O1	NIPH	H2	H3	H4	H6	H8	H9	C2	C12	GAS	OLI	NEM
04/09/85	AMONT							1						1					1	1	
	AVAL	1	1					1													
02/10/85	AMONT																				1
	AVAL	1			1					2											
27/11/85	AMONT									1											
	AVAL		1					2		3											
08/01/86	AMONT																	1			
	AVAL	0																0			
12/02/86	AMONT			2		5	2	7		7	3	1	8	6	1	3	2	1	4	19	9
14/04/86	AMONT		2	2				25		4	3		4		1	2		4		10	10
	AVAL	3	2					5	1	20	1			1				10		16	7
09/05/86	AMONT		1					5		5				1							
	AVAL							1		7						1		1		1	

abréviations utilisées :

NAU = Nauplius
ACA = Acariens
COL = Coléoptères
PSO = Psocoptères
PLEC = plécoptères
EPH = Ephéméroptères

NIPH = Niphargus
H = Harpacticoïdes
H2 = Bryocamptus typhlops
H3 = Atteyella crassa
H4 = Paracamptus schmeili
H6 = Elaphoidella cavatica

C = Cyclopoïdes
C2 = Paracyclops fimbriatus
C12 = copépodites
GAS = Gastéropodes
OLI = Oligochètes
NEM = Nématodes

ANNEXE 11 · Taxons obtenus par filtrage (> 300µ) des eaux de la sources de Foussoubie durant la crue de 28/01/88 au 29/01/88.

	DUREE	ACA	TAR	COL	PSO	EPH	DIPT	CLA	NIPH	HAR	CYC	GAS	OLI	NEM	COLEO L A	ISO A	N	terrestre divers (*)
S2	13H40 à 14H10	2		61					12		31						129	23
S9	18H15 à 18H40	2		4					18		10	1		1		1	45	8
S11	18H45 à 19H10	4		18	1	1	1		65		30	2		2	2		132	6
S12	19H10 à 19H30	19	16	210	12		4		111	1	135	12	1	6	3	2	688	156
S15	20H00 à 20H05	4		8			1		15		30		1	1		1	64	3
S18	20H50 à 20H55	3		5					5		31		2	1			50	3
S19	22H00 à 22H05	1		4					9		14						29	1
S20	22H25 à 22H30	1		1				1	2		14						19	0
S24	23H55 à 24H00			4			1	4	1		19		1				32	2
S28	00H40 à 00H45	1		5			1	4			8					1	20	0

(*) Terrestres divers = Hémiptères, coléoptères, Diptères, Isoptères, Pseucoptères, Hyménoptères, Plannipennes.

Abréviations utilisées :

ACA = Acariens	DIPT = Diptères	GAS = Gastéropodes
TAR = Tardigrades	CLA = Cladocères	OLI = Oligochètes
COL = Coléoptères	NIPH = Niphargus	NEM = Nématodes
PSO = Psocoptères	HAR = Harpacticoïdes	COLEO L A = Coléoptères, larves aquatiques
EPH = Ephéméroptères	CYC = Cyclopoïdes	ISO = Isopodes aquatiques

ANNEXE 12 : Taxons obtenus par filtrage (> 300µ) des eaux de la sources de Foussoubie durant la crue de 28/01/88 au 29/01/88.

	DUREE	ACA	TAR	COL	PSO	EPH	DIPT	CLA	NIPH	HAR	CYC	GAS	OLI	NEM	COLEO L A	ISO A	N	terrestre divers (*)
S2	13H40 à 14H10	2		61					12		31						129	23
S9	18H15 à 18H40	2		4					18		10	1		1		1	45	8
S11	18H45 à 19H10	4		18	1	1	1		65		30	2		2	2		132	6
S12	19H10 à 19H30	19	16	210	12		4		111	1	135	12	1	6	3	2	688	156
S15	20H00 à 20H05	4		8			1		15		30		1	1		1	64	3
S18	20H50 à 20H55	3		5					5		31		2	1			50	3
S19	22H00 à 22H05	1		4					9		14						29	1
S20	22H25 à 22H30	1		1				1	2		14						19	0
S24	23H55 à 24H00			4			1	4	1		19		1				32	2
S28	00H40 à 00H45	1		5			1	4			8					1	20	0

(*) Terrestres divers = Hémiptères, coléoptères, Diptères, Isoptères, Pseucoptères, Hyménoptères, Plannipennes.

Abréviations utilisées :

ACA = Acariens	DIPT = Diptères	GAS = Gastéropodes
TAR = Tardigrades	CLA = Cladocères	OLI = Oligochètes
COL = Coléoptères	NIPH = Niphargus	NEM = Nématodes
PSO = Psocoptères	HAR = Harpacticoïdes	COLEO L A = Coléoptères, larves aquatiques
EPH = Ephéméroptères	CYC = Cyclopoïdes	ISO = Isopodes aquatiques

ANNEXE 13 : Taxons récoltés à la source de l'Aiguille par les substrats artiliciels immergés pendant 1 mois.
Deux substrats ont été placés à chaque prélèvement ; un se situe à l'amont (sub. D. Am) de l'autre (sub. G. Av).
Le substrat aval (G. Av) immergé du 22/03/ au 26/04/85 a disparu.

IMMERSION des SUBSTRATS						larves de Diptères							cyclopoïdes			Harpacticoïdes								
durée	lieu	NEM	OLI	GAS	COL	Chiro. juv	Chironominae	Corymoneura	Orthoclaïdinae	Dixidae	PLEC	TRI.	P. limbriatus	cop	male	1	2	3	4	Gam	Niph	Aca	CI	nau
du 23/11/84	D. Am	1	3	83	0	1	1	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0
au 21/12/84	G. Av	1	0	22	3	7	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	3	0	1	2	0	5	0	0
du 27/12/84	D. Am	1	1	88	0	0	0	0	2	0	1	0	0	2	0	0	0	0	2	8	1	3	1	0
au 05/02/85	G. Av	1	0	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	6	0	13	10	9	1	2	0	1
du 05/02/85	D. Am	1	1	38	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	1	0	0	0
au 06/03/85	G. Av	1	1	24	0	3	3	2	1	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	22	1	1	2	0
du 22/03/85	D. Am	0	1	22	0	3	1	0	2	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	1	2	2	1
du 26/04/85	D. Am	1	1	34	0	30	1	0	13	0	0	0	0	0	1	1	2	4	0	1	0	4	0	0
au 27/05/85	G. Av	1	0	43	0	8	4	3	19	1	0	0	1	0	1	1	0	0	0	20	0	2	0	0
du 19/06/85	D. Am	0	0	79	1	9	0	1	3	1	0	0	0	0	0	2	0	0	0	196	9	16	0	0
au 22/07/85	G. Av	0	1	73	0	4	0	2	1	1	0	1	0	0	0	1	0	0	1	166	1	9	3	1
du 30/07/85	D. Am	0	1	232	0	5	0	8	1	2	0	4	0	0	1	7	0	0	3	108	8	5	3	0
au 04/09/85	G. Av	1	0	250	0	2	1	2	1	2	0	2	0	0	0	1	0	0	0	243	0	1	5	0
du 04/09/85	D. Am	0	6	119	2	130	9	3	11	11	0	2	2	0	4	0	0	0	2	52	4	4	3	0
au 02/10/85	G. Av	1	1	123	0	6	7	4	4	0	0	3	1	0	0	1	0	0	0	18	1	0	1	1
du 26/10/85	D. Am	1	1	136	0	8	19	3	4	0	0	3	0	5	2	2	0	0	0	15	5	1	0	0
au 27/11/85	G. Av	0	2	198	0	1	71	13	5	0	0	1	5	10	2	6	1	0	6	23	5	7	3	7
du 27/11/85	D. Am	1	12	112	3	8	17	0	4	0	0	2	0	1	3	1	1	0	0	1	4	5	0	0
au 30/12/85	G. Av	1	6	71	2	2	10	12	7	1	0	0	2	2	0	7	6	0	5	55	1	11	1	0
du 08/01/86	D. Am	0	6	133	0	0	3	0	0	0	0	1	0	2	0	3	3	0	0	1	3	0	0	0
au 12/2/86	G. Av	2	5	155	0	0	47	3	4	0	0	2	1	10	1	1	2	0	2	0	11	1	0	0

Abréviations utilisées :

ACA = Acariens
COL = Collemboles
DIA = Diptères adultes
PLEC = Plécoptères
CI = Coléoptères larves
TRI = Trichoptères

Niph = Niphargus
Gam. = Gammares
GAS = Gastéropodes
OLI = Oligochètes
NEM = Nématodes

Harpacticoïdes
H1 = Bryocamptus echinatus
H2 = Bryocamptus schokei
H3 = Atteyella crassa
H4 = Copépodites

ANNEXE 14 : Taxons obtenus par filtrage (>300µ) des eaux de la source de l'Aiguille au cours de la période d'étude du 23/11/84 au 9/05/86

date	23/11	21/12	27/12	5/02	6/03	22/03	26/04	27/05	19/06	22/07	31/07	4/09	2/10	26/10	27/11	30/12	8/01	12/02	5/03	14/04	9/05
année	1984	1984	1984	1985	1985	1985	1985	1985	1985	1985	1985	1985	1985	1985	1985	1985	1986	1986	1986	1986	1986
débit	20	19	12	35	58	33	13	11	9	6	6	3	4	4	3	5	2	17	20	24	24
durée en heures	6	4	4		7	5/45	6	6	5/20	6	6	6	6/40	6	6	6	6/15	6/10	6	6/40	6/20
N pour 6 heures																					
Nematodes	0	0,0	0,0	0	0,0	2,1	1	1	1,1	0	0	0	0,0	2	0	0	0,0	0,0	0	0,0	4,7
Oligochètes	0	3,0	1,5	0	0,9	0,0	0	0	0,0	0	0	1	0,0	0	0	0	0,0	0,0	0	0,0	0,0
Gastéropodes	19	9,0	4,5	2	28,3	4,2	0	0	2,3	1	12	7	0,9	1	2	0	2,9	22,4	14	27,0	4,7
Collemeboles	1	4,5	1,5	3	6,9	0,0	2	10	2,3	1	1	0	1,8	6	7	3	6,7	1,0	2	0,9	4,7
Diptères larv.	2	1,5	1,5	1	8,6	4,2	10	4	5,6	1	1	5	0,0	12	9	12	3,8	3,9	5	0,9	3,8
Plécoptères	0	0,0	0,0	0	0,0	0,0	0	0	0,0	0	0	0	0,0	0	0	0	0,0	1,0	0	0,0	0,0
Trichoptères	2	0,0	0,0	0	0,0	1,1	0	0	0,0	0	0	0	0,0	2	0	2	0,0	4,9	0	0,0	0,0
Cyclopoïdes	0	0,0	0,0	0	0,0	1,1	0	0	0,0	1	0	0	0,0	0	0	1	0,0	0,0	1	0,0	0,9
Harpacticoïdes	0	1,5	1,5	2	0,9	1,1	1	0	1,1	0	0	1	0,0	0	0	0	0,0	0,0	0	0,0	0,0
Gammares	10	1,5	0,0	7	5,1	0,0	1	3	2,3	78	54	2	1,8	0	0	1	0,0	0,0	5	13,5	0,9
Niphargus	9	6,0	1,5	3	12,9	3,2	0	0	1,1	0	0	0	0,9	0	1	0	0,0	8,8	1	1,8	0,9
Acarien	1	0,0	1,5	1	0,9	2,1	0	0	0,0	1	0	0	0,0	0	1	1	0,0	0,0	0	0,9	0,9
Coléoptères larv.	0	1,5	0,0	3	0,9	2,1	0	3	2,3	1	1	0	0,0	0	0	0	0,0	0,0	2	1,8	0,0
Divers terrestres	3	3,0	3,0	17	24,9	7,4	6	17	9,0	3	3	2	8,1	17	5	2	3,8	4,9	3	1,8	12,3

ANNEXE 15 : Matières organiques et minérales (>160 µ) récoltées dans les différentes parties (filet ou ficelle) des substrats artificiels immergés à l'évent de Foussoubie. Les appareils sont situés en zone rapide (R1, R2) ou en zone lente (L1, L2) et sont consignés selon différentes durées (1j, 8j, 15j, 1m, 2m).

		M. organique	M. Miné.	CONTENU
1j/r1.fil +ficel	du 10/10/84	0,08	0,05	ficel.;un peu D.O.
1j/r2.fil + ficel	au 11/10/84	0,04	0,12	ficel;graviers;D.O.
1j/l A fil +ficel		0,08	0,16	ficel,D.O.
1i/l B fil+ficel.		0,06	2.73	grav.;ficel.
Σ 1i		0.26	3.06	
8j/r fil+ficel	du 11/10/84	0,06	0,33	ficel;gravier
8j/r fil + ficel	au 18/10/84	0,03	0,35	ficel;gravier;D.O.
8j/l A Fil+fic		0,40	71,90	graviers;ficel.
8i/l B fil + ficel.		0,17	18,00	caillo.;grav.
Σ 8i		0.66	90.59	
15j/r1.fil +ficel	du 18/10/84	0,13	7,72	?
15j/r2.fil + ficel	au 1/11/84	0,67	129,59	graviers;un peu ficel?
15j/l1.fil + ficel		0,07	1,06	ficel;sable;gravier
15i/l2. fil +ficel		0,03	0,26	ficel.;D.O.;graviers
Σ 15i		0.91	138.62	
1m/r1.ficel	du 18/10/84	0,54	1,53	Dvgtx;feuil;brind;un peu grav.
1m/r1.filet	au 23/11/84	0,29	10,13	feuilles;brindilles;graviers
1m/r2.ficel		2,46	1,85	D vgtx;feuil.;brind.;D.O..
1m/r2.filet		1,10	2,07	feuil(chên,saul);brindil;très peu sable et D.O.
1m/l1.ficel		1,20	7,21	D vgtx;feuil.;brind.;D.O..
1m/l1.filet		0,77	11,74	D vgtx;feuil.;brind.;un peu sable
1m/l2.ficel		3,56	14,13	feuilles;brindilles;D.O.;sable
1m/l2.filet		26,76	75,54	D.vgtx+feuil.+brin.;D.O.;SABLE (feuil.= érable,chêne,peuoliers,cornouiller)
Σ 1m		36.69	124.21	
2m/r1.ficel	du 18/10/84	1,49	33,22	graviers;D vgtx;1 grose brind
2m/r1.filet	au 27/12/84	0,17	3,53	3 feuil. érable;1 brindil.;graviers
2m/r2.ficel		0,55	18,96	Dvgtx;feuil.;brindil.;graviers.
2m/r2.filet				
2m/l1.ficel		1,70	78,65	graviers;dVGTX.feuil et brind
2m/l1.filet		1,09	220,94	graviers;ptts cailo.;sable;un peu D.O.
2m/l2.ficel		0,00	0,00	
2m/l2.filet		0.00	0.00	
Σ 2m		5.00	355.31	
1j/r1.ficel	du 26/4/85	0,00	0,11	grav.;ficel.
1j/r1.filet	au 27/4/85	0,01	0,77	grav.
1j/r2.ficel		0,01	0,09	grav.;ficel.D.O..
1j/r2.filet		0,06	0,25	2 feuil.;graviers
1j/l1.ficel		0,01	0,05	Dvgtx;ficel..
1j/l1.filet		0,01	0,16	graviers
1j/l2.ficel		0,01	0,44	gravier fin;ficelle; très peu D.O.
1i/l2.160		0.00	0.00	
Σ 1i		0.10	1.87	
8j/r1.ficel	du 5/2/85	0,01	0,06	ficel;gravier;D.O.
8j/r1.filet	au 12/2/85	0,00	0,03	graviers
8j/r2.ficel		0,01	0,04	ficel.;un peu D.O.
8j/r2.filet		0,01	0,35	graviers;un peu Dvgtx et D.O.
8j/l1.ficel		0,00	0,04	ficel;gravier;D.O.
8j/l1.filet		0,01	0,70	graviers ;un peu D.O.
8j/l2.ficel		0,01	0,08	ficel;D.O.;graviers
8j/l2.filet		0.00	0.07	sable; D.O.
Σ 8i		0.05	1.38	
15j/r1.ficel	du 13/2/85	0,01	0,05	ficel;D.O.;graviers
15j/r1.filet	au 27/2/85	0,00	0,07	sable; D.O.
15j/r2.ficel		0,01	0,17	grav.;ficel
15j/r2.filet		0,07	0,96	D vgtx;D.O.;graviers
15j/l1.ficel		0,01	0,16	grav.;ficel.;D.O..
15j/l1.filet		0,02	0,93	gravier; sable,très peu D. vgtx.
15j/l2.ficel		0,01	0,06	grav.;ficel
15i/l2.filet		0,00	0,10	graviers
Σ 15i		0.13	2.49	
1m/r1.ficel	du 13/2/85	0,02	0,98	grav.;ficel.;D.O.
1m/r1.filet	au 22/3/85	0,01	0,15	grav.;D.O.
1m/r2.ficel		0,06	0,94	1 feuil.;brind;grav.
1m/r2.filet		0,00	0,35	grav.;D.O..
1m/l1.ficel		0,10	0,84	D.O.;sable;brind.
1m/l1.filet		0,08	0,81	D.vgtx;sable;D.O.
1m/l2. ficel		0,37	0,91	Dvgtx;feuil,brind.;D.O.
1m/l2.filet		3,14	42,07	grav.;Dvgtx;D.O.;feuil. brind
Σ 1m		3.78	47.05	
2m/r1.ficel	du 13/2/85	0,15	9,64	grav.;Dvgtx;D.O..
2m/r1.filet	au 26/4/85	0,31	41,08	grav
2m/r2.ficel		0,06	2,59	grav.Dvgtx;D.O..
2m/r2.filet		0,11	4,64	grav.;Dvgtx.
2m/l1.ficel		0,11	0,53	D.O.;D vgtx.;grav.
2m/l1.filet		0,07	0,59	graviers;D.O.;D vgtx.
2m/l2.ficel		0,05	0,00	D.O.;sable;brind.
2m/l2.filet		0,12	0,18	D vgtx;D.O.
Σ 2m		0,96	59.25	
8j/r1.ficel	du 19/6/85	0,01	0,09	graviers;ficel.;D.O..
8j/r1.filet	au 26/6/85	0,01	0,33	grav.;D.O..
8j/r2.ficel		0,02	0,07	graviers;ficel;D.O..
8j/r2.filet		0,01	0,30	grav.;D.O..
8j/l1.ficel		0,01	0,05	graviers;ficel.;D.O..

8j/l1.filet		0,01	0,00	grav.;sable.;un peu D.0.
8j/l2.ficel		0,01	0,11	graviers;ficel.;D.0..
8j/l2.ficel		0,01	0,75	grav.
8j/l2.filet		0.19	26.04	grav.:D.O.
Σ 8j		0,29	27.73	
15j/r1.ficel	du 26/6/85	0,01	0,14	graviers;ficel.
15j/r1.filet	au 10/7/85	0,02	0,60	?
15j/r2.ficel		0,34	0,13	graviers;D.O.;ficel.
15j/r2.filet		0,04	0,79	grav.;D.O..
15j/l1.ficel		0,02	0,13	graviers;ficel.;D.0..
15j/l1.filet		0,02	1,27	grav.;caillo.D.O.
15j/l2.ficel		0,93	159,21	grav.;caillo.
15j/l2.filet		0,53	91,74	graviers.:D vgtx. +sable
Σ 15j		1,91	254,02	
15j/r1.30 B	du 10/7/85	0,02	0,25	grav.;ficel.1 brindil.
15j/r1.16 B	au 31/7/85	0,02	1,63	grav.;D.O.
15j/r2.ficel B		0,00	0,08	grav.;D.O.;ficel.
15j/r2.filetB		0,02	1,09	grav.
15j/l1.ficel B		0,02	0,36	grav.;ficel.;D.O..
15j/l1.filetB		0,02	1,79	grav.
15j/l2.ficel B		0,02	0,61	grav.;ficel
15j/l2.filetB		0.33	66.85	graviers
Σ 15j		0,45	72,67	
1m/r1.ficel	du 26/6/85	0,00	0,11	grav.;ficel.;D.O..
1m/r1.filet	au 31/7/85	0,02	1,25	grav.;D.O.;1 caillo.
1m/r2.ficel		0,02	0,34	grav.;ficel
1m/r2.filet		0,03	0,41	D.O. ;grav.
1m/l1.ficel		0,02	0,40	?
1m/l1.filet		0,05	2,91	graviers;sable
1m/l2.ficel		0,04	2,60	grav.;D.O.;ficel.
1m/l2.filet?		0,32	25,75	grav.;petits cailloux
Σ 1m		0,49	33,77	
1m/r1.ficelB	du 31/7/85	0,01	0,36	grav.;ficel.;D.O..
1m/r1.filetB	au 4/9/85	0,04	1,99	grav.;D.O..
1m/r2.ficelB		0,01	0,25	grav.;ficel.1 brindil.
1m/r2.filetB		0,02	4,04	cail.;grav.;ficel
1m/l1.ficel B		0,00	0,20	grav.;sable; ficel;très peu D.O.
1m/l1.filetB		0,03	0,79	D.O.;grav.
1m/l2.ficelB		0,08	12,99	grav.;D.O.
1m/l2.filetB		1,52	340,96	gravi.;petits caillo.;très très peu D.O. et D.vgtx
Σ 1m		1,72	361,58	
2m/r1.ficel	du 26/6/85	0,03	0,94	grav.;ficel.;D.O.;2 brind.
2m/r1.filet	au 4/9/85	0,04	2,16	grav.;D.O..
2m/r2.ficel		0,02	0,65	grav.;ficel;2 cail.
2m/r2.filet		0,50	42,19	cailloux schisteux
2m/l1.ficel		0,20	29,89	grav.;D.O..
2m/l1.filet		2,04	261,78	grav.:sable;qques caillo.;qques brindil.
2m/l2.ficel		0,13	11,72	grav.;Dvgtx;D.O.
2m/l2.filet		1,23	210,23	graviers : très peu D.vgtx..brindil.
Σ 2m		4,19	559,56	
1m/r1.ficel	du 4/09/85	0,02	1,42	grav.; d.o.; ficel.
1m/r1.filet	au 2/10/85	0,07	2,89	grav. fins
1m/r2.ficel		0,01	0,24	grav.; ficel.;d.o.
1m/r2.filet		0,01	0,62	grav.
1m/l1.ficel		0,01	0,09	grav.; ficel.
1m/l1.filet		0,01	0,57	grav.;calcite
1m/l2.ficel		0,02	1,43	grav.; D.O.; d. vgtx.;
1m/l2.filet		0,09	13,72	grav.; d.o.;
Σ 1m		0,25	20,98	
1m/r1.ficel	du 26/10/85	0,01	0,05	grav.; ficel.
1m/r1.filet	au 27/11/85	0,01	0,05	grav.
1m/r2.ficel		0,01	0,10	grav.; ficel.
1m/r2.filet		0,02	0,63	grav.
1m/l1.ficel		0,01	0,04	grav.; ficel
1m/l1.filet		0,04	0,84	calcite; graviers
1m/l2.ficel		0,00	0,04	grav; un peu ficelle
1m/l2.filet		0,02	0,21	grav.
Σ 1m		0,11	1,96	
8j/r1.ficel	du 27/11/85	0,01	0,05	grav.;ficel.;D.O..
8j/r1.filet	au 5/12/85	0,01	0,29	grav.
8j/r2.ficel		0,01	0,14	grav.;ficel.;D.O..
8j/r2.filet		0,01	0,00	grav.
8j/l1.ficel		0,01	0,04	grav.;ficel.;D.O..
8j/l1.filet		0,00	0,16	grav.
8j/l2.ficel		0,01	0,03	grav.;ficel.;D.O..
8j/l2.filet		0.02	0.24	grav.;
Σ 8j		0,08	0.96	
15j/r1.ficel	du 5/12/85	0,01	0,27	sable;graviers;un peu D.0.
15j/r1.filet	au 18/12/85	0,01	0,39	D.O.;grav.;sable
15j/r2.ficel		0,02	0,14	D.O.;graviers
15j/r2.filet		0,01	0,51	grav.;D.O.
15j/l1.ficel		0,00	0,09	sable;très peu D.O.
15j/l1.filet		0,02	0,93	grav.;sable
15j/l2.ficel		0,01	0,06	ficelle; un peu gravier
15i/l2.filet		0,01	0.83	calcite ;un peu ficel
Σ 15i		0.10	3.23	
15j/r1.ficelB	du 18/12/85	0,00	0,04	grav.;ficel
15j/r1.filetB	au 8/01/86	0,02	0,22	grav.
15j/r2.ficelB		0,01	0,05	grav.;ficel.
15j/r2.filetB		0,02	0,40	grav.;sable;D.O.

15j/l1.ficelB		0,00	0,13	grav.;ficel..
15j/l1.16B		0,00	0,00	
15j/l2.ficelB		0,00	0,07	grav.;ficel
15i/l2.filetB		0.00	0.00	grav.;calcite;D.O..
Σ 15i		0.05	0,92	
1m/r1.ficel	du 5/12/85	0,00	0,09	grav.;ficel.
1m/r1.filet	au 8/01/86	0,02	0,38	graviers
1m/r2.ficel		0,00	0,07	grav.;ficel.
1m/r2.filet		0,02	0,40	graviers
1m/l1.ficel		0,00	0,02	grav.;ficel.;un peu D.O..
1m/l1.filet		0,01	0,10	grav.;D.0..
1m/l2.ficel		0,00	0,05	grav.;ficel.
1m/l2.filet		0,02	0,42	grav.;D.O..
Σ 1m		0.08	1.53	
1m/r1ficelB	du 8/01/86	0,36	14,38	grav.;Dvgtx
1m/r1.filetB	au 12/2/86	0,60	47,00	ptts caillo. et grav.;D vgtx.qques feuil.;peu D.O.
1m/r2.ficelB		0,91	6,89	D vgtx;D.O.; un peu sable
1m/r2.filetB		0,49	18,43	feuil.;écorce;ptts caillo.;graviers.
1m/l1.ficelB		0.22	0,52	D vgtx.
1m/l1.filetB		0,71	1,07	feuiL;;brindil.
1m/l2.ficelB		0,62	0,66	D vgtx.
1m/l2.filetB		0.70	2,32	feuil. (érable;saule);brindil.
Σ 1m		4.61	91,27	
2m/r1.ficel	du 5/12/85	2,45	119,23	D vgtx.;grav.;ptits caillo.
2m/r1.filet	au 12/2/86	3,84	80,81	petits cailloux et graviers ; sable ;Dvgtx
Tot.2m/r1.filet		0,00	0,00	idem
2m/r2.ficel		0,16	3,17	Dvgtx.;feuil.;brindil.;tiges feuillées;grav.
2m/r2.filet		0,82	36,63	4 cail.(de 124,54580);sabl;Dvgtx(feuil.,brin)
2m/l1.ficel		0,43	0,35	D vgtx.
2m/l1.filet		1,32	22,86	feuil.;brindil.;graviers.
2m/l2.ficel		0,98	10,17	D vgtx.;grav.
2m/l2.filet		4,47	141,72	feuil.;brindil.;D vgtx;graviers
Σ 2m		14,37	414,92	
8j/r1.ficel	du 26/2/86	0,01	0,05	ficel.;grav.;D.O..
8j/r1.filet	au 5/3/86	0,02	0,00	D vgtx.; grav.
8j/r2.ficel		0,00	0,00	D vgtx;D.O.;graviers
8j/r2.filet		0,07	5,22	?
8j/l1.ficel		0,01	0,28	grav.;ficel.
8j/l1.FILET		0,07	8,19	grav.;caillo.
8j/l2.ficel		0,01	0,04	grav.;D.O..
8i/l2.filet		0,03	0,30	graviers
Σ 8j		0,23	14.07	
15j/r1.ficel	du 5/3/86	0,01	0,15	grav.;ficel.
15j/r1.filet	au 20/3/86	0,01	0,16	grav.
15j/r2.ficel		0,42	47,91	gravier; un peu D.vgtx.
15j/r2.filet		3,04	346,95	gros grav.
15j/l1.ficel		0,01	0,21	grav.;ficel
15j/l1.filet		0,02	1,50	grav.
15j/l2.ficel		0,01	0,12	grav.;ficel
15i/l2.filet		0,02	0,19	grav.;très peu D.O.
Σ 15j		3.53	397,17	
15j/r1.ficelB	du 20/3/86	0,52	1,19	D.vgtx; un peu D.O.;très peu sable
15j/r1.filet.B	au 14/4/86	0,09	9,55	gravier; un peu D.vgtx.
15j/R2.A.ficelB		0,62	0,78	D.vgtx;D.O.;très peu gravier
15j/r2.FILETB		0,33	20,52	grav.;2 brindil.;très peu D. vgtx.
15j/l1.ficelB		0,37	2,36	1 feuille;D. vgtx;D.O.
15j/l1.filet.B		1,50	23,13	sable;D.vgtx;ques petits cailloux
15j/R2.B.ficelB		0,96	4,89	D. vgtx; D.O.;gravier
15i/l2.filetB		1.76	64,45	(D.vgtx + graviers)=1/2;petits cailloux, DO
Σ 15i		6,15	126,87	
1m/r1ficel	du 5/3/86	0,71	4,52	1 feuil chêne;qqus brindi.;Dvgtx;peu grav etD.O.
1m/r1filet	au 14/4/86	0,07	4,96	grav,D.vgt
1m/r2.ficel		0,59	1,80	D vgtx;un peu sable
1m/r2.filet		0,20	2,19	D.vgtx = graviers;D.O.
1m/l1.ficel		0,52	1,19	Dvgtx;un peu D.O.;très peu sable ,
1m/l1.filet		1,54	3,74	D.0.;un peu graviers ; Dvgtx
1m/l2.ficel		0,30	15,05	D vgtx =sabl
1m/l2.filet		1,00	8,64	D.vgtx ; graviers;D.O.
Σ 1m		4,92	42,10	
1m/r1.ficelB	du 14/4/86	0,02	0,56	4 petits cailloux;ficelle; D.vgtx;un peu gravier
1m/r1.filetB	au 9/5/86	0,01	0,13	D.O.;sable
1m/r2.ficelB		0,61	3,19	D.vgtx;feuilles;D.O.;gravier
1m/r2.filetB		0,32	5,69	feuil;Dvgtx;sabl;brind(1 de ronce).2 ptts caillo.
1m/l1.ficelB		0,05	0,28	D vgtx;D.O.,un peu gravier
1m/l1.filetB		0,22	0,75	D vgtx;D.O.; un peu de sable
1m/l2.ficelB		0,08	n 33	D.O.;Dvgtx;un peu sable
1m/l2.1filetB		0,08	0,39	D.vgtx; D.O.
Σ 1m		1,41	11,30	
2m/r1.ficel	du 5/3/86	0,22	4,70	D. vgtx; graviers
2m/r1.filet	au 9/5/86	0,13	7,16	graviers; un peu D vgtx
2m/r2.ficel		0,10	3,47	graviers;D.vgtx.
2m/r2.filet		0,00	0,56	I sable
2m/l1.ficel		0,64	1,81	D.vgtx;peu D.O.;sable
2m/l1.filet		0,82	2,98	2 brind.;Dvgtx;un peu D.O.;très peu grav et sabl.
2m/l2.ficel		2,48	15,63	D vgtx(feuil,brind);un peu sable
2m/l2.filet		0,70	39,97	graviers;peu Dvgtx;qques petits cailloux
Σ 2m		5,07	76,28	

ANNEXE 16 : Matières organiques et matières minérales supérieures à 300 µ, piégées par filtrage des eaux de l'évent de Foussoubie.

débit (l/s)	durée	Date	M. organique	M. minérale	nature du contenu
10	3	10/10/84	0,02	0,21	*brind.,grav*
	3	16/10/84	0,27	24,19	*1 brind >10cm, DV, peu grav*
29	3	1/11/84	0,06	10,01	*1 caillou.,grav,brind.*
91	3	23/11/84	12,43	71,41	*feuil. ; Bt de bois, brind,DO DV, grav.*
95	3H45	5/2/85	2,70	5,97	*3 bout bois(3-4cm),dvgt,grav*
81	3	13/2/85	3,33	109,30	*grav, petits cail,DV, brind*
30	3	27/2/85	0,18	6,71	*grav,DV*
80	3H15	22/3/85	0,78	14,87	*DV, grav ,DO*
46	3	26/4/85	0,04	0,37	grav,DV,un peu DO
52	3	27/5/85	0,47	1,88	*DO,Dv*
15	3	19/6/85	0,01	0,11	*gravier,un peu do*
17	3	24/6/85	0,08	0,09	*DV,DO*
2	3	10/7/85	0,01	0,11	*DO,gav*
7	3	31/7/85	0,02	0,02	*dV,DO*
1	3	4/9/85	0,00	0,05	*grav,ficel,DO*
2	3	2/10/85	0,01	0,20	*grav,DO*
2	3	26/10/85	0,01	0,07	*grav,DO*
2	3	27/11/85	0,01	0,26	*gav*
2	3	5/12/85	0,01	0,02	*DVgt, grav*
2	3	9/12/85	0,01	0,08	*grav, un peu DO*
2	3	18/12/85	0,00	0,04	*sable,grav;DO*
2	3	30/12/85	0,01	0,03	*grav,un peu Dv*
63	3h10	12/2/86	2,01	20,17	*gravier, feuil, brind, DO*
45	3	26/2/86	0,51	4,13	*grav,2feuil,brind,Dv*
62	3	5/3/86	4,00	135,69	*gravier,Dvgt*
27	3	20/3/86	0,04	0,92	*DVgt;,gav*
136	3H05	14/4/86	1,46	9,47	*DV,bt de bois,grav,DO*
129	3H05	9/5/86	5,26	244,59	*grav,qques DV, qques cail., sable +DV grossiers (feuil,brind,bt de bois) DO*
95.2	3h45	5/2/85	2,70	5,97	*3 bt de bois, dv,grav*

ANNEXE 17 : Matière organique et matière minérale supérieure à 300 µ, piégées par filtrage des eaux de la source de Foussoubie.

DATE	DEBIT (l/s)	DUREE (mn)	M. organique	M. Minérale	CONTENU
21/12/84	148	120'	0,10	1,16	D. vgtx; graviers
27/12/84	66	80'	0,03	0,10	D.vgtx; D.O.
5/2/85	131		2,82	0,29	15 feuilles de chêne;brindilles (1 de 10 cm)
6/3/85		30'	1,74	17,14	mousse; feuilles (chêne); graviers; D. vgtx; D.O.
6/3/85		30'	2,11	13,92	mousse;feuilles;brindilles;D.O.;graviers
6/3/85		30'	1,12	7,54	mousse;feuilles;D.O. + graviers
6/3/85		30'	1,86	5,92	feuilles (chêne,charme);1brindille;un peu D.O.
22/3/85	108	140'	0,21	0,55	vgtx; un peu D.O.
26/4/85	46	180'	0,69	6,16	graviers;brindilles;feuilles;D.O.;2cailloux
27/5/85	120	180'	0,26	0,14	mousse ; 1 bridille ; D.O. ; graviers
19/6/85	30	180'	2,50	0,66	feuilles;brindilles; D. vgtx
22/7/85	2	180'	0,14	0,09	2 feuilles de buis; D. vgtx.; 1 plume; D.O.
31/7/85	2	180'	0,06	0,15	3 feuilles; D. vgtx
12/2/86	25	195'	0,20	0,21	?
26/2/86	95	180'	0,52	0,27	1 brindille;mousse;D. vgtx;un peu gravier
5/3/86	94	190'	0,08	2,43	graviers; un peu de mousse et de d. vgtx.
14/4/86	104	215'	9,98	16,43	d.vgtx; bts de bois; D.O.; graviers
9/5/86	57	225'	1,23	0,30	feuilles;brindilles.;D. vgtx; D.O.

ANNEXE 18 : Matières organiques et minérales (>160µ) récoltées dans les substrats artificiels immergés pendant 1 mois à la source de l'Aiguille.

Immersion des Substrats date	lieu	MO	MM	M ttle	CONTENU
du 23/11/84	D. Am	0,18	3,63	3,81	1 caillou,sable,DO,DV,ficel
au 21/12/84	G. Av	0,17	1,51	1,68	Dvgt,grav,ficell;DO,DV,sable
du27/12/84	D. Am	0,22	3,67	3,89	DV,DO,sable
au 5/02/85	G. Av	0,07	0,33	0,41	DO,sable,DV,1feuil,2 brind
du 5/02/85	D. Am	0,08	1,58	1,66	DV,sable,ficel
au 6/03/85	G. Av	0,31	2,40	2,71	DV,DO,sable
du 22/03/85	D. Am	0,05	0,23	0,28	grav,ficel,sable, DO
au 26/04/85	G. Av	0,01	0,04	0,05	
du 26/04/85	D. Am	0,08	1,02	1,10	Dv,DO,sable
au 27/05/85	G. Av	0,94	8,10	9,04	sable,DO,Dv,grav
	D. Am	0,09	1,31	1,40	sabl,DO,DV
au 22/07/85	G. Av	0,14	1,62	1,75	sabl,DO,DV
du 30/07/85	D. Am	0,23	4,40	4,63	grav,ficel,sable, DO,DV
au 4/09/85	G. Av	0,69	2,56	3,25	6 feuil de lier,Dv,grav,sabl,DO peu ficel
du 4/09/85	D. Am	0,39	1,64	2,02	1brind,DO, grav, un peu DV,feuil
au 2/10/85	G. Av	0,19	0,85	1,03	sable,DO,grav
du 26/10/85	D. Am	0,49	0,54	1,02	DO,DV,sable,1 feuil
au 27/11/85	G. Av	1,31	1,07	2,38	1 gr feuil, 1feuil de lierre,1 brind, Dv
du 27/11/85	D. Am	0,48	0,50	0,98	DO. DV
au 30/12/85	G. Av	1,02	0,96	1,97	feuil,DV,DO,brind
du 8/01/86	D. Am	0,37	12,65	13,03	DO., DV,sable
au 12/2/86	G. Av	0,60	6,60	7,20	DO., DV,sable

ANNEXE 19 : Matières organique (M.O.) et minérale (M.M.) supérieures à 300µ, piégées durant six heures par filtrage des eaux de la sources de L'Aiguille.

	1984	1984	1985	1985	1985	1985	1985	1985	1985	1985
	23/11	21/12	5/02	6/03	22/03	26/04	27/05	19/06	31/07	4/09
débit	20	19	35	58	33	13	11	9	6	3
contenu	DV DO	DO	2 f., lierre bui. DV,DO	2ptit f. b.,DV DO	1 f., b. DV , DO	2 f. buis DO	DO DV	DV,DO	DO	2 ptit f. DO. g.
M.O. (mg)	0,23	0,04	0,08	0,41	0,14	0,06	0,06	0,04	0,19	0,05
M.M. (mg)	0,22	0,09	0,43	1,04	0,07	0,05	0,04	0,07	0,14	0,05
%MO	51,96	30,22	16,34	28,07	65,70	54,27	59,68	37,98	58,13	50,34

	1985	1985	1985	1985	1986	1986	1986	1986	1986
	2/10	26/10	27/11	30/12	8/01	12/02	5/03	14/04	9/05
débit	4	4	3	5	2	17	20	24	24
contenu	1f., 2b. DO.	DV	6f. DO	1f.,1b. DO	1f., b. DV, DO	3f.vigne b., DV,DO	DV,2f., b. peu DO,sable	bt de bois g., DO,DV	3f. b.,DO
M.O. (mg)	0,04	0,06	0,40	0,27	0,15	0,74	0,19	1,32	0,26
M.M. (mg)	0,09	0,06	0,12	0,09	0,06	1,21	0,17	6,76	0,14
%MO	29,17	52,72	77,21	75,04	73,26	38,24	52,50	16,30	65,00

Abréviations utilisées : DV = débris végétaux ; DO = débris organiques
f. = feuille ; b. = brindille ; g. = gravier.