



HAL
open science

Caractérisation physico-chimique du Haut-Rhône français et de ses annexes ; incidences sur la croissance des populations d'alevins

Georges Carrel

► **To cite this version:**

Georges Carrel. Caractérisation physico-chimique du Haut-Rhône français et de ses annexes ; incidences sur la croissance des populations d'alevins. Sciences de l'environnement. Université Claude Bernard Lyon 1, 1986. Français. NNT : 1986LYO19009 . tel-03945784v2

HAL Id: tel-03945784

<https://hal.inrae.fr/tel-03945784v2>

Submitted on 31 Oct 2024

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Public Domain

N° d'ordre :

Année 1986

THESE

présentée
devant l' UNIVERSITE CLAUDE BERNARD - LYON I
pour l'obtention
du DIPLOME DE DOCTORAT
par

Georges CARREL

CARACTERISATION PHYSICO-CHIMIQUE DU HAUT-RHONE FRANCAIS ET DE SES ANNEXES ; INCIDENCES SUR LA CROISSANCE DES POPULATIONS D'ALEVINS

Soutenu le 21 janvier 1986

Jury : MM. H.L. GOLTERMAN
J. JUGET
E. PATTEE
M. PENAZ
A.L. ROUX

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

UNIVERSITE CLAUDE BERNARD - LYON I

Président honoraire M. le Professeur J. BOLDIN
Administrateur provisoire M. le Professeur C. DUPUY
Administrateur provisoire adjoint M. le Professeur J. CHANEL
Administrateur provisoire adjoint M. le Professeur R. MORNEX
Secrétaire Général de l'Université M. F. MARIANI

U. E. R. DE MEDECINE GRANGE-BLANCHE M. le Pr. Paul ZECH
U. E. R. DE MEDECINE ALEXIS CARREL M. le Pr. René MORNEX
U. E. R. DE MEDECINE LYON NORD M. le Pr. PINET
U. E. R. DE MEDECINE LYON SUD M. le Pr. Jean NORMAND
U. E. R. Faculté de PHARMACIE M. le Pr. C.A. BIZOLLON
U. E. R. DES TECHNIQUES DE READAPTATIONS M. le Pr. EYSSETTE
U. E. R. DE BIOLOGIE HUMAINE M. le Pr. P.A. BRYON
U. E. R. Faculté d'ODONTOLOGIE M. le Pr. Jean LABE
U. E. R. E. P. S. M. C. JACQUEMOUD, Pr. d'E. P. S.
U. E. R. DE MATHEMATIQUES M. René REDON, Assistant
U. E. R. DE PHYSIQUE M. le Pr. Robert UZAN
U. E. R. DE CHIMIE ET BIOCHIMIE Mme A. VARAGNAT, M.A.
U. E. R. DES SCIENCES DE LA NATURE M. le Pr. ELMI
U. E. R. DES SCIENCES PHYSIOLOGIQUES Mme le Pr. J.F. WORBE
U. E. R. DE PHYSIQUE NUCLEAIRE M. le Pr. E. ELBAZ
U. E. R. DE MECANIQUE M. le Pr. GAY
I. U. T. I M. le Pr. J. GIELLY
I. U. T. II M. le Pr. P. MICHEL
OBSERVATOIRE DE LYON M. MONNET, Astronome

A la curiosité de mon père,

A la patience de ma mère. .

Abstract

This work concerns a study of physico-chemical characteristics of different functional units in the French Upper Rhône River, and the dynamics of some fry populations.

The major components (calcium, magnesium, bicarbonate, sulphate and nitrate), the associated parameters (pH and conductivity) and those which can have an effect upon the chemical balance of water and upon aquatic life (temperature, oxygen, suspended matter and chlorophyll a) were regularly recorded during an annual cycle (from February 1983 to January 1984) in three stations. These stations are located in the alluvial plain of Brangues-Le Bouchage-Saint Benoit (departments of AIN and ISERE) in the main stream, in a side arm and in an oxbow lake. The data were studied by Principal Components Analysis, followed by a gradual reconstitution of the original values by the components. This analysis pointed out the fundamental role of temperature and hydrology as factors governing of the fluvial dynamics.

Temperature acts at several levels :

- 1) by physical processes, on the calco-carbonic system,
- 2) on the metabolic activity of the organisms,
- 3) as a meteorological factor, a complement to precipitations, in the annual evolution of discharge.

It induces an seasonal variation of calcium, magnesium and bicarbonate according to physical laws, of nitrate by biological consumption. Due to its effect on the hydrological flow, discharge is the determining factor of the hydrosystem. Thus, it influences most parameters but its closest correlation is with sulphates and suspended matter.

Fish populations were studied during their early life history. Results concern the growth of the dominant species in two different parts of the fluvial system (in limnetic waters : rudd, pumpinskeed - in lotic waters : roach, bleak, spirilin and chub). The annual generation is represented by closely-following cohorts. Their growth is directly dependent on the water temperature, and it varies according to biotic factors (inter- or intra-specific, trophic or spatial competition) or to abiotic factors (water level, velocity, ...).

The most striking impact of water abiotic characteristics on fish populations appears during the flushing of hydro-electric reservoirs. The dramatic modification of the aquatic environment by the important flow of suspended particulate matter is responsible for the alteration of the fish standing crop every three years. A preliminary study of the impact on fry populations was undertaken in June 1984. This reservoir flushing induced fry mortality during periods of chemical instability (at the beginning and at the end of the flushing operations). This field experiment is a new applied research work in hydrobiology.

Résumé

Ce travail est consacré à l'étude des caractéristiques physico-chimiques de certaines unités fonctionnelles du Haut-Rhône français et à la dynamique de leurs populations d'alevins.

Les principaux ions majeurs (calcium, magnésium, bicarbonate, sulfate et nitrate), les paramètres associés (pH et conductivité) et ceux susceptibles d'influer sur les équilibres chimiques de l'eau et la vie aquatique (température, oxygénation, matières en suspension et chlorophylle a) ont été régulièrement enregistrés au cours d'un cycle annuel (février 1983 à janvier 1984) dans trois stations d'étude. Elles sont localisées dans la plaine alluviale de Brangues-Le Bouchage-Saint Benoit (Ain-Isère) et concernent le chenal "Rhône vif", un bras latéral du lit mineur (la lône des Chèvres) et un ancien méandre (la Morte du Sauget).

Le tableau général des résultats a fait l'objet d'une Analyse en Composantes Principales normée, puis d'une reconstitution progressive des données, permettant d'appréhender le rôle fondamental tenu par la température et l'hydrologie comme facteurs régulateurs de la dynamique fluviale.

La température intervient à plusieurs niveaux :

- 1) selon des processus physiques, sur les équilibres calco-carboniques,
- 2) indirectement sur l'activité métabolique des organismes vivants,
- 3) comme facteur météorologique déterminant, complémentaire des précipitations, dans l'évolution annuelle du débit.

Elle imprime une dynamique saisonnière inverse aux ions calcium, magnésium et bicarbonate par le biais des lois physiques, de l'azote nitrique par suite de la consommation biologique. Son intervention dans la constitution du régime hydrologique fait du débit le facteur déterminant de l'hydrosystème dont l'impact général sur la plupart des paramètres physico-chimiques est avant tout perçu avec les sulfates et les matières en suspension.

Les populations d'alevins ont été étudiées au cours de leur apparition et de leur développement dans le milieu. Les résultats concernent principalement la croissance larvaire des espèces dominantes dans deux annexes fluviales (rotengle, perche-soleil dans la Morte du Sauget - gardon, ablette, spirilin et chevaine dans la lône des chèvres). La génération annuelle de ces espèces grégaires est représentée par une succession de cohortes dont la croissance, directement soumise à la température de l'eau, ne demeure pas moins variable sous l'influence de facteurs biotiques (compétition inter- et intra-spécifique trophique et spatiale) ou abiotiques (hauteur d'eau, vitesse du courant,...).

L'impact le plus visible des caractéristiques abiotiques d'un fleuve aménagé sur les populations piscicoles est observé au cours des vidanges des barrages-réservoirs du Haut-Rhône. La brusque modification du milieu aquatique par le relargage massif des sédiments entraîne une altération répétée des potentialités halieutiques du fleuve, notamment par augmentation considérable de la teneur des matières en suspension. Une étude préliminaire de cet impact sur les populations larvaires de poissons a été entreprise en juin 1984. Il apparaît qu'une vidange, même contrôlée, conduit à une mortalité des jeunes poissons se situant préférentiellement pendant les périodes d'instabilité des conditions abiotiques (début et fin de vidange). Cette expérimentation "in situ" se présente comme une nouvelle base de recherche appliquée en hydrobiologie.

SOMMAIRE

INTRODUCTION	1
I- CADRE DE L'ETUDE	5
I-1 LE HAUT-RHONE	5
I-1-1 GEOGRAPHIE PHYSIQUE	5
I-1-2 L'AMENAGEMENT HYDRO-ELECTRIQUE	5
I-1-3 HYDROLOGIE	5
I-1-3-1 LE REGIME HYDROLOGIQUE	5
I-1-3-1-1 Le Rhône alpestre	7
I-1-3-1-2 Le Rhône lémanique	7
I-1-3-1-3 Le Rhône à Pougny	7
I-1-3-1-4 Le Rhône à Bognes	7
I-1-3-1-5 Le Rhône, de Bognes à Sault-Brénaz	7
I-1-3-1-6 Le Rhône à Saint Clair	9
I-1-3-1-7 Conclusions	9
I-1-3-2 LE RHONE A SAULT-BRENAZ	10
I-2 LA PLAINE ALLUVIALE DES BASSES TERRES ET LES MILIEUX ETUDIES	11
I-2-1 GENERALITES	11
I-2-2 LE SECTEUR D'ETUDE	13
I-2-2-1 LA LONE DES GRANDS BROTTAUX	13
I-2-2-1-1 Cadre géographique	13
I-2-2-1-2 Aspect historique	13
I-2-2-1-3 Caractéristiques de la lône	18
I-2-2-1-4 Les stations d'étude	19
I-2-2-2 LA MORTE DU SAUGET	19
I-2-2-2-1 Cadre géographique	19
I-2-2-2-2 Evolution historique	19
I-2-2-2-3 La végétation	20
I-2-2-2-4 Station d'étude	20
I-2-2-3 LE PARA-ECOULEMENT DU RHONE	21

II- CARACTERISATION ET DIFFERENCIATION PHYSICO-CHIMIQUES DES MILIEUX ETUDIES	23
II-1 PARAMETRES ETUDIES, MATERIEL ET METHODES	23
II-1-1 NATURE DES PARAMETRES ET OBTENTION DES DONNEES	23
II-1-1-1 RELEVES EFFECTUES SUR LE TERRAIN	23
II-1-1-2 ANALYSES EFFECTUEES AU LABORATOIRE	23
II-1-2 ANALYSE DES DONNEES	23
II-1-2-1 BUT DE L'ANALYSE	24
II-1-2-2 LA RECONSTITUTION GRAPHIQUE : BASE DE L'INTERPRETATION	24
II-2 CARACTERISATION PHYSICO-CHIMIQUE DES MILIEUX LOTIQUES : LE RHONE ET LA LONE DES CHEVRES	27
II-2-1 LE REGIME THERMIQUE DU FLEUVE	27
II-2-2 LES IONS MAJEURS ET LES PARAMETRES ASSOCIES	29
II-2-2-1 LES EQUILIBRES CARBONIQUES ET LES PARAMETRES DEPENDANTS	29
II-2-2-1-1 Influence de la température sur ces équilibres	29
II-2-2-1-2 Etude des paramètres associés à l'équilibre calco-carbonique	30
II-2-2-1-2-1 <i>Relations entre ces paramètres</i>	30
II-2-2-1-2-2 <i>Relation entre la conductivité et la température</i>	32
II-2-2-1-2-3 <i>Cycle annuel observé dans le Rhône et la lône</i>	32
II-2-2-1-2-4 <i>Le pH</i>	36
II-2-2-2 LES NITRATES	39
II-2-2-3 LES SULFATES	42
II-2-2-3-1 Origine des sulfates	42
II-2-2-3-2 Evolution des sulfates sur le profil en long de Genève à Saint Benoît	42

Sommaire

II-2-2-3-2-1 <i>Les concentrations</i>	42	II-4 COMPARAISONS DES DIFFERENTS MILIEUX	
II-2-2-3-2-2 <i>Les flux des sulfates</i>	47	AQUATIQUES DE LA PLAINE ALLUVIALE	78
II-2-2-3-3 Evolution des sulfates à l'échelle locale	49	II-4-1 EVOLUTION COMPAREE DES PARAMETRES	
II-2-3 LES MATIERES EN SUSPENSION	50	PHYSICO-CHIMIQUES DANS LES TROIS PRINCIPALES	
II-2-3-1 LES MATIERES EN SUSPENSION (M.E.S.)	51	STATIONS	78
II-2-3-2 LA MATIERE ORGANIQUE PARTICULAIRE (M.O.P.)	52	II-4-2 DIFFERENCES ESSENTIELLES AU SEIN DE LA VALLEE	
II-2-3-3 LA TRANSPARENCE	54	FLUVIALE	80
II-2-4 LA CHLOROPHYLLE a	57	III- ETUDE DES POPULATIONS D'ALEVINS	86
II-2-5 L'OXYGENE	60	III-1 LA TERMINOLOGIE APPLIQUEE	
II-2-6 CONCLUSIONS	63	AUX JEUNES POISSONS	86
II-3 CARACTERISATION PHYSICO-CHIMIQUE D'UN		III-1-1 GENERALITES	86
MILIEU STAGNANT : LA MORTE DU SAUGET	66	III-1-2 LA TERMINOLOGIE PROPOSEE PAR BALON (1975)	86
II-3-1 IMPACT HYDROLOGIQUE	66	III-1-3 LA TERMINOLOGIE PROPOSEE PAR SNYDER (1976)	86
II-3-2 L'ACTIVITE BIOLOGIQUE	69	III-1-4 COMMENTAIRES	87
II-3-2-1 ETUDE DE LA STRATIFICATION	69	III-2 TECHNIQUES D'ETUDE	90
II-3-2-1-1 Résultats et interprétation	69	III-2-1 IDENTIFICATION DES LARVES	90
II-3-2-1-1-1 <i>Evolution de la température</i>	71	III-2-2 FIXATION ET PRESERVATION DES POISSONS	90
II-3-2-1-1-2 <i>L'oxygène</i>	71	III-2-2-1 MANIPULATIONS	90
II-3-2-1-1-3 <i>La conductivité</i>	72	III-2-2-2 AVANTAGES ET INCONVENIENTS DE LA FIXATION	
II-3-2-1-2 Conclusions	72	PAR LE FORMOL	92
II-3-2-2 INTERVENTION DES PROCESSUS BIOLOGIQUES	72	III-2-2-3 MODIFICATION DE LA TAILLE DES LARVES PAR LA	
II-3-2-2-1 Distribution des ions majeurs	72	FIXATION EN SOLUTION FORMOLEE A 4%	92
II-3-2-2-1-1 <i>Le système calco-carbonique</i>	72	III-2-3 CHOIX D'UNE METHODE D'ECHANTILLONNAGE	93
II-3-2-2-1-2 <i>Les sulfates</i>	73	III-2-3-1 LES BUTS POURSUIVIS DANS CETTE ETUDE	93
II-3-2-2-1-3 <i>L'azote nitrique</i>	75	III-2-3-2 RESULTATS DES TRAVAUX PRELIMINAIRES	93
II-3-2-2-2 L'activité phytoplanctonique	75	III-2-3-2-1 Les milieux aquatiques	93
II-3-3 CONCLUSIONS	76	III-2-3-2-2 Les larves et juvéniles, remarques d'ordre éthologique ...	94
		III-2-3-2-3 Autres contraintes	96
		III-2-3-2-4 Conception et essais d'un matériel d'échantillonnage	
		simple	96

Sommaire

III-2-3-2-4-1 <i>Le carrelet</i>	97
III-2-3-2-4-2 <i>L'épuisette</i>	98
III-2-3-2-4-3 <i>Inconvénients propres à ces deux engins</i>	98
III-2-3-2-5 Méthode de travail définitive	98
III-3 ETUDE DE LA CROISSANCE	100
III-3-1 LES POPULATIONS DE LA MORTE DU SAUGET	100
III-3-1-1 LE ROTENGLÉ	100
III-3-1-1-1 Généralités	100
III-3-1-1-2 Résultats et discussion	100
III-3-1-2 LA PERCHE-SOLEIL	104
III-3-1-2-1 Généralités	104
III-3-1-2-2 Résultats et discussion	105
III-3-2 LES POPULATIONS DE LA LONE DES CHEVRES	107
III-3-2-1 OCCUPATION DU MILIEU PAR LES LARVES ET JUVENILES	107
III-3-2-2 CROISSANCE DES ESPECES	107
III-3-2-2-1 Généralités	107
III-3-2-2-2 Quelques données relatives aux espèces	109
III-3-2-2-2-1 <i>Le gardon</i>	109
III-3-2-2-2-2 <i>L'ablette</i>	109
III-3-2-2-2-3 <i>Le chevaine</i>	109
III-3-2-2-2-4 <i>Le spirflin</i>	109
III-3-2-2-3 Croissance des espèces	109
III-3-2-2-3-1 <i>Généralités</i>	109
III-3-2-2-3-2 <i>Croissance et estimations des dates de ponte et d'éclosion</i>	113
III-3-2-2-3-3 <i>Discussions de ces résultats</i>	118
III-3-3 LA CROISSANCE DES JEUNES POISSONS : CONCLUSIONS	120

III-4 IMPACT D'UNE VIDANGE DE BARRAGES SUR LES POPULATIONS D'ALEVINS APPROCHE PRELIMINAIRE	123
III-4-1 LES CHASSES DE JUIN 1984 : ASPECTS TECHNIQUES	124
III-4-1-1 LES DIVERSES CONTRAINTES POSEES PAR CETTE VIDANGE	124
III-4-1-2 REALISATION DE LA VIDANGE DE JUIN 1984 : RESULTATS	125
III-4-2 INFLUENCE DES CHASSES SUR LES POPULATIONS D'ALEVINS	128
III-4-2-1 SITUATION, MATERIELS ET METHODES	128
III-4-2-1-1 Lieu de travail	128
III-4-2-1-2 Méthodes et matériels	128
III-4-2-2 RESULTATS	128
III-4-2-2-1 Les caractéristiques physico-chimiques des eaux au cours de la vidange	129
III-4-2-2-2 Influence de ces modifications abiotiques sur les larves	129
III-4-2-2-2-1 <i>Les témoins</i>	129
III-4-2-2-2-2 <i>Les poissons exposés au passage de la vidange</i>	130
III-4-2-3 CONCLUSIONS ET PRINCIPALES CRITIQUES	131
DISCUSSION ET PERSPECTIVES	133
TRAVAUX CITES	138
ANNEXES	145
TABLEAUX	163

INTRODUCTION

ERRATUM

Quatrième ligne du résumé

- Eliminer le mot "principaux" avant ions majeurs

page 24 :

- lire \bar{x}_j au lieu de x_j

page 30 :

- remplacer la phrase "Lorsque dans un système s'opère" par
Lorsque dans un système en équilibre, les gains en CO_2 ne peuvent
compenser les pertes par photosynthèse, une précipitation s'opère :

page 42 :

- lire CHACORNAC (1986) au lieu de (1985)

page 83 :

- dans le quatrième paragraphe : lire "pour un débit de $220 \text{ m}^3/\text{s}$ "
au lieu de "pour un débit de $120 \text{ m}^3/\text{s}$ "

page 164 et 165 :

- dans les tableaux II et III : lire $220 \text{ m}^3/\text{s}$ au lieu de $120 \text{ m}^3/\text{s}$

Les premiers résultats des études hydrologiques de quelques bras morts du Haut-Rhône français (secteur de Jons-Villette d'Anthon) ont montré l'intérêt du suivi des éléments majeurs de l'eau (calcium, sulfates, bicarbonates), parallèlement à la conductivité, en tant que révélateurs de l'origine des eaux (eaux phréatiques, eaux fluviales, précipitations, eaux de ruissellement, pollution). Ils permettent de visualiser notamment un gradient de salinité lié à l'interaction des eaux fluviales (à forte teneur en sulfates) et des eaux souterraines (faiblement chargées en sulfates, riches en bicarbonates de calcium), par exemple au niveau de la lône des Pêcheurs (JUGET et coll., 1976).

Des informations complémentaires concernant, d'une part les eaux souterraines dans ce même secteur (REYGRABELLET et coll., 1981), d'autre part l'évolution des ions sulfates, calcium et nitrates selon l'axe longitudinal de cette lône (JUGET et coll., 1979 et 1982) confirment cette influence du débit du fleuve et de son para-écoulement sur les caractéristiques géochimiques des eaux. Ces observations ont contribué au choix de ces différents paramètres comme **descripteurs hydrologiques** de la vallée fluviale (ROUX, 1982).

La plupart des études physico-chimiques des eaux du Rhône ont été menées à l'amont immédiat de Lyon, dans un secteur caractérisé par une forte perméabilité des alluvions, zone propice à l'observation de ces mélanges d'eaux superficielles et interstitielles.

Cette étude constitue une extension des travaux précédents à un autre secteur de la vallée fluviale dont les caractéristiques géomorphologiques sont nettement distinctes. Les différences essentielles résident dans la nature du substratum ; celui-ci, très colmaté, est peu favorable à une rapidité des échanges entre les compartiments aquatiques superficiels et souterrains telle que celle observée à l'amont immédiat de Lyon. En conséquence, les modifications physico-chimiques de l'eau dans les milieux aquatiques annexes vont être principalement dues aux apports superficiels (précipitations et crues du fleuve) et à l'activité biologique dans ces milieux. Un cycle annuel (février 1983-janvier 1984) sert de base à cet essai de compréhension de l'influence des facteurs météorologiques et hydrologiques sur le fonctionnement des annexes fluviales.

A l'heure actuelle, les caractéristiques abiotiques de l'espace fluvial sont susceptibles d'évoluer rapidement sous l'influence grandissante des aménagements hydro-électriques du Haut-Rhône. Les activités humaines s'ajoutent aux autres facteurs d'évolution de l'hydrosystème. Limitées à l'ère historique, elles ne peuvent désormais être ignorées en raison des profondes modifications qu'elles ont instaurées. L'aménagement hydro-électrique du fleuve crée de nouveaux espaces aquatiques (réservoir ou retenue, canal d'amenée et de fuite), transforme les anciens chenaux du

Rhône. Indépendamment de la construction et de la mise en service des installations, son intervention sur les caractéristiques abiotiques et biotiques s'effectue selon un processus évolutif lent et insidieux, régulièrement ponctué par le brusque impact des vidanges des barrages-réservoirs de Verbois, Chancy-Pougny et Génissiat.

L'hydrologie et les caractères qui lui sont directement liés (nature des eaux, transport ionique et minéral, vitesses des écoulements, sédimentation, ...), l'artificialisation du milieu par les aménageurs, contrôlent la composition floristique et faunistique des espaces aquatiques.

La faune piscicole constitue l'un des maillons biologiques de cet hydrosystème fluvial. La survie, le maintien, la reproduction ou la disparition des espèces sont sous l'étroite dépendance des conditions abiotiques. Les transformations influent principalement sur la reproduction des espèces qui peut ou non s'effectuer selon les conditions qui leur sont offertes. Les perturbations brutales, telles que celles produites par les vidanges des barrages affectent essentiellement les plus jeunes individus. L'impact peut être suffisant pour entraîner la mortalité d'une ou de deux générations (CARREL, 1981 - ROUX, 1984). La sensibilité des alevins vis à vis des conditions abiotiques des milieux aquatiques mérite que l'on s'intéresse à cet aspect.

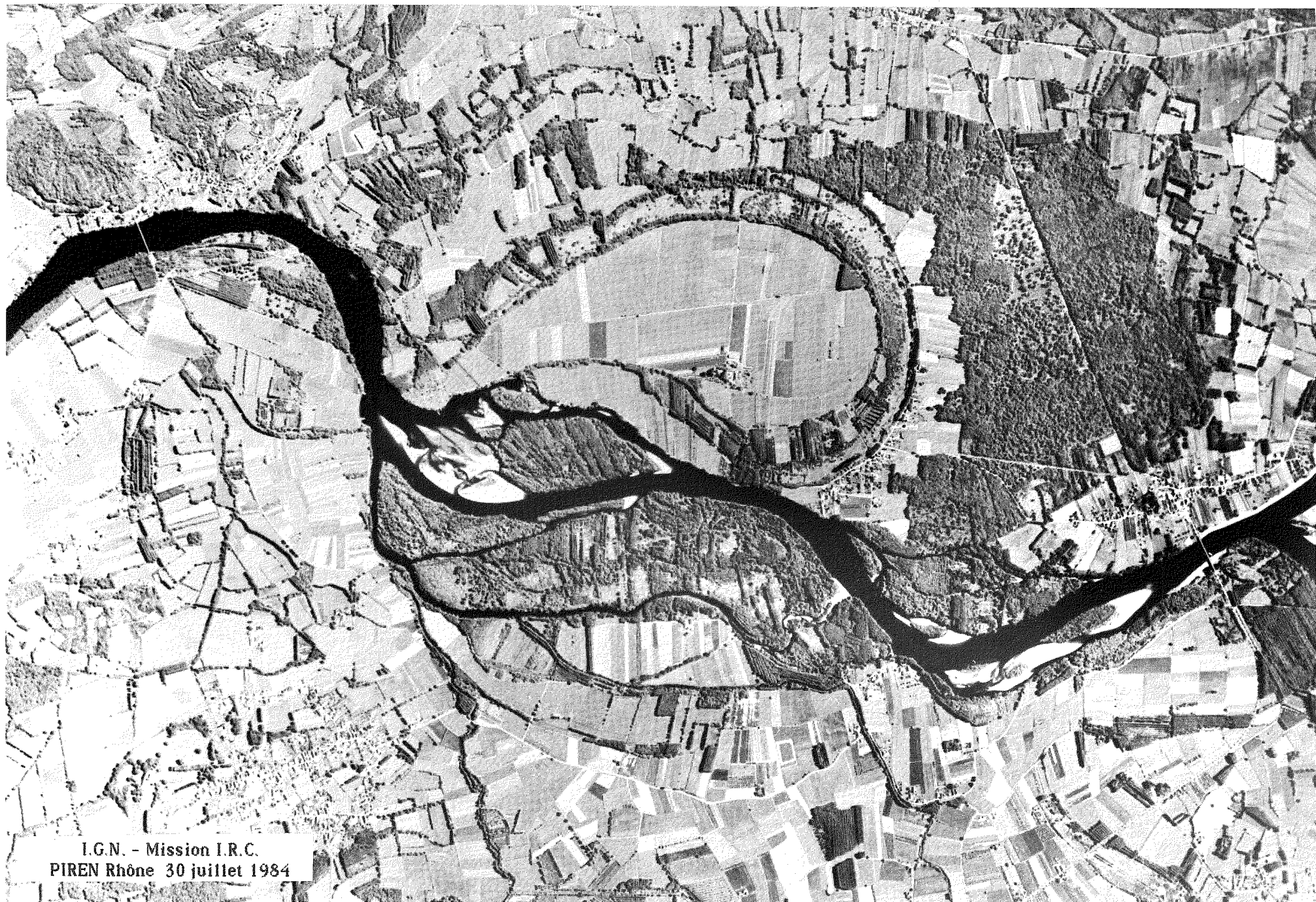
Toutefois, ce type d'étude nécessite une approche des problèmes généraux relatifs aux alevins, parmi lesquels la détermination et l'échantillonnage constituent les éléments préliminaires. Il est en effet fondamental de remédier aux manques d'informations concernant les premiers stades des poissons. La compréhension de la biologie des espèces, de la dynamique des populations et des relations de la faune piscicole avec son milieu ne peut faire abstraction des larves et des juvéniles ; ils justifient par leur présence la preuve d'un développement complet des espèces.

Dans ce travail, le lecteur trouvera :

- 1- une présentation générale du Haut-Rhône et de son hydrologie, la description de la plaine alluviale de Brangues-Le Bouchage-Saint Benoît (AIN-ISERE) et des milieux étudiés,
- 2- la caractérisation et la différenciation physico-chimiques des différents compartiments aquatiques,
- 3- l'étude des populations d'alevins avec une présentation sommaire de la terminologie, des techniques d'étude et de détermination, puis les résultats de différents travaux entrepris sur le Rhône, concernant :
 - l'étude de la croissance des alevins,
 - une première approche de l'impact des vidanges de barrages sur les populations d'alevins.

-I-

CADRE DE L'ETUDE



I.G.N. - Mission I.R.C.
PIREN Rhône 30 juillet 1984

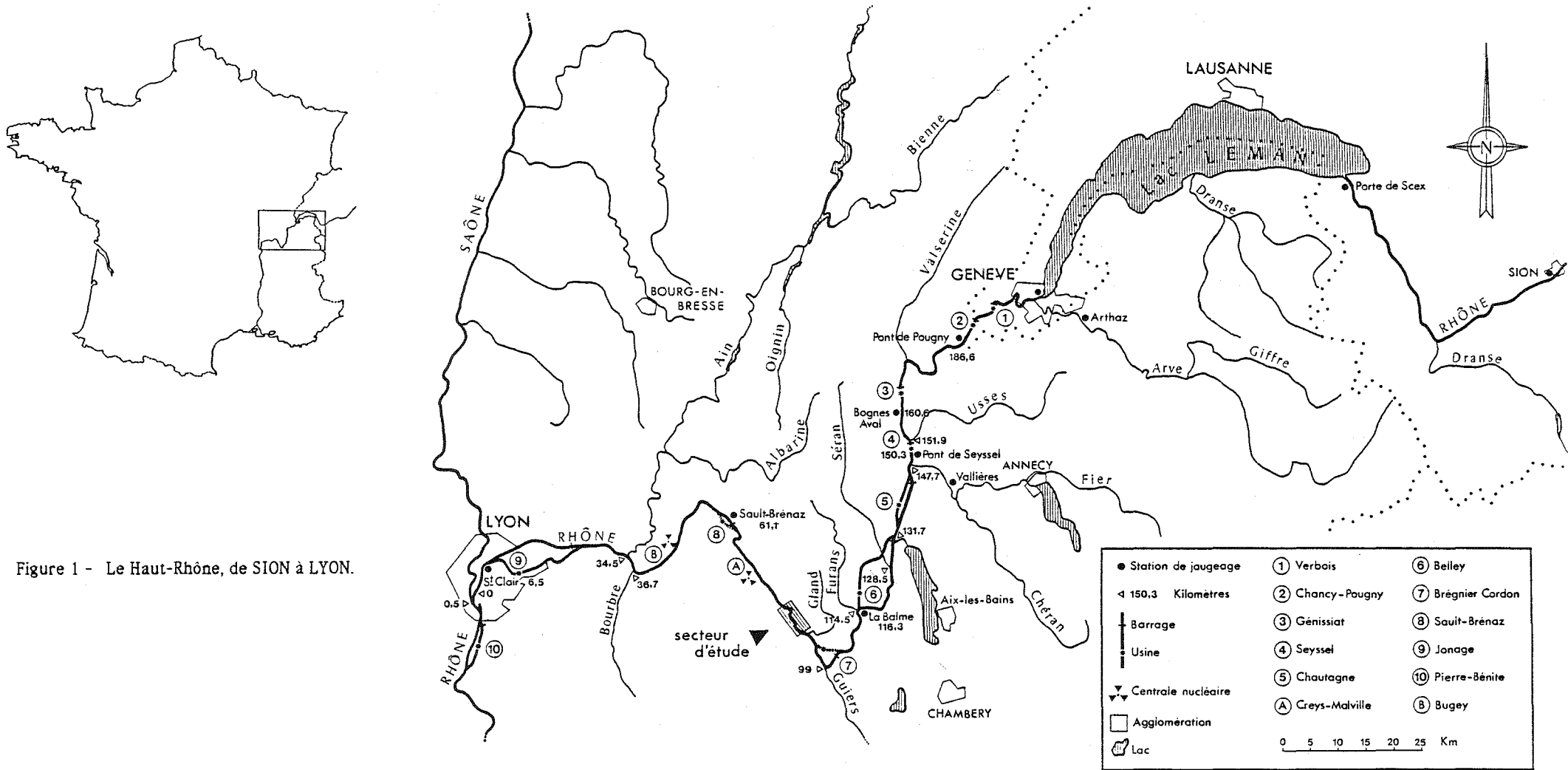


Figure 1 - Le Haut-Rhône, de SION à LYON.

I - CADRE DE L'ETUDE

I-1 LE HAUT-RHONE

I-1-1 GEOGRAPHIE PHYSIQUE

Le Rhône, fleuve franco-suisse, est d'une faible longueur (812 km dont 290 km en territoire helvétique) en regard de ses homologues médio-européens : le Danube (2850 km), et le Rhin (1300 km); il n'en est pas moins important, par son alimentation en grande partie alpine, par la diversité, la complexité physique et humaine de sa vallée.

Classiquement, deux tronçons sont distingués au sein du tracé fluvial, d'une part le Haut-Rhône défini de la source jusqu'à Lyon, d'autre part le Bas-Rhône de Lyon au delta camarguais. La description succincte du cours d'eau sera limitée au Haut-Rhône dans lequel s'intègre le secteur d'étude.

Le Rhône prend naissance à 1763 m d'altitude, au dessus de Gletsch, du Glacier du Rhône situé sur les pentes du Dammastock (3633 m). Il coule d'abord vers l'Ouest entre les hautes chaînes des Alpes Bernoises et la chaîne Pennine. A l'extrémité de cet étroit sillon, le Rhône alpestre alimente une cuvette lacustre creusée entre l'arc alpin et la chaîne du Jura : le Léman. L'exutoire du lac emprunte une vallée étroite entre Genève et Seyssel avant de s'étaler dans une vaste plaine alluviale limitée latéralement par les derniers contreforts jurassiens et les chaînes subalpines. Après avoir contourné le Bugey méridional à la confluence du Guiers, il s'oriente au Nord-Ouest avant de bifurquer de nouveau à l'Ouest vers Lyon au contact du plateau de la Dombes.

I-1-2 L'AMENAGEMENT HYDRO-ELECTRIQUE

Depuis 1889, année de mise en service du barrage du Pont de la Machine établi par les Genevois sur le Rhône lémanique (RITTER, 1973), le fleuve a fait l'objet d'un aménagement progressif en vue de la production d'énergie hydro-électrique. Bien qu'antérieurement à cette date, le profil ait été constamment modifié par le jeu d'endiguements pour la protection des riverains ou pour la navigation, l'ampleur des travaux engagés n'est pas comparable à celle des ouvrages contemporains. Ces derniers sont encore en cours de réalisation et réduiront considérablement les derniers espaces naturels de la vallée fluviale (figure 1).

Le premier équipement français réalisé sur le Haut-Rhône a été mis en service en 1899. Il s'agit du barrage de Jons et de l'usine

hydro-électrique de Cusset; cet ouvrage a nécessité la construction d'un canal de dérivation d'environ 19 km. L'usine a fait l'objet de modifications en 1917-1918, le barrage en 1937, puis de nouveau l'usine en 1946 et 1952.

L'usine franco-suisse de Chancy-Pougny fonctionne depuis 1925, le barrage suisse de Verbois depuis 1943. Le barrage-réservoir de Génissiat, en projet dès le début de ce siècle et dont les travaux furent perturbés par la seconde guerre mondiale, a fonctionné à partir de 1948. Ce barrage travaillant aux heures de pointe et provoquant de fortes variations du débit a justifié la construction d'un barrage compensateur : le barrage de Seyssel, dont la mise en service a eu lieu en 1951.

Depuis 1980, la Compagnie Nationale du Rhône a entrepris l'équipement du Haut-Rhône entre Seyssel et Lyon. A l'heure actuelle (cf. brochure C.N.R.), trois aménagements de basse chute sont en service (Chautagne, Belley et Brégnier-Cordon), celui de Sault-Brénaz est en cours de réalisation, deux autres sont projetés (Loyettes et Miribel-Saint Clair). Ces ouvrages sont réalisés selon un schéma de principe similaire comprenant un barrage de retenue, un canal d'aménée des eaux de la retenue conduisant celles-ci vers l'usine hydro-électrique et un canal de fuite restituant les eaux dans le lit originel.

L'ensemble des travaux français (réalisés, en cours ou en projet) conduira à une longueur totale de fleuve aménagé de 197,2 km.

I-1-3 HYDROLOGIE

I-1-3-1 LE REGIME HYDROLOGIQUE

A l'image de son homologue le Rhin, le Haut-Rhône est marqué par son origine glaciaire et la traversée d'une cuvette lacustre de très grande capacité, le lac Léman. Celui-ci, d'une superficie de 582 km² contient 88,9 milliards de m³ d'eau (HUBAULT, 1947) et son influence est fondamentale sur les caractéristiques de son exutoire.

Le Rhône lémanique (émissaire du lac Léman) reçoit de nombreux affluents à régimes hydrologiques complexes, **nivo-glaciaires** (ARVE,...), **nivo-pluviaux** (FIER, GUIERS,...) ou **pluvio-nivaux** (AIN,...) qui confèrent au régime du fleuve " une complexité changeante et accrue à chaque confluence " - PARDE, 1925.

La représentation des variations mensuelles du débit au cours de l'année, indépendamment des valeurs absolues, est généralement effectuée à l'aide des **coefficients mensuels de débit** ou **débits relatifs**

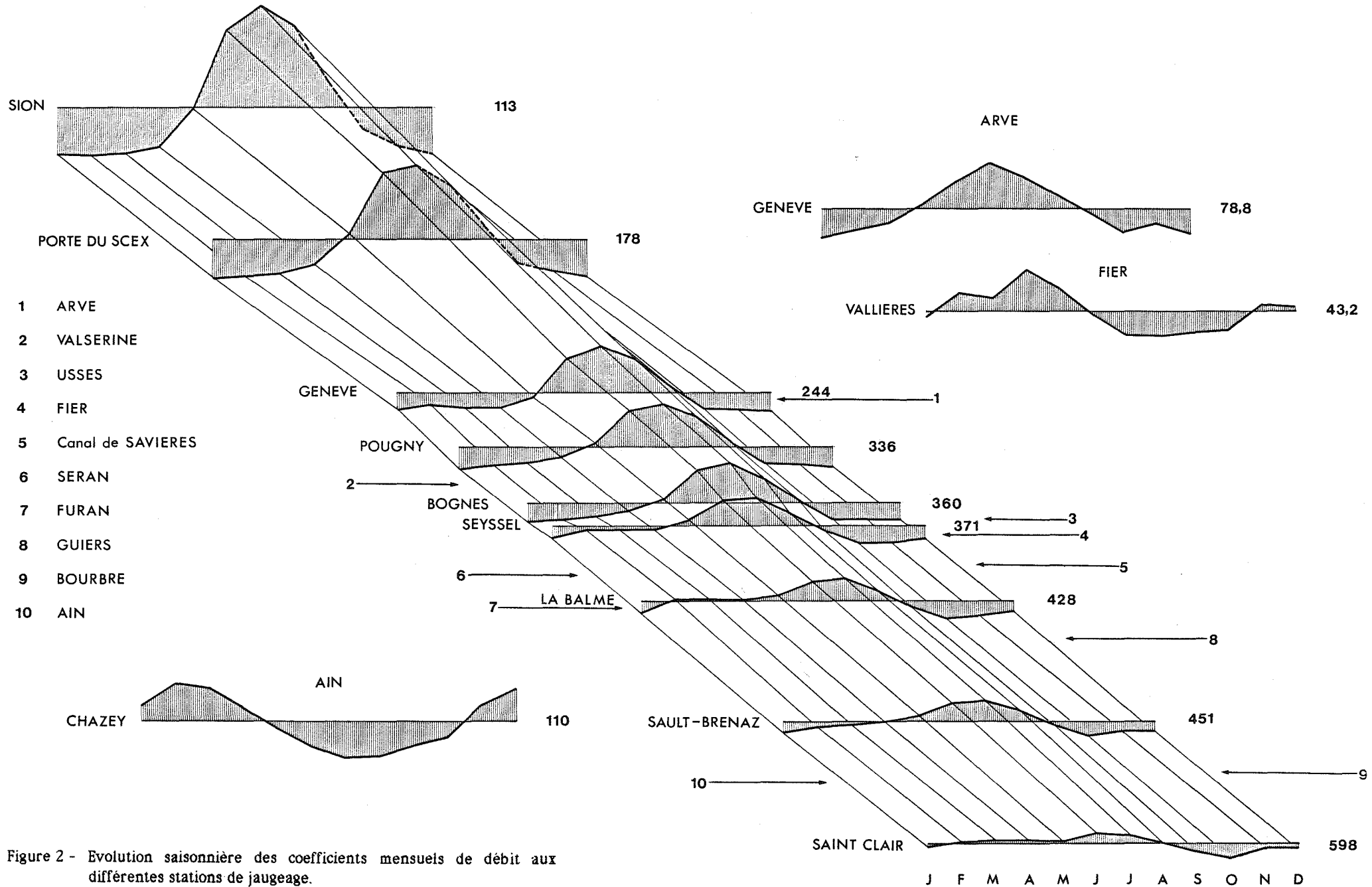


Figure 2 - Evolution saisonnière des coefficients mensuels de débit aux différentes stations de jaugeage.

mensuels définis par le rapport du débit mensuel sur le module annuel du cours d'eau (REMENIERAS, 1980).

$$X_1 = Q_1 / M \quad X_2 = Q_2 / M \quad \text{etc...}$$

Ce type de comparaison, utilisée par VIVIAN (PIREN-RHONE, 1982), facilite grandement l'étude des régimes aux différentes stations de jaugeage (figure 2). On visualisera ainsi l'évolution du régime du Haut-Rhône jusqu'à Saint Clair, station limnigraphique située à l'entrée de la ville de Lyon.

I-1-3-1-1 Le Rhône alpestre

Il est ainsi défini depuis son origine jusqu'à son arrivée dans la cuvette lémanique (PARDE, 1925). Les commentaires qui suivent portent sur les débits moyens mensuels enregistrés à SION (60 km environ en amont du lac) et à la PORTE DE SCEX (5 km). Les données sont empruntées à VIVIAN (1983).

Le régime du Rhône dans ces deux stations (figure 2) suit le rythme alternatif de la rétention et de la fusion nivales : basses eaux pendant la saison froide et hautes eaux pendant la saison chaude. Malgré l'existence d'écart importants de débit entre ces deux saisons, ce **régime glaciaire** est marqué par sa régularité interannuelle car la durée de l'ensoleillement, à l'origine même du régime, s'avère le paramètre météorologique le moins irrégulier (REMENIERAS, 1980). Ces écarts s'atténuent vers l'aval avec l'influence de plus en plus grande de l'eau d'origine nivale (à distinguer de celle provenant de la fusion glaciaire) d'où une augmentation des débits de juin, et des précipitations pluvieuses de saison froide.

I-1-3-1-2 Le Rhône lémanique

Il s'agit de l'exutoire du lac léman. Le lac constitue, grâce à sa superficie, un vaste et excellent "champ" d'inondation qui atténue les extrêmes par augmentation des débits d'étiage et diminution des débits de crue. Ce phénomène a été amplifié depuis l'installation d'un barrage régulateur du niveau du lac à la fin du XIX^{ème} siècle. Les modifications du régime de l'exutoire sont beaucoup plus liées aux influences modératrice et retardante du lac, et au barrage, qu'aux caractéristiques hydrologiques des affluents du lac (PARDE, 1925). Lorsque M. PARDE écrivit son ouvrage sur le régime hydrologique du Rhône, il n'y avait alors que deux usines hydro-électriques sur le Haut-Rhône, l'une à Genève et l'autre à Jonage. L'aménagement global du Haut-Rhône entrepris après 1925 a contribué au renforcement des tendances signalées par cet auteur. Si le régime conserve

une relative régularité en raison d'une stabilité thermique, le régime saisonnier est nettement dépendant du rythme des stockages et déstockages des réservoirs (VIVIAN, 1983).

I-1-3-1-3 Le Rhône à Pougny

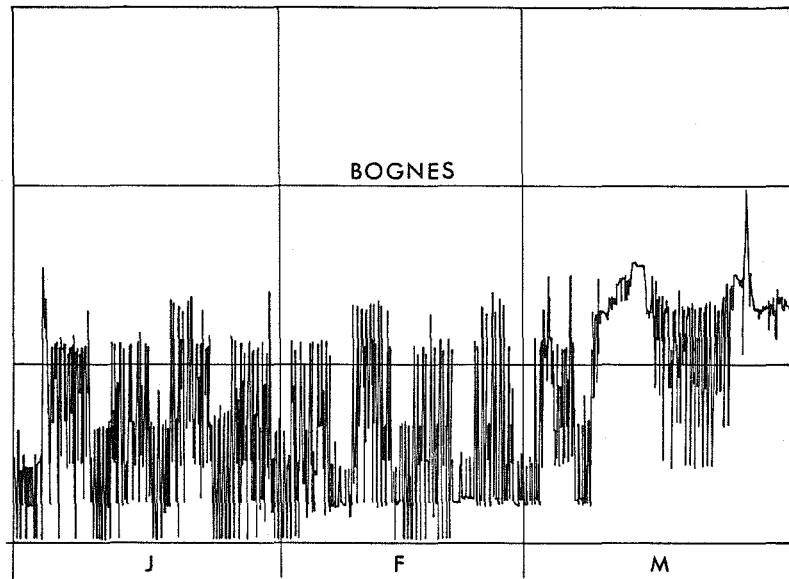
Le régime du Rhône résulte essentiellement du mélange des eaux du Rhône lémanique et du premier de ses gros affluents : l'ARVE (figure 1). D'un module de 78,8 m³/s (données empruntées à VIVIAN, 1983), l'Arve est caractérisé par un **régime nivo-glaciaire** dont les variations évoluent en parallèle avec celles de l'exutoire du lac Léman. Toutefois, la pointe de juin isolée, marque une baisse de l'alimentation glaciaire au profit de l'alimentation nivale (VIVIAN, 1983). Cette rivière présente de plus un renforcement en avril-mai sous l'influence préalpine, et des crues de type jurassien en période hivernale. La complexité de son régime est en fait assez semblable à celle du Rhône depuis sa source jusqu'à la confluence de la Saône (PARDE, 1925). L'Arve, par son régime proche de celui du Rhône alpestre contribue au maintien des caractéristiques hydrologiques issues de l'amont.

I-1-3-1-4 Le Rhône à Bognes

Le limnigraphe de Bognes est situé à l'aval immédiat du barrage réservoir de Génissiat. Depuis Pougny, le Rhône a reçu la VALSERINE, rivière d'origine jurassienne, à **régime nivo-pluvial**. Elle contribue à l'aplatissement de la courbe en augmentant le débit en juin. Cependant le barrage lui-même a beaucoup plus d'influence sur le régime en accentuant les phénomènes décrits dans le § 1-3-1-2. Il imprime de fortes variations journalières par un fonctionnement en éclusées. Le barrage de Seyssel, situé plus à l'aval, a été construit pour amortir ces variations du débit. L'ensemble de ces deux ouvrages génère une onde hebdomadaire observable à tous les points d'enregistrements limnigraphiques du Haut-Rhône (figure 3).

I-1-3-1-5 Le Rhône, de Bognes à Sault-Brénaz

De Génissiat jusqu'à Sault-Brénaz, le fleuve reçoit de nombreux affluents préalpins et jurassiens dont les régimes sont essentiellement sous l'influence des précipitations nivales et pluviales. Ces affluents réhaussent notablement les débits au printemps. L'étiage hivernal se décale vers les mois d'octobre et de novembre, mais cette altération du régime est surtout le fait d'une augmentation des restitutions des aménagements hydro-électriques pendant les mois d'hiver. L'influence de ces divers affluents est perçue progressivement à chaque station limnigraphique :

1500
 m^3/s

1000

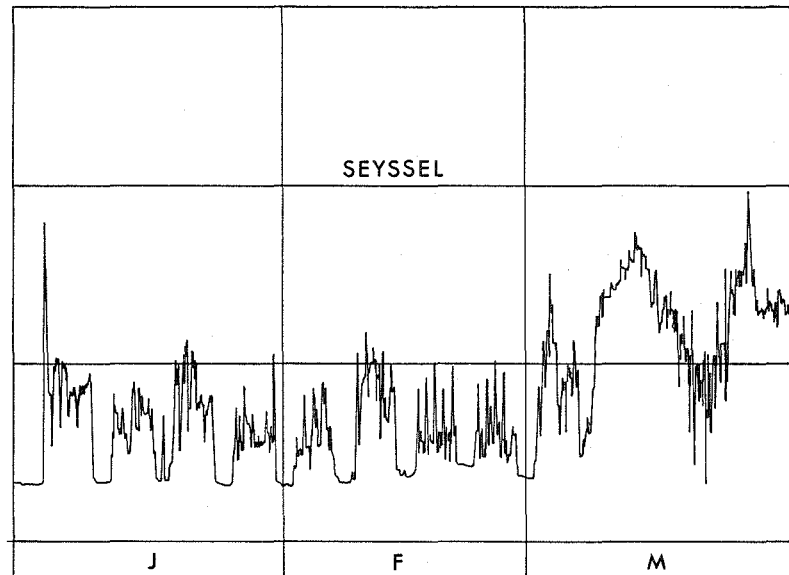
500

0

J

F

M

1500
 m^3/s

1000

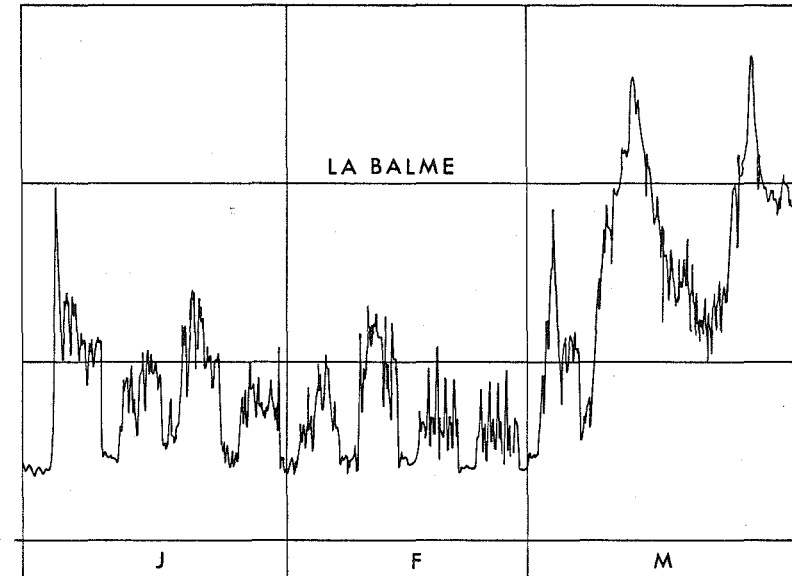
500

0

J

F

M

1500
 m^3/s

1000

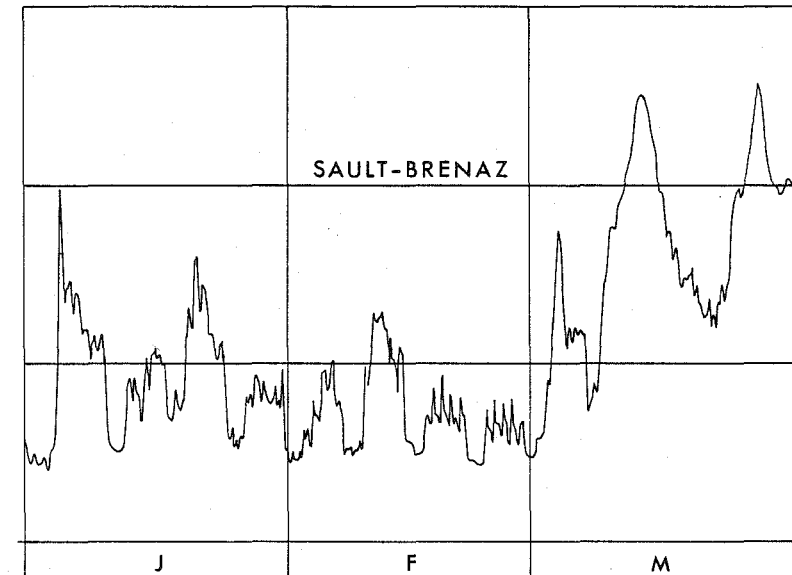
500

0

J

F

M

1500
 m^3/s

1000

500

0

J

F

M

Figure 3 - Transmission des ondes hebdomadaires créées par le fonctionnement du barrage de GENISSIAT (mois de janvier, février et mars 1981).

Seysse, La Balme puis Sault-Brénaz. Le régime du Rhône à Sault-Brénaz sera détaillé ultérieurement.

I-1-3-1-6 Le Rhône à Saint Clair

Entre Sault-Brénaz et Lyon, le Rhône reçoit son principal affluent jurassien : l'AIN. Le régime de cette rivière (figure 2) est marqué par la prédominance de l'alimentation pluviale de saison froide sur celle printanière d'origine nivale, et par l'existence d'étiages pendant l'été. Ce **régime pluvio-nival** a été modifié par l'aménagement hydro-électrique de l'Ain ; le fonctionnement des barrages (Vouglans en particulier) a entraîné l'augmentation des débits en hiver et la sévérité des étiages pendant les mois de juillet et d'août. L'Ain est un affluent majeur qui renforce les tendances observées depuis Pougny : atténuation du caractère glaciaire au profit du régime pluvial. A Lyon, avant la confluence de la Saône, le régime du Haut-Rhône est déjà un compromis entre les régimes nivo-glaciaire et pluvial.

I-1-3-1-7 Conclusions

L'hydrologie du Haut-Rhône est fortement dépendante de trois éléments fondamentaux : le régime des affluents, l'influence du lac Léman et celle, artificielle et grandissante, des aménagements hydro-électriques. La prépondérance du régime nivo-glaciaire (amont de la confluence de l'Arve) ou du régime pluvio-nival (à l'aval de l'Arve jusqu'à la confluence de la Saône), voire des deux en fonction des aléas climatiques, sont à l'origine d'un débit complexe et d'une extrême diversité de la provenance des eaux. L'origine des eaux et les volumes écoulés en divers lieux du bassin versant (20300 km² à Saint Clair) augmentent considérablement les difficultés de compréhension du fonctionnement de l'hydrosystème fluvial mais expliquent l'intérêt que l'on peut porter à ce type de cours d'eau.

I-1-3-2 LE RHONE A SAULT-BRENAZ

La station limnigraphique de Sault-Brénaz constitue le point de référence de cette étude. L'étude des débits du Rhône y est donc détaillée car les caractéristiques acquises depuis l'amont permettent d'expliquer l'évolution des paramètres physico-chimiques étudiés dans les chapitres suivants.

Le régime du Rhône à Sault-Brénaz est issu de la superposition du régime nivo-glaciaire et de celui provenant du ruissellement pluvial. Le premier est caractérisé par sa régularité et sa prépondérance sur le second dont la relative instabilité est le caractère essentiel. Le régime des affluents, à l'origine de la perturbation du régime nivo-glaciaire peut être

synthétisé en effectuant une différence des débits moyens mensuels relevés entre Genève et Sault-Brénaz. Toutefois, ce calcul a été fait à partir de Bognes afin de ne pas comptabiliser les apports de l'Arve dont le régime est proche de celui du Rhône lémanique, et de considérer les apports des affluents à l'aval du barrage-réservoir de Génissiat dont les effets sur les débits ne peuvent être négligés.

On obtient ainsi une représentation synthétique du régime global de l'ensemble des affluents entre ces deux points (figure 4). Il est à la fois **nivo-pluvial** (induit par le FIER, le GUIERS,...) et **pluvio-nival** (induit par LES USSES, le CANAL DE SAVIERES, le SERAN, le FURAN, le GLAND, ...). Ce régime "résumé" est marqué par la forte amplitude de son coefficient mensuel de débit et son étiage d'été. Ce régime est totalement opposé au régime glaciaire originel du Rhône. La juxtaposition ou non des apports pluviaux et nivaux de ces différents affluents entraîne une grande variabilité interannuelle des moyennes printanières, et de la date de la moyenne mensuelle maximale (PARDE, 1968). Le tracé des valeurs mensuelles de référence n'a de valeur que par le nombre d'années utilisées pour le calcul et il ne doit pas faire oublier l'extrême irrégularité des précipitations et leurs conséquences hydrologiques.

La superposition des régimes (nivo-glaciaire et pluvio-nival) est donnée sur la figure 4, d'une part pour la période de référence 1920-1983, d'autre part pour l'année 1983. La quantité d'eau provenant des affluents périalpins et jurassiens est minimale, voire inexistante en période estivale. Elle est maximale pendant la saison froide et permet le maintien d'un débit soutenu malgré les étiages du Rhône nivo-glaciaire.

L'année hydrologique 1983 a été marquée par une forte hydraulicité à partir de la mi-avril et ce jusqu'à la fin du mois de mai. Si les débits sont restés élevés pendant le début du mois de juin, suite aux crues des mois précédents, ils ont rapidement diminué à raison de 150 à 160 m³/s/jour à Lyon, pendant deux semaines environ (C.N.R., 1983).

Le mois de juillet, extrêmement chaud, a entraîné une forte baisse de l'hydraulicité des affluents à régime pluvial (figure 4). Les rivières à régime nival ont conservé une hydraulicité élevée (1,10 à Génissiat) ; mais la pauvreté des affluents a entraîné une baisse sensible des débits du Rhône à Sault-Brénaz.

En août, l'hydraulicité est tombée pour la première fois en dessous de la moyenne. Elle est remontée au cours du mois de septembre suite à des précipitations excédentaires pendant les deux premières décades ; mais la tendance du mois d'août s'est poursuivie pendant l'automne, malgré des perturbations hydrologiques importantes à la mi-octobre et à la fin novembre provoquées par des précipitations localisées importantes.

L'hydraulicité du mois de décembre a été de nouveau supérieure à

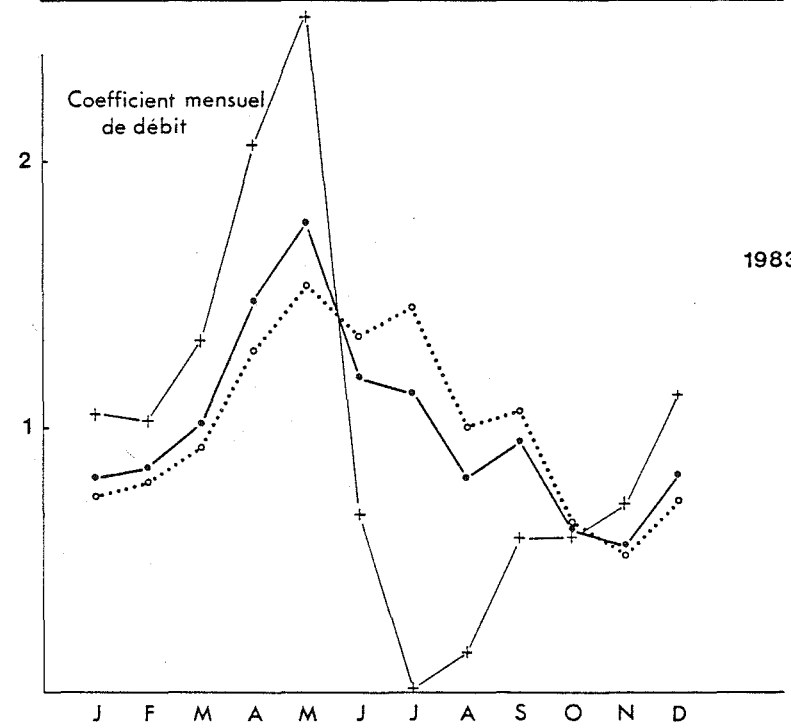
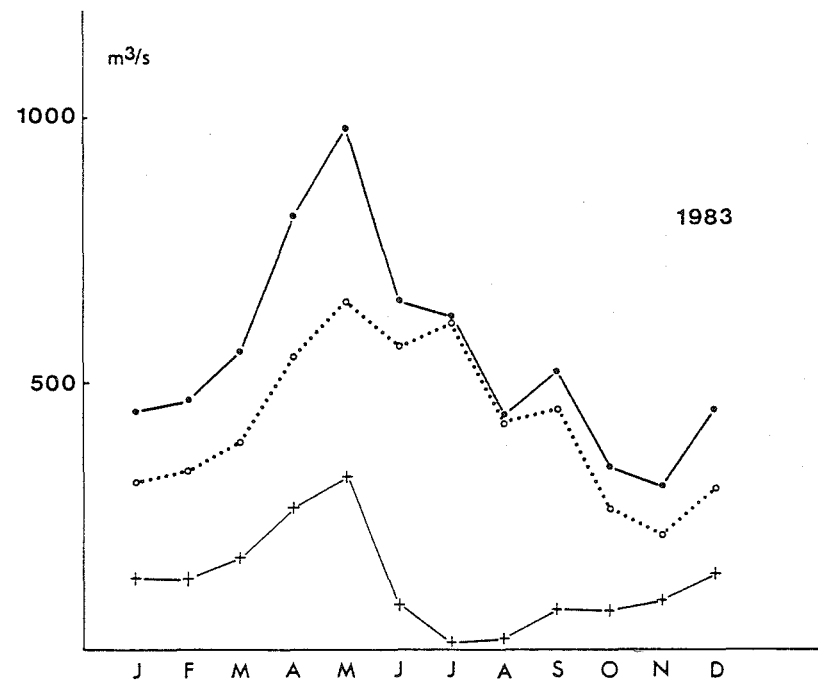
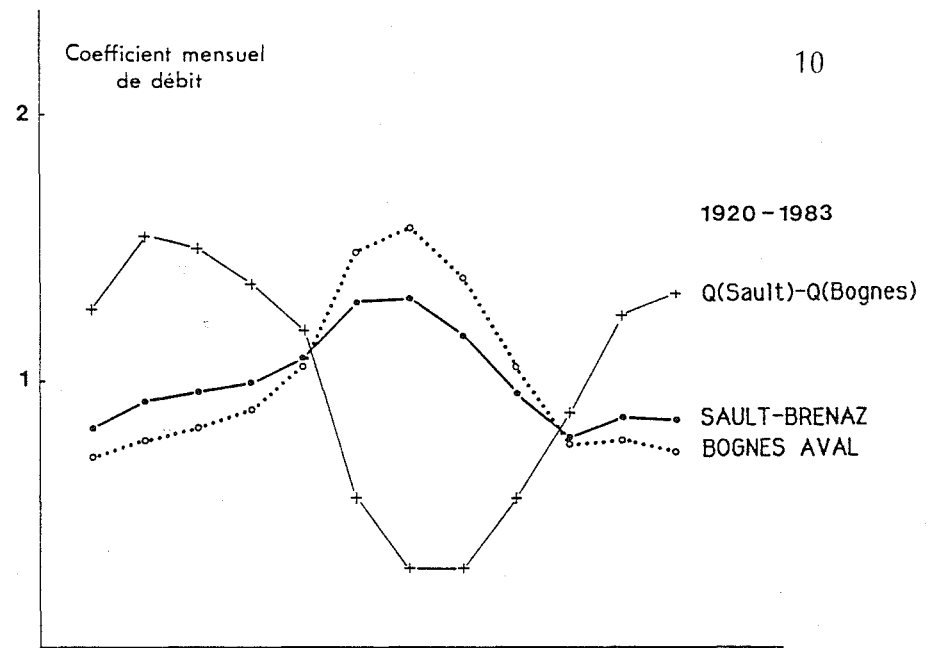
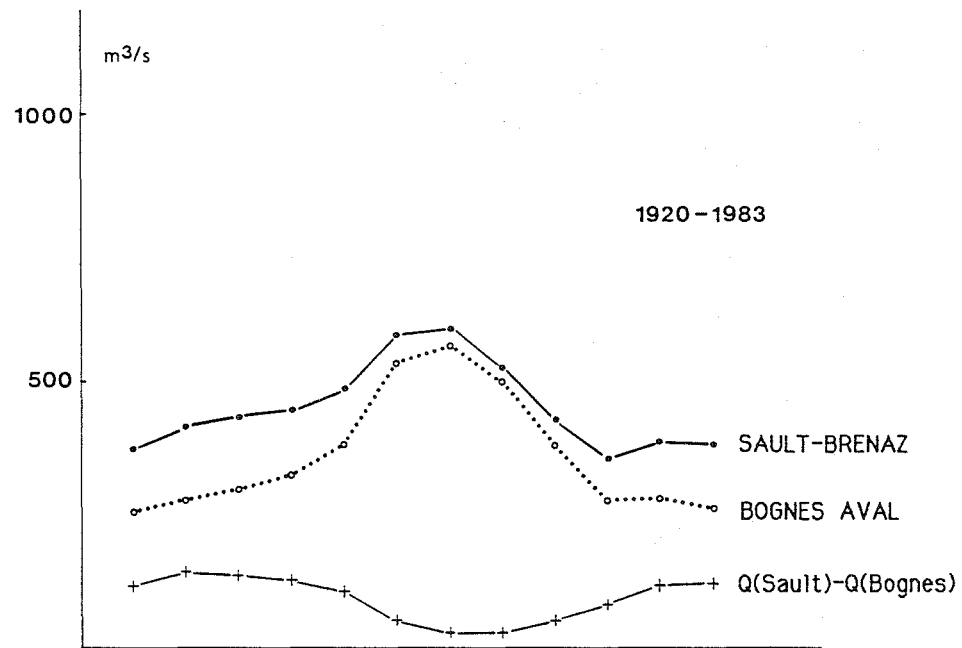


Figure 4 - Les débits du Rhône à SAULT-BRENAZ, à BOGNES AVAL et le débit "résumé" des affluents entre ces deux stations limnigraphiques.

la moyenne, liée à de fortes précipitations pendant la deuxième quinzaine du mois. En 1983, l'hydraulicité du Rhône à Sault-Brénaz a été élevée (1,23), marquée par les extrêmes : 2,02 en mai et 0,80 en novembre. Les débits des affluents à régime pluvial ont été extrêmement faibles au cours des mois secs (juillet et août) et il peut être dit que pratiquement, seules les eaux d'origines nivale et glaciaire ont alimenté le fleuve pendant ces deux mois.

La proportion des eaux issues des affluents (entre Bognes et Sault-Brénaz) peut être estimée à environ 2% du débit moyen mensuel relevé à Sault-Brénaz en juillet 1983, contre 5% en année normale.

La superposition des débits du Rhône à régime nivo-glaciaire et de ceux de ces affluents à régime pluvial contribue à l'obtention d'un régime relativement complexe; la proportion des eaux en provenance des différents points du bassin versant doit être connue lors de l'étude des caractéristiques géochimiques des eaux.

I-2 LA PLAINE ALLUVIALE DES BASSES TERRES ET LES MILIEUX ETUDIÉS

I-2-1 GENERALITES

L'écoulement rhodanien, orienté Nord-Sud depuis l'exutoire du lac Léman, oblique brutalement vers le Nord-Ouest à la confluence du Guiers. Il emprunte alors un vaste champ d'inondation coince entre les contreforts calcaires du Bugey Méridional et l'avant-pays jurassien de l'île Crémieu (figure 5).

En l'espace d'une vingtaine de kilomètres, le Rhône montre une diversité géomorphologique remarquable qui justifie pleinement l'intérêt scientifique de cette plaine alluviale.

Les Basses Terres dauphinoises depuis Cordon (au Sud) jusqu'au défilé de Saint-Alban (au Nord), ayant fait l'objet de descriptions précises [PAUTOU et coll. (1972), AIN et coll. (1973), PELLETIER (1982), BRAVARD (1982, 1983 et 1985)], nous limiterons cet exposé aux caractéristiques essentielles de ce secteur.

Le Rhône occupe un vaste ombilic glaciaire comblé par des sédiments glacio-lacustres fini-würmiens, substratum d'un remblaiement caillouto-sableux apporté par le fleuve et ses affluents. Les changements de pente au sein de la plaine expliquent partiellement l'extrême diversité des formes alluviales trouvées dans les Basses Terres. Du pont de Cordon au pont d'Evieu, une pente forte (0,7 mètre par kilomètre) explique l'existence d'une unité de tressage; à l'aval d'Evieu, la plaine de Brangues-le Bouchage-Saint Benoit, d'une pente nettement plus faible (< 0,1 mètre par kilomètre) se caractérise par la surimpression d'une unité à chenaux tressés et les reliques d'une unité à méandre. Les particularités de la portion du fleuve comprise entre les ponts d'Evieu et de Groslee ont été expliquées par BRAVARD (1983 et 1985). Celles-ci résultent d'une progression vers l'aval de l'alluvionnement rhodanien et l'exhaussement permanent de son lit.

Antérieurement au VI^{ème} siècle, le Rhône contournait la butte des Avenièrès et développait de grands méandres dans la plaine du Bouchage et de Brangues. La progression du coin alluvial a permis, à la faveur d'une crue, le franchissement du seuil du Chaffard au Sud de la butte des Avenièrès. La brusque augmentation de pente provoquée par ce raccourcissement du cours principal est à l'origine de l'unité de tressage actif, de son avancée dans la plaine et de la disparition progressive de l'unité à méandre.

Le recoupelement du grand méandre du Sauget à la fin du XVII^{ème} siècle (date probable : janvier 1690) résulte de ce remaniement de la plaine fluviale postérieur au VI^{ème} ou VII^{ème} siècle.

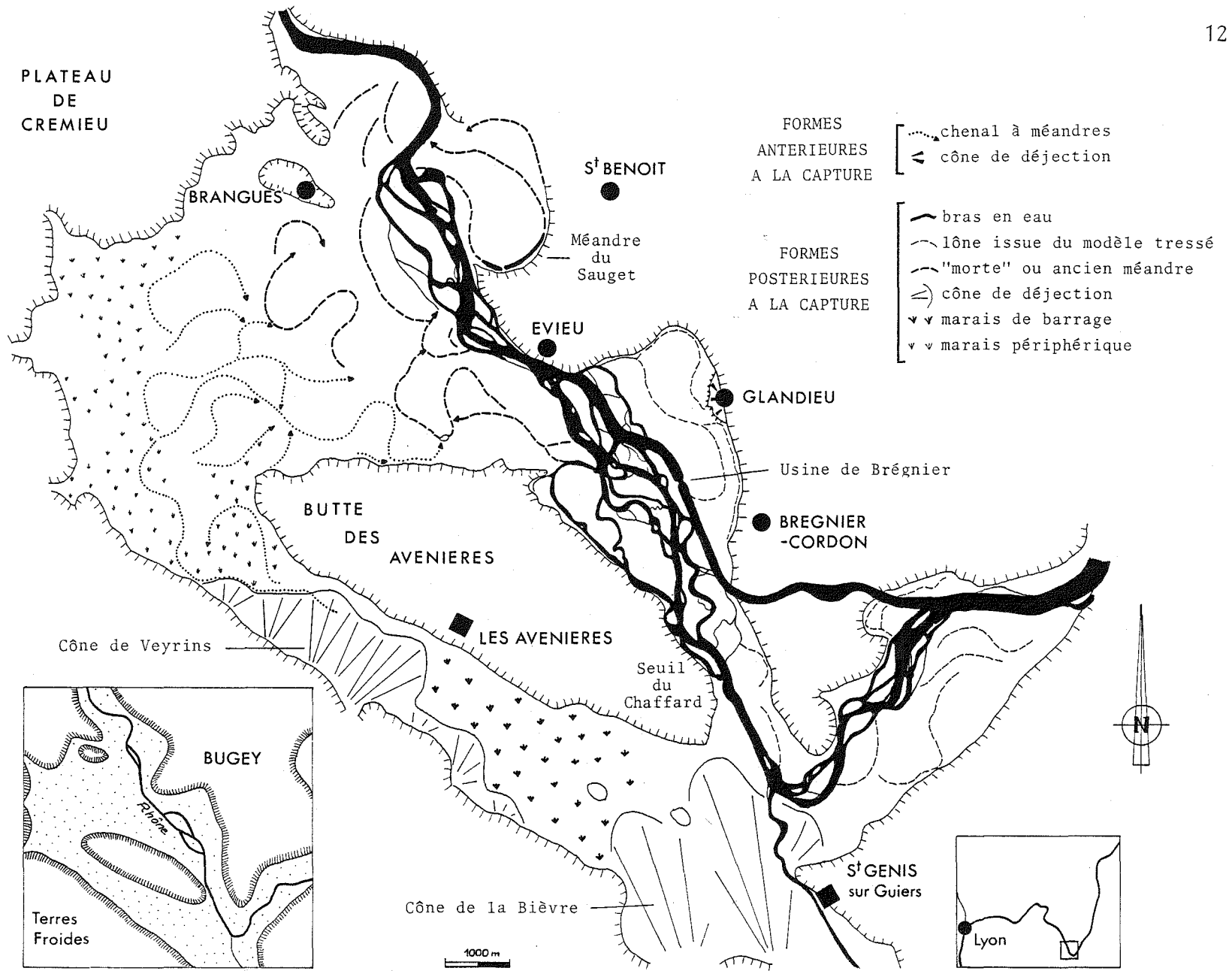


Figure 5 - La plaine alluviale des Basses Terres dauphinoises.
(d'après BRAVARD, 1983).

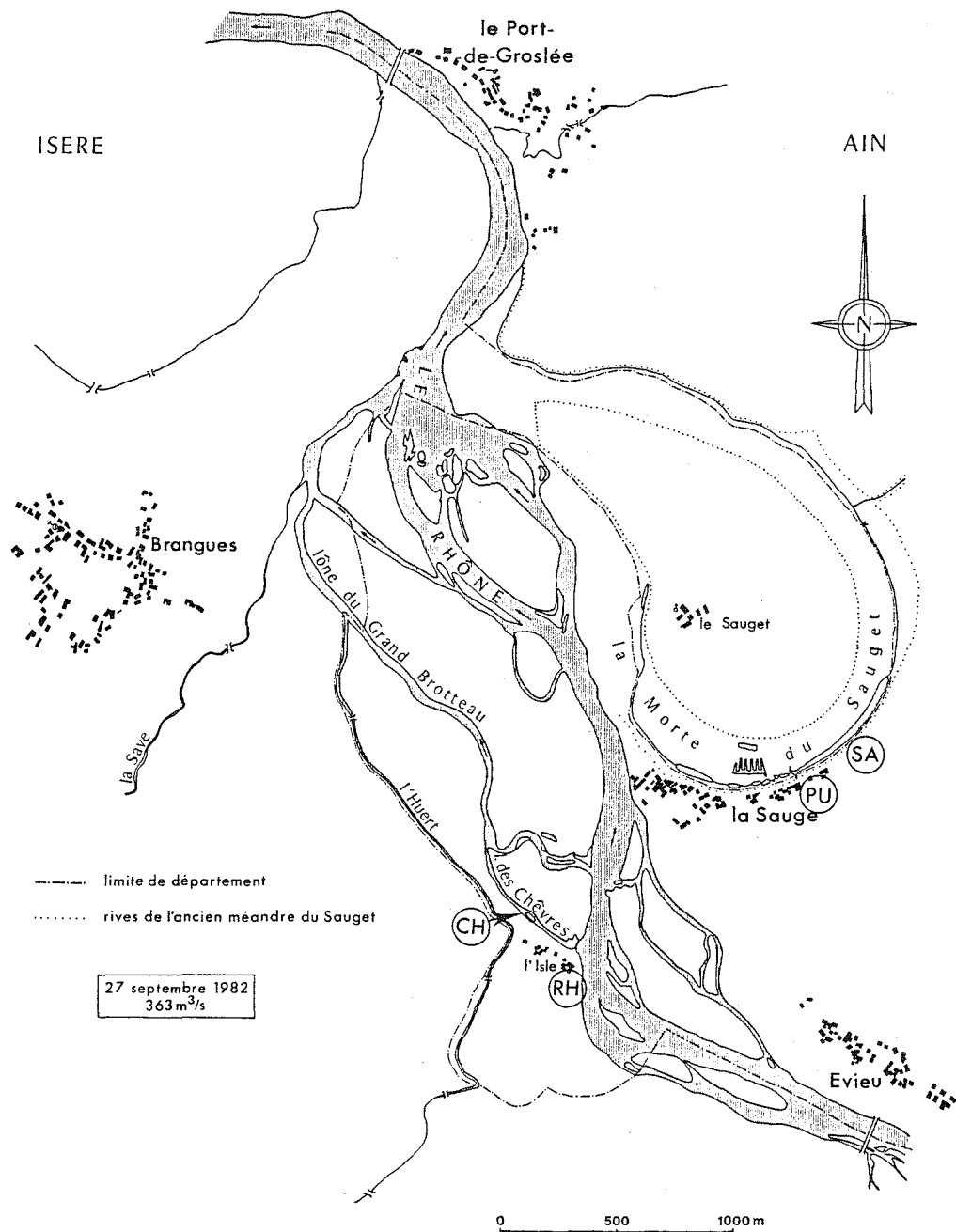


Figure 6 - Le secteur d'étude.

I-2-2 LE SECTEUR D'ETUDE

La portion du fleuve étudiée se situe entre les ponts d'Evieu et de Groslée; plus particulièrement sur la partie amont de la lône des Grands Brotteaux en rive gauche, et la Morte du Sauget en rive droite.

I-2-2-1 LA LONE DES GRANDS BROTTEAUX

I-2-2-1-1 Cadre géographique

Ce bras, situé en face de l'ancien méandre du Sauget (figure 6), débute au niveau du hameau de l'Isle (Commune de Saint Benoît, département de l'Ain) et rejoint le chenal principal après 3000 mètres environ. Son extrémité aval marque la fin des divagations du fleuve dans les Basses Terres. Il reçoit successivement deux rivières du Dauphiné : l'huert et la Save.

Les coordonnées Lambert (zone II) des points amont et aval de la lône sont les suivantes :

AMONT	x = 850,95	y = 2080,40	altitude = 203 m
AVAL	x = 850,00	y = 2082,75	

Carte de l'Institut Géographique National - feuille N°XXXII-32 1-2
LA TOUR DU PIN 1-2 - Echelle 1:25 000.

I-2-2-1-2 Aspect historique

La lône des Grands Brotteaux résulte du tressage actif du fleuve et l'évolution morphodynamique peut être visualisée sur deux siècles environ par la cartographie (figures 7, 8, 9, 10 et 11).

Afin de préserver des espaces agricoles sans cesse menacés, le riverain n'a jamais laissé au fleuve une totale liberté. Ainsi, en 1886, un barrage est érigé à l'amont du Petit Rhône (figure 8) pour protéger les terres de la commune de Brangues. Au début du XX^{ème} siècle, il devient urgent de prendre de vitesse le fleuve qui détruit efficacement la rive gauche (hameau de l'Isle). Le barrage est réhaussé, les rives protégées par un cordon d'enrochements, transformant ainsi une "brassière" [bras latéral du Rhône à fort courant - BRAVARD (1985)] en une lône (terme régional désignant un bras endigué à son extrémité amont, soumis aux mêmes conditions hydrologiques que le chenal).

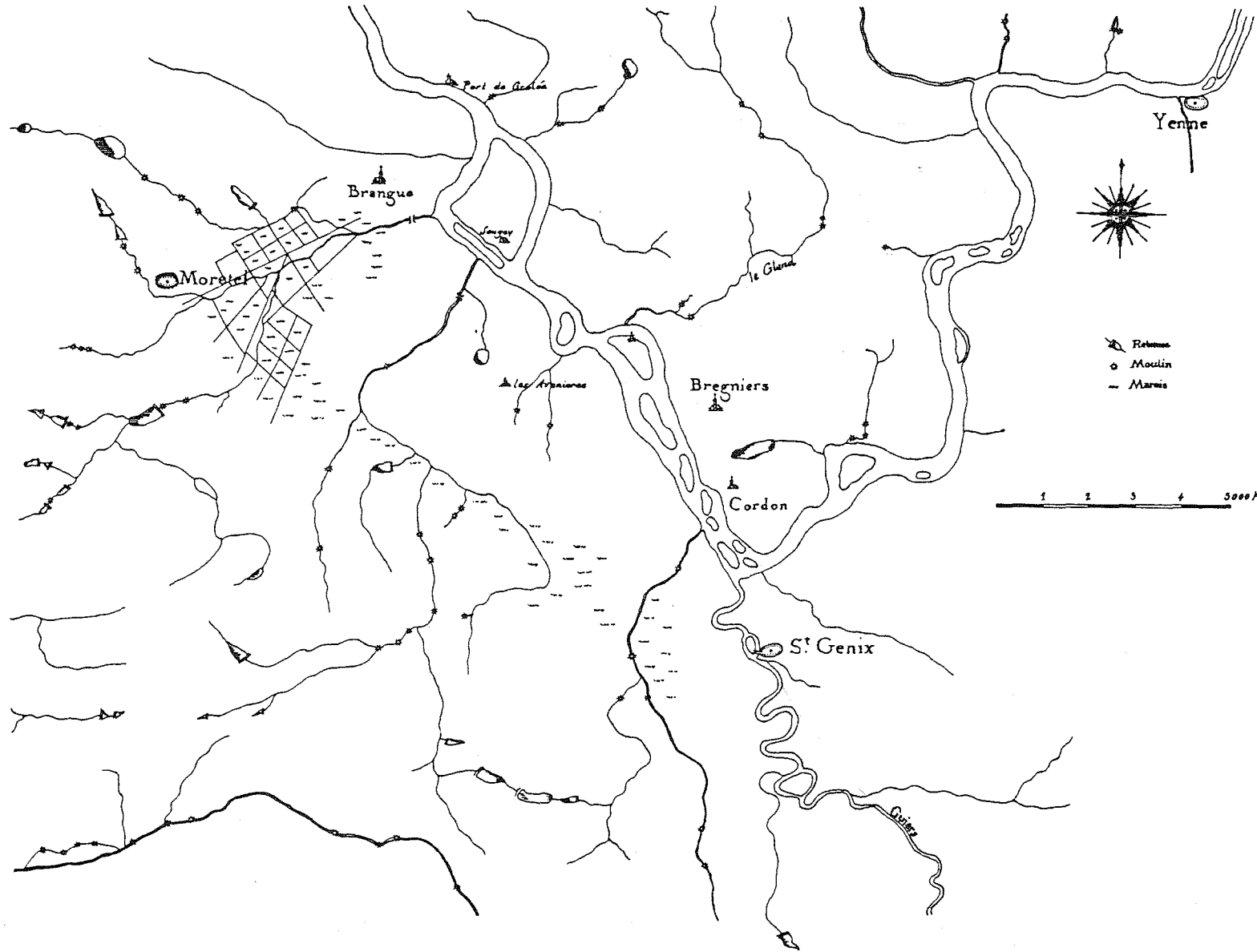


Figure 7 - Reproduction partielle de la carte de BELLEY (carte de CASSINI).
Ces cartes au 1:86 400, ont été réalisées par ordre de Louis XV. La
triangulation date de 1683 à 1744.

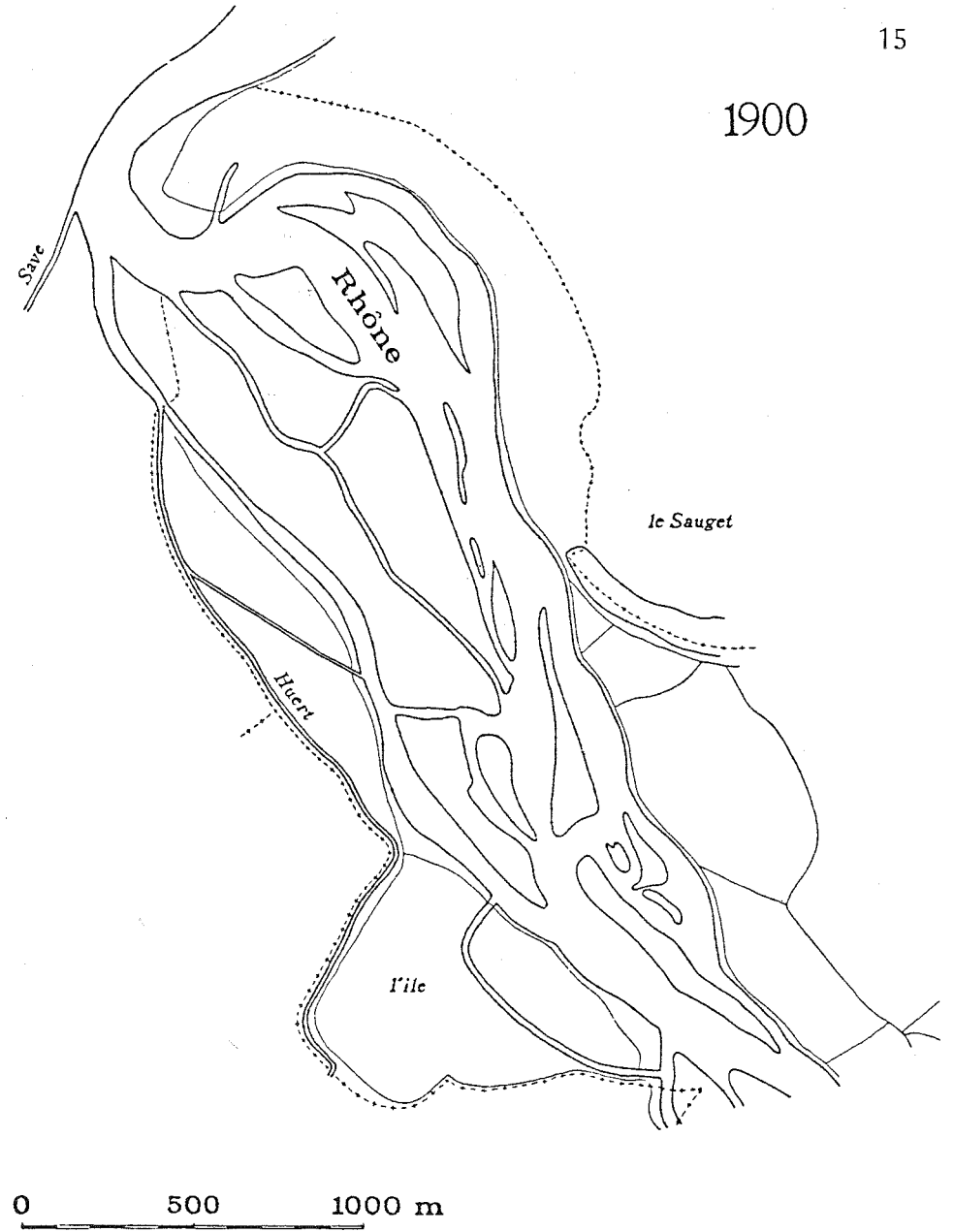
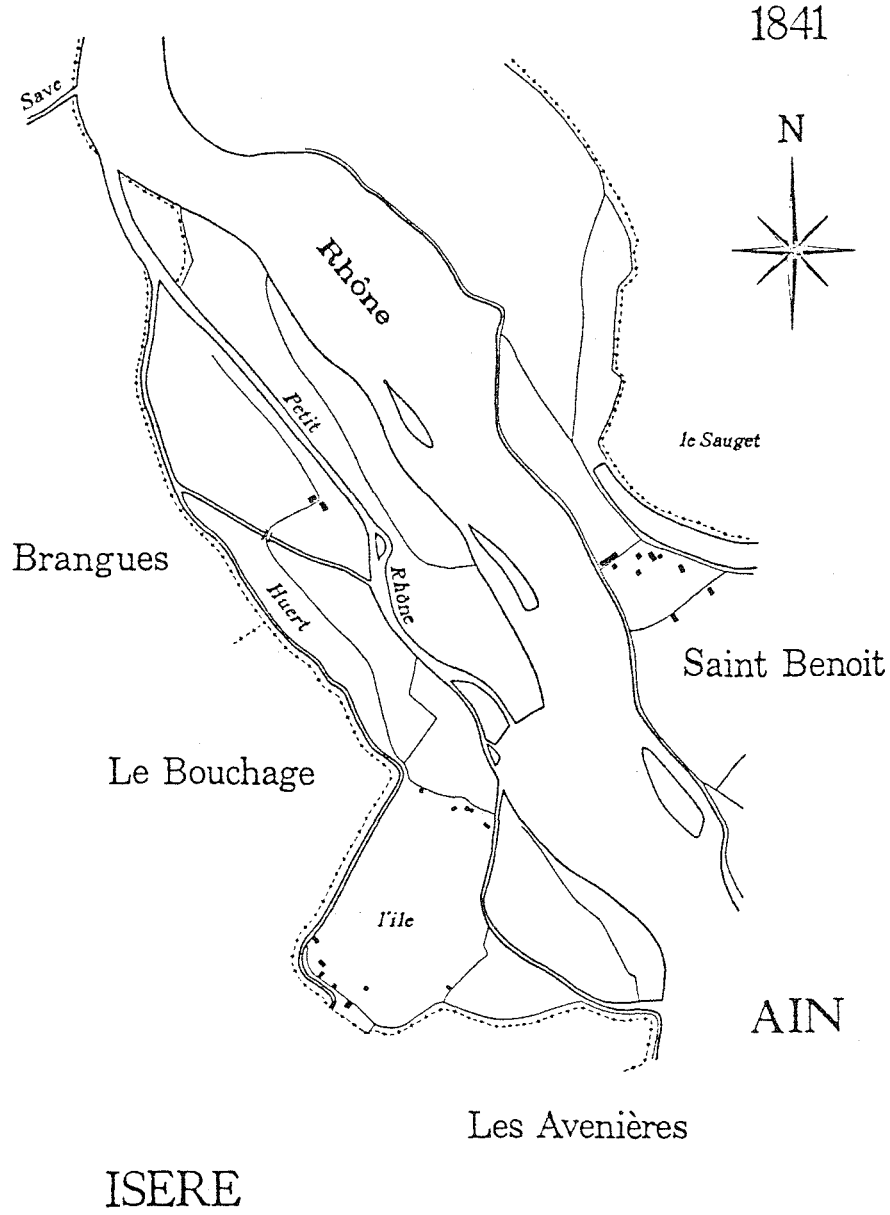


Figure 8 - Le Rhône sur la commune de Saint-Benoît (AIN) en 1841. Relevé cadastral - Commune de Saint-Benoît.

Figure 9 - Le Rhône sur la commune de Saint-Benoît (AIN). d'après une carte au 1:40 000.

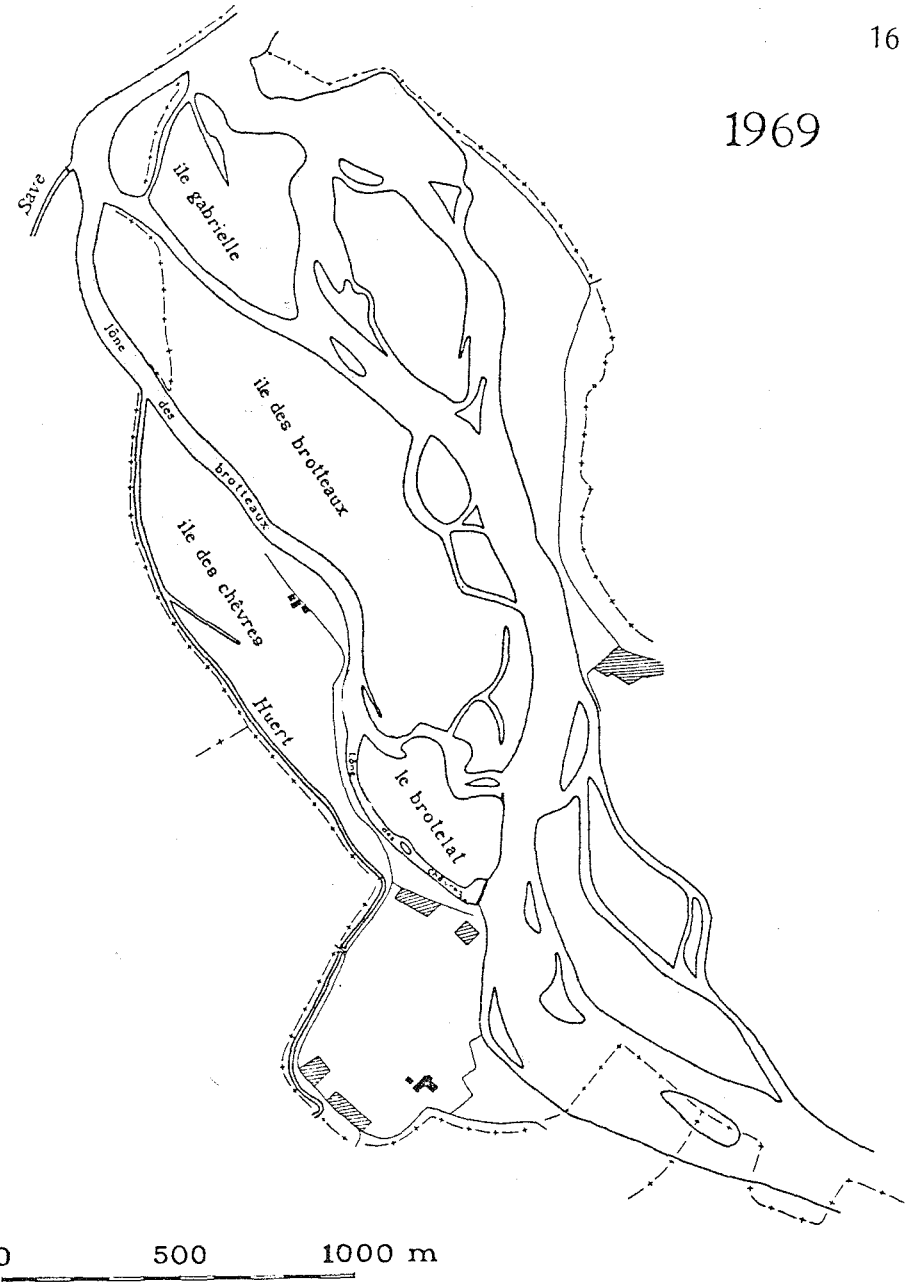
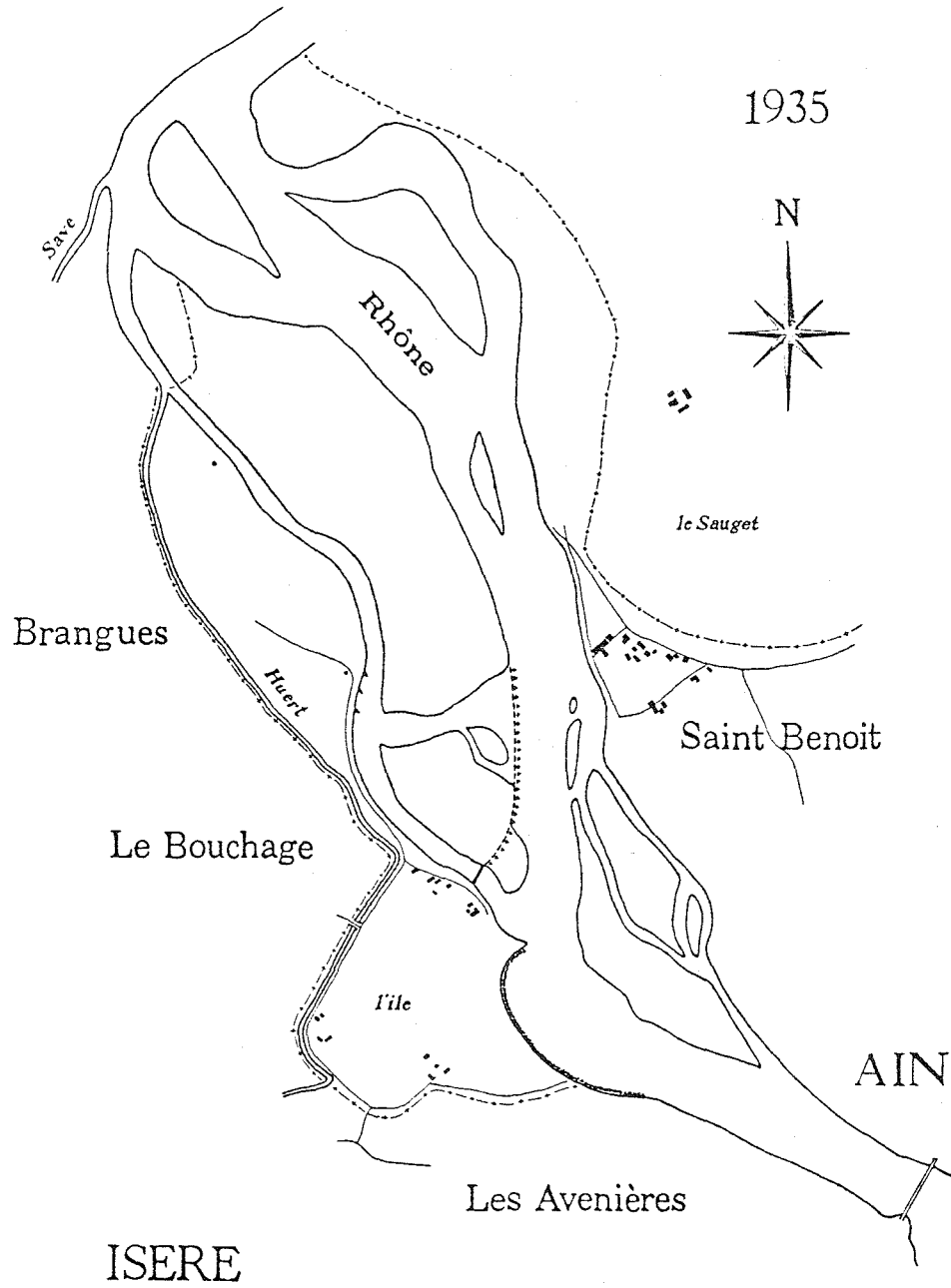


Figure 10 - Le Rhône sur la commune de Saint-Benoît (AIN) en 1935. Carte au 1:10 000 du Service de la Navigation.

Figure 11 - Le Rhône à Saint-Benoît en 1969. Carte au 1:5000 de la C.N.R. - Photos du 04.04.1969



Photo P. VIATTE - DRAE

I- Cadre de l'étude



Barrage de l'Isle



Aval de la lône des Chèvres

I-2-2-1-3 Caractéristiques de la lône

Coupée du fleuve en amont par un barrage semi-perméable, la lône reçoit tour à tour un premier bras du Rhône (distance par rapport à l'amont : $d = 500$ mètres), une rivière : l'Huert ($d = 1750$ mètres), puis un autre bras du Rhône et une seconde rivière : la Save ($d = 2400$ mètres) avant de rejoindre le lit principal à 3000 mètres de son point de départ (figure 6).

Pour des commodités de langage, les dénominations suivantes seront utilisées (figure 11) :

- secteur I pour la partie amont de la lône des Grands Brotteaux ou lône des Chèvres (longueur = 500 mètres),
- secteur II pour le tronçon médian de la lône ($l = 1900$ mètres),
- secteur III pour la partie aval de la lône ($l = 600$ mètres),
- annexe A, le premier bras confluent dans la lône (entre le Brotelat et l'île des Brotteaux) et brassière B, le deuxième (entre l'île des Brotteaux et l'île Gabrielle).

Ces ramifications influent directement sur le régime hydrologique de la partie étudiée. Protégée par le barrage de l'Isle et celui partiellement détruit de l'annexe A, cette lône présente un substrat graveleux semi-colmaté par des limons et des sables (voire même colmaté après les vidanges) et des enrochements dans les zones de confluence très sollicitées par le courant. Lorsque le débit du Rhône est supérieur à $660 \text{ m}^3/\text{s}$ environ, la totalité de la lône est courante ; entre $660 \text{ m}^3/\text{s}$ et $480 \text{ m}^3/\text{s}$, seul le secteur I est calme ; au dessous de $480 \text{ m}^3/\text{s}$, les secteurs I et II ont une vitesse du courant pratiquement nulle (à l'exception des zones très peu profondes du secteur I : gué* par exemple). Lorsque les étiages sont très prononcés, la quantité d'eau s'écoulant dans la lône est très faible. Des débits mesurés au gué donnent les valeurs suivantes :

- 100 litres/s - 3 octobre 1983 - débit du Rhône = $220 \text{ m}^3/\text{s}$
- 5 litres/s - 14 novembre 1983 - débit du Rhône = $160 \text{ m}^3/\text{s}$

* Le gué se situe à 300 mètres environ à l'aval du barrage de l'Isle.

La profondeur de la lône est extrêmement variable, induite par les conditions hydrologiques. Considérée globalement, elle est maximale dans le secteur III et la partie médiane du secteur II. La rive gauche de la lône est plus profonde, surtout au niveau des confluences. Le secteur I (lône des Chèvres), seule portion de la lône pouvant être remontée à pied pendant les étiages (débits inférieurs à $350 \text{ m}^3/\text{s}$), présente une succession de pools reliés entre eux par des radiers.

I- Cadre de l'étude

La vitesse du courant est directement liée au niveau des eaux. Les étiages entraînent une augmentation localisée du courant dans le secteur I, l'eau s'écoulant rapidement d'un pool à un autre dans les sections peu profondes. Elle s'annule totalement dans le secteur II plus profond avant de se rétablir dans le secteur III par les apports de la brassière B.

Lorsque les débits sont tels qu'il n'y a pas submersion du barrage, mais suffisants cependant pour rétablir l'écoulement dans l'annexe A, on observe alors une accélération sensible du courant dans le secteur II avec un amortissement progressif vers l'aval malgré l'arrivée de l'Huert, ce jusqu'à l'intersection avec la brassière B. Lorsque les débits du Rhône sont nettement supérieurs à 700 m³/s, ce dernier emprunte activement ce tracé préférentiel, en raison de sa situation dans le lit mineur. La vitesse du courant y est alors redoutable.

Le substrat est très peu diversifié. Les rives limoneuses, empierrées aux confluences, souvent très pentues voire même verticales (concavité des courbes) donnent une allure quelque peu artificielle à la section transversale de la lône. Le fond est constitué de graviers plus ou moins colmatés par les limons et les sables.

I-2-2-1-4 Les stations d'étude

La lône a fait l'objet d'une étude physico-chimique en 1980-1981 (CARREL, 1981) et d'une étude complémentaire pour l'établissement d'un dossier d'impact (ARALEPBP, 1985). Les résultats portent sur 6 stations (figure 12) et seront utilisés en tant que complémentaires des travaux réalisés en 1983.

Les stations sont les suivantes :

- **station N°1**
amont du barrage de l'Isle, dans le Rhône vif,
- **station N°2**
aval du barrage (d = 350 mètres), secteur I,
- **station N°3**
à 900 mètres du barrage, secteur II, rive gauche,
- **station N°4**
secteur III, rive gauche, à 350 mètres des 3 confluences,
- **station N°5**
l'Huert, au hameau de l'Isle,
- **station N°6**
la Save, 50 mètres avant le confluent.

Le nombre de prélèvements dans chacune des 6 stations est de 6 pour la période 1980-1981, plus 1 en novembre 1984.

Les travaux postérieurs à l'étude 1980-1981 ont été focalisés sur la lône des Chèvres (**station N°2**) et le Rhône vif (**station N°1**).

L'essentiel de l'interprétation repose sur le cycle annuel effectué sur ces deux points de février 1983 à janvier 1984. Les mesures physico-chimiques faites en ces points au cours des années 1980, 1981, 1982 constituent des informations complémentaires à l'étude. Elles n'ont pas été intégrées à l'analyse statistique des résultats en raison d'une forte discontinuité temporelle.

REMARQUE IMPORTANTE : Dans la suite du texte, les stations 1 et 2 seront appelées **RH** (Rhône) et **CH** (Chèvres) afin d'être en accord avec les appellations des autres stations présentées ci-après.

Au cours de la première étude, la lône a fait l'objet d'une étude piscicole pendant laquelle la totalité de la lône a été pêchée mensuellement (de novembre 1980 à mai 1981). Les données obtenues ne concernent que les populations de poissons adultes.

L'étude des populations d'alevins débutée au printemps 1982 est limitée à la partie amont (lône des Chèvres). Des prélèvements y ont été réalisés au printemps et en été (1982 et 1983).

I-2-2-2 LA MORTE DU SAUGET

I-2-2-2-1 Cadre géographique

Situé en rive droite, au pied du hameau de la Sauge (Commune de Saint-Benoît), l'ancien méandre du Sauget peut à juste titre être considéré comme l'un des plus beaux exemples rhodanien d'"Oxbow lake".

Avant recoupement, les deux boucles du méandre occupaient une longueur de 9 kilomètres environ entre le km 86 et le km 90 (AIN et coll., 1973). Seules persistent deux zones d'eau libre (appelées "**mortes**" dans le langage régional) correspondant au surcreusement de l'ancien chenal, au pied de la rive concave où les vitesses du courant sont maximales.

I-2-2-2-2 Evolution historique

Après recoupement, le colmatage des anciens méandres s'effectue selon un processus lent de sédimentation des fines à la faveur des crues. Mais le rôle prépondérant dans l'atterrissement du plan d'eau est joué par la végétation. La colonisation par cette dernière débute sur la rive convexe, la

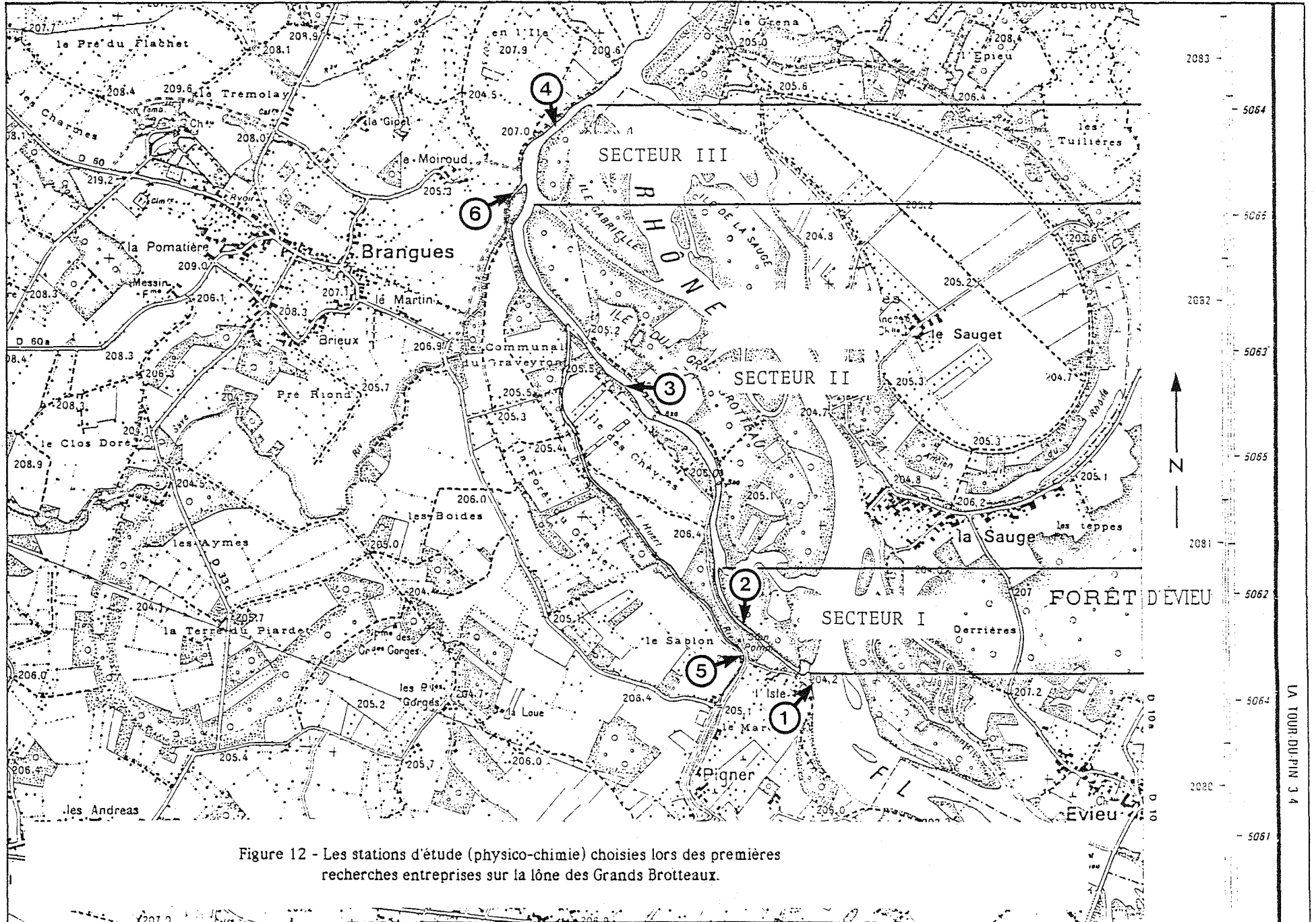


Figure 12 - Les stations d'étude (physico-chimie) choisies lors des premières recherches entreprises sur la lône des Grands Brotteaux.

LA TOUR DU PIN 3 4

rive concave et les extrémités du lit. Le processus est rapide puisqu'il aura fallu moins de 3 siècles pour une disparition quasi-totale du plan d'eau. La surface d'eau libre ne représente plus que 1,5 % environ de celle occupée par le méandre en rive droite. Le plus important de ces plans d'eau est long de 600 mètres environ, large de 30 mètres au maximum. La profondeur maximale n'excède pas 2 mètres.

Actuellement, l'impact d'une remontée des eaux du fleuve dans le plan d'eau principal, est observable à partir de 800 m³/s. Les eaux remontent par l'ancien tracé, de l'aval vers l'amont, jusqu'à la décrue. Une circulation active dans le sens opposé (de l'amont vers l'aval) s'établit lorsque le débit excède 1350 m³/s.

Le tableau suivant donne pour l'année 1983 :

- le nombre de crues (pour un débit supérieur ou égal à 800 m³/s),
- leur durée en jours,
- le débit maximal atteint.

JANVIER	0		
FEVRIER	0		
MARS	1	1,0	860
AVRIL	2	8,0	1200
		5,6	1400
MAI	3	3,3	940
		5,4	1390
		15,6	1580
JUIN	1	2,1	840
JUILLET	0		
AOUT	0		
SEPTEMBRE	1	2,0	970
OCTOBRE	0		
NOVEMBRE	1	3,7	1250
DECEMBRE	2	0,3	850
		1,1	980

I-2-2-3 La végétation

Les données qui suivent sont extraites du travail de PAUTOU (1975).

Le plan d'eau permanente est occupé par des groupements à *Nymphaea alba* avec une forte dominance de *Nuphar luteum*, *Ceratophyllum*

demersum, *Myriophyllum spicatum*, *Hydrocharis morsus-ranae* (**Myriophyllo-Nupharetum**).

Une coupe transversale au point d'inflexion maximale permet de trouver successivement de la rive concave à la rive convexe :

- une frange étroite colonisée par une Phragmitaie à *Carex* ou une Caricaie,
- la Nupharaie,
- la Phragmitaie aquatique (avec *Typha latifolia* et *Equisetum limosum*),
- la Phragmitaie à *Carex elata*
- la Caricaie (**Caricetum elatae**),
- (*Salix cinera* occupe déjà des surfaces importantes dans la Phragmitaie et la Caricaie),
- les groupements boisés, taillis de *Salix cinera* Aunaie à *Alnus glutinosa* Ormaie basse et Chênaie-Frênaie en bordure de rive.

I-2-2-4 Station d'étude

La Morte du Sauget a fait l'objet d'un suivi physico-chimique, parallèlement à celui réalisé sur la rive opposée, de février 1983 à janvier 1984, en un point unique médian et central du plan d'eau principal (figure 6).

Les coordonnées Lambert (zone II) sont les suivantes :

Station SA x = 852,10 y = 2081,35 altitude 204 m

L'étude des populations d'alevins a été faite au printemps et en été pendant les années 1982 et 1983. Les prélèvements ont porté sur la totalité de ce même plan d'eau.

I-2-2-3 LE PARA-ÉCOULEMENT DU RHONE

Plusieurs prélèvements ont été réalisés à la fin 1983 et début 1984 dans un puits situé dans la cour d'un particulier, au hameau de la Sauge. Ce puits est à une distance de 20 mètres environ du plan d'eau étudié.

Ce point permet d'obtenir des informations sur la qualité physico-chimique des eaux souterraines, plus exactement du para-écoulement du fleuve. Ce puits ayant été remis en service au cours de l'été 1983 n'est pas colmaté comme le sont beaucoup d'autres dans ce secteur.

Les coordonnées LAMBERT (zone II) sont les suivantes :

Station PU x = 851,80 y = 2081,10 altitude 204 m

-II-

**CARACTERISATION ET DIFFERENCIATION
PHYSICO-CHIMIQUES DES
MILIEUX ETUDIES**

II - CARACTERISATION ET DIFFERENCIATION PHYSICO-CHIMIQUES DES MILIEUX ETUDIES

II-1 PARAMETRES ETUDIES, MATERIEL ET METHODES

II-1-1 NATURE DES PARAMETRES ET OBTENTION DES DONNEES

II-1-1-1 RELEVES EFFECTUES SUR LE TERRAIN

- **température de l'air** : thermomètre à mercure,
- **température de l'eau** : thermomètre à mercure au 1/10 °C,
- **températures maximale et minimale entre deux relevés** :
3 thermomètres mini-maxi installés dans le Rhône vif, à l'aval de la lône des Chèvres et dans la Morte du Sauget (profondeur : 1,50 m),
- **enregistrement en continu de la température** :
Morte du Sauget (profondeur de la sonde = 1,20 m),
- **oxygène dissous** :
oxymètre PONSELLE à cellule polarographique (oxy-thermomètre "MINOX"), les teneurs en oxygène sont exprimées en pourcentage de saturation à la pression atmosphérique du jour de prélèvement,
- **conductivité** :
conductimètre PONSELLE type CM dont la lecture est automatiquement corrigée à la température de 20°C sur la base du coefficient moyen correspondant au KCl N/100 (2,158 %/°C)
- **potentiel Hydrogène (pH)** :
pH-EH-mètre type PM PONSELLE,
- **transparence** :
mesurée au disque de Secchi, exprimée en cm.

II-1-1-2 ANALYSES EFFECTUEES AU LABORATOIRE

- **alcalinité** :
titrage à l'acide chlorhydrique en présence d'un indicateur mixte (Vert de Bromocrésol et Rouge de Méthyle), exprimée en mg/l d'ions

bicarbonates (HCO_3^-),

- **duretés totale, calcique et magnésienne** :
obtenues par dosage complexométrique à l'E.D.T.A., (RODIER, 1984, p. 234), la dureté totale est exprimée en mg/l de CaCO_3 , la dureté calcique est exprimée en mg/l de Ca^{++} , la dureté magnésienne, calculée par différence, est exprimée en mg/l de Mg^{++} ,

- **sulfates** :
dosage par néphélométrie (RODIER, 1984, p.220), exprimés en mg/l de SO_4^{--} ,

- **azote nitrique** :
méthode HACH au Nitraver VI, exprimé en mg/l de N-NO_3^- ,

- **matières en suspension (M.E.S.)** :
déterminées par filtration sur filtre Millipore (type AP 20, réf. 047), puis pesées après un séjour de 24 heures à 110°C, la destruction des matières volatiles par calcination à 560 °C permet de mesurer la quantité de matières minérales (M.M.), exprimées en mg/l,

- **matière organique particulaire (M.O.P.)** :
obtenue par différence MES - M.M., exprimées en mg/l,

- **chlorophylle a** :
filtration sur WHATMAN GF/C et extraction à l'acétone 90% (méthode PARSONS & STRICKLAND, 1963).

II-1-2 ANALYSE DES DONNEES

Les résultats de physico-chimie obtenus dans ce secteur sont regroupés dans les tableaux I, II, III, IV et V (annexes).

Tableau I	Lône des Grands Brotteaux et affluents
Tableau II	station RH (Rhône vif)
Tableau III	station CH (lône des Chèvres)
Tableau IV	station SA (Morte du Sauget)
Tableau V	station PU (puits - hameau de la Saugé)

Parmi cet ensemble de données, celles obtenues sur les stations RH et SA au cours du cycle annuel (février 1983 - janvier 1984) ont fait l'objet d'un traitement statistique. Ce dernier porte sur 39 dates d'échantillonnages x 15 variables physico-chimiques. Des différences importantes existant entre ces deux milieux ont conduit à un traitement

séparé des 2 tableaux.

NOTE IMPORTANTE :

Une vérification de la balance ionique, effectuée selon les procédures indiquées par GOLTERMAN & MEYER (1985) :

$$(\Sigma \text{ cations} - \Sigma \text{ anions}) / (\Sigma \text{ cations} + \Sigma \text{ anions}) \times 200,$$

nous a permis de contrôler la validité des dosages réalisés. Par cette méthode, il a été possible de visualiser une surestimation de la dureté totale, des teneurs en calcium et en magnésium pour les prélèvements d'eau effectués entre le 21 novembre et le 26 décembre 1983. Les résultats concernant ces ions (indirectement mesurés par des paramètres redondants tels que la conductivité et les bicarbonates) n'ont pas été éliminés du traitement statistique afin de conserver l'intégrité du suivi des autres paramètres. Par contre, au cours de l'interprétation de l'analyse des données, les erreurs connues seront éliminées, notamment lorsqu'il y a étude des relations entre ces ions et les autres paramètres.

La description des données a été réalisée à partir d'une **Analyse en Composantes Principales** normée, puis d'une reconstitution graphique sur laquelle est basée l'interprétation des variations chronologiques observées.

II-1-2-1 BUT DE L'ANALYSE

L'Analyse en Composantes Principales (ACP) permet une description simplifiée d'un tableau de mesures quantitatives composé de n lignes-individus et de p variables-colonnes numériques par le biais d'une construction de nouvelles variables "synthétiques", non corrélées entre elles, d'importance décroissante, qui sont des combinaisons linéaires des variables initiales. Les nouveaux caractères créés par l'analyse, dont la signification concrète est du ressort de l'expérimentateur, mettent en valeur les ressemblances entre individus et les liaisons entre les variables initiales. Lorsque les variables ne sont pas mesurées dans les mêmes unités, à l'origine de variances très dispersées (cas des mesures effectuées dans cette étude), celles-ci sont centrées réduites et le tableau traité en Analyse en Composantes Principales **normée** (ACN) sera du type :

$$X = (x_{ij} - \bar{x}_j / \sigma_j)$$

avec \bar{x}_j et σ_j : moyenne et écart-type de chaque variable.

Cette analyse, réalisée sur les tableaux de données physico-chimiques obtenues aux stations **RH** et **SA**, a été suivie d'une

reconstitution progressive des données à partir des axes factoriels.

La visualisation de la progression de la reconstitution est faite par des graphiques superposés aux données initiales selon les techniques indiquées par AUDA (1983).

Les procédures mathématiques de l'Analyse en Composantes Principales et de la reconstitution des données sont décrites dans l'annexe I à l'intention des lecteurs souhaitant un complément d'informations.

II-1-2-2 LA RECONSTITUTION GRAPHIQUE : BASE DE L'INTERPRETATION

La présentation donnée ci-après (figure 13), montrant les reconstitutions graphiques utilisées pour l'interprétation des données, ne concerne que la station **RH**, élément principal de la vallée fluviale, dont les caractéristiques physico-chimiques dépendent essentiellement du rythme saisonnier et de l'hydrologie. Cette présentation sommaire sera reprise plus précisément dans l'interprétation des observations.

Le premier facteur de l'analyse interprété en tant que facteur saisonnier est à l'origine de l'évolution des ions majeurs (calcium, magnésium, bicarbonates, nitrates) et de la conductivité.

Le second est le reflet du débit. Ce dernier est responsable des variations des teneurs des sulfates, des matières en suspension et des paramètres qui leur sont associés (matières organiques particulières, transparence), de certaines valeurs des bicarbonates et du magnésium observées pendant les crues. Ce facteur 2 (hydrologie) reconstitue partiellement le tracé de la saturation en oxygène des eaux du fleuve et des teneurs en chlorophylle a.

Les autres facteurs, d'interprétation plus délicate seront commentés dans le détail dans les paragraphes qui suivent.

Le facteur 3 est exclusivement réservé à la reconstitution de la variable pH.

Le facteur 4 termine la reconstitution du tracé de la chlorophylle et du pH.

Les facteurs 5 et 6 sont consacrés à des points très localisés des courbes. Seuls quelques uns pourront être expliqués.

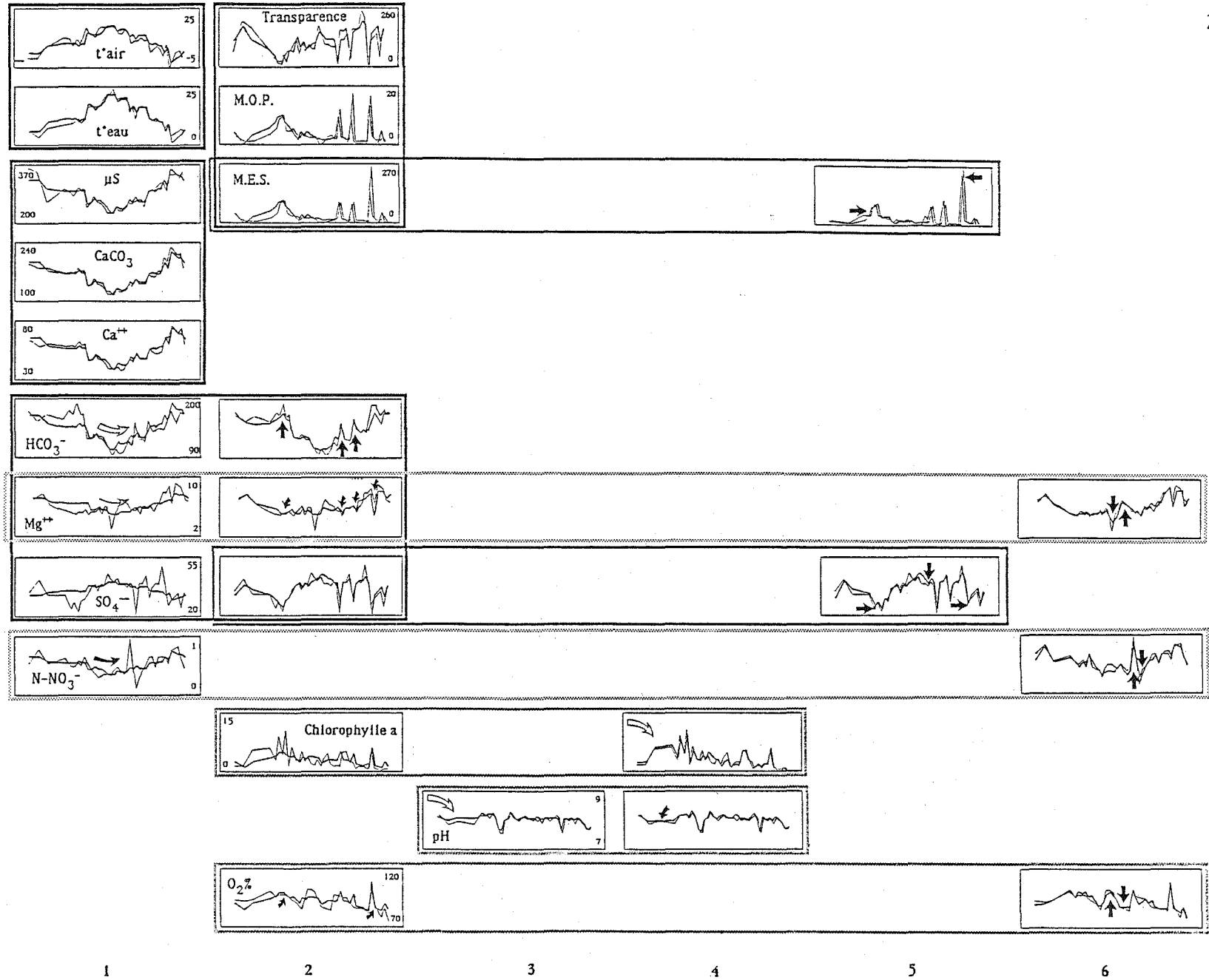


Figure 13 - Reconstitutions graphiques par l'Analyse en Composantes
Principales normées des variables mesurées à la station RH (Rhône vif).

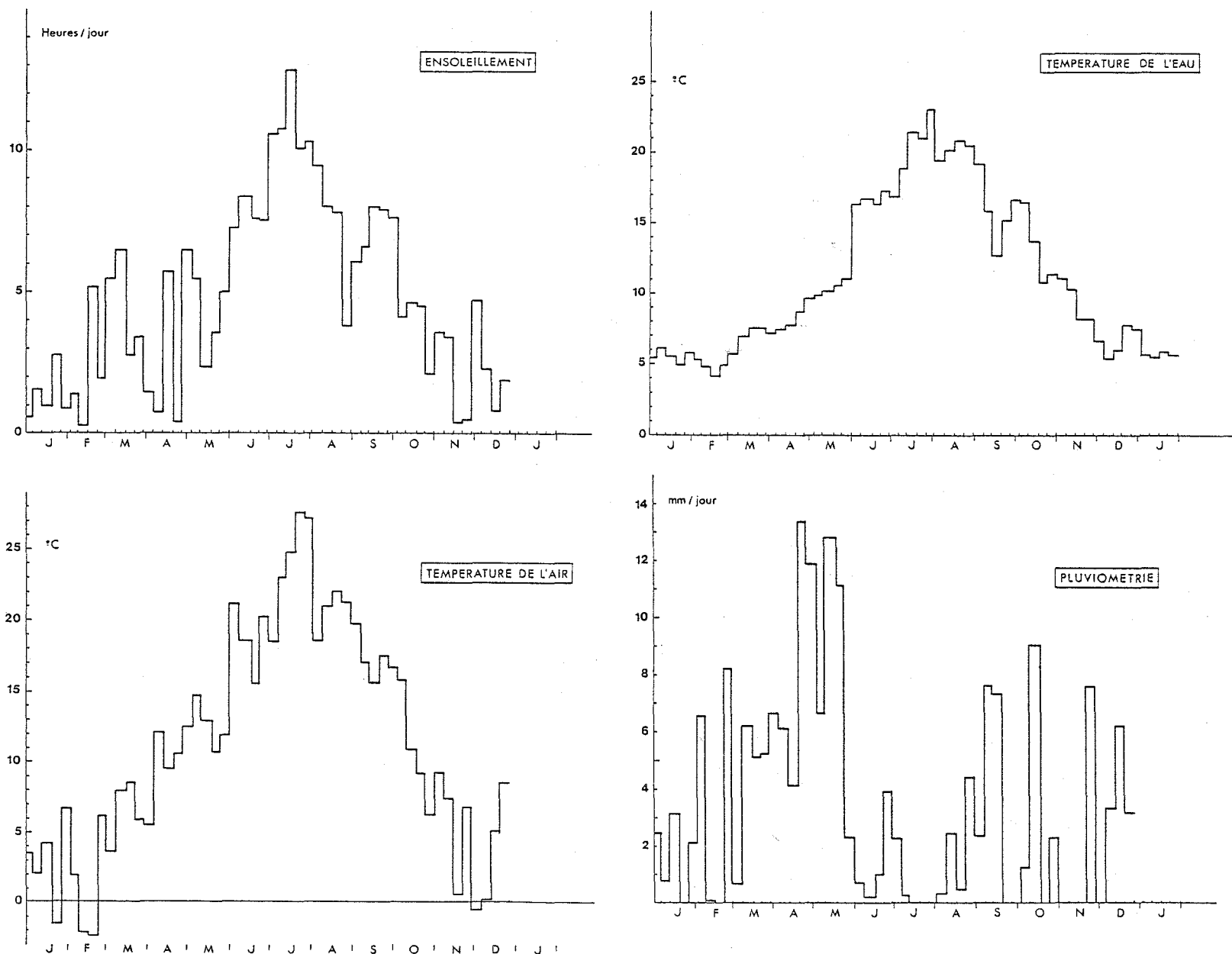


Figure 14 - Les paramètres météorologiques à Ambérieu-en-Bugey (origine: Météorologie Nationale) et la température du Rhône à Sault-Brenaz (origine : Services de la Compagnie Nationale du Rhône) pour l'année 1983.

(Valeurs moyennes journalières calculées entre deux dates de prélèvements physico-chimiques ou à intervalles d'une semaine en l'absence d'échantillonnages)

II-2 CARACTERISATION PHYSICO-CHIMIQUE DES MILIEUX LOTIQUES : LE RHONE ET LA LONE DES CHEVRES

II-2-1 LE REGIME THERMIQUE DU FLEUVE

L'évolution de la température du fleuve dépend du climat régional. Elle est corrélée positivement à la durée de l'ensoleillement et à la température moyenne de l'air (figure 14). On signalera toutefois plusieurs points importants visualisés sur la courbe des températures moyennes du Rhône à Sault-Brenaz (1983):

- 1) l'influence des précipitations qui entraînent une baisse des températures,
- 2) la brusque élévation de température qui a suivi les températures basses des mois d'avril et de mai, ainsi que la température moyenne élevée des eaux à la fin du mois de juillet (23°C),
- 3) l'absence de températures inférieures à 4°C pendant l'hiver (pour la période considérée).

L'étude de la température moyenne de l'eau enregistrée à Sault-Brenaz (Compagnie Nationale du Rhône) en fonction de la température moyenne de l'air (Météorologie Nationale - station d'Amberieu en Bugey) permet de visualiser ce cycle thermique (figure 15). Celui-ci peut être divisé en trois parties distinctes :

- 1) une période hivernale (décembre, janvier, février) pendant laquelle la température de l'eau est relativement stable et peu fluctuante malgré d'importantes variations de la température de l'air (-2°C à +8°C),
- 2) une période de réchauffement des eaux (printemps et début de l'été : mars, avril, mai, juin et juillet),
- 3) une période de refroidissement (août, septembre, octobre et novembre).

La période hivernale rappelle singulièrement celle qui peut être observée dans un système lacustre de grande dimension. Le lac Léman, pourvoyeur d'un peu plus de la moitié du volume d'eau passé à Sault-Brenaz en 1983 apparaît à l'origine de l'inertie thermique observée.

La fin de la période de refroidissement coïncide avec les étiages du Rhône. L'influence des eaux souterraines, dont la température est nettement plus élevée que celle des eaux superficielles à cette période de l'année, contribue certainement à ce maintien d'une température élevée en regard de la température moyenne de l'air.

L'absence d'enregistrement en continu de la température de l'eau dans la lône ne permet pas d'établir un tracé similaire. Cependant, les

informations concernant les températures minimales et maximales enregistrées dans les deux stations (RH et CH) montrent (figure 16) :

1) lorsque les températures sont élevées (été), les différences entre le Rhône et la lône sont pratiquement inexistantes, la coïncidence des températures élevées avec un débit maximal (cf. régime nivo-glaciaire) contribue à des échanges actifs des eaux dans les différents chenaux du fleuve, donc à une relative homogénéité des températures ;

2) pendant la saison froide, les températures relevées dans le Rhône sont plus basses que celles de la lône (environ -1°C), ceci pour des températures du Rhône inférieures à 10°C. Les températures froides coïncident en général avec les étiages du fleuve. Pendant les basses eaux, le débit de la lône est particulièrement faible, la vitesse d'écoulement réduite ou nulle et la profondeur réduite devraient contribuer à une accentuation du refroidissement des eaux. Ce n'est pas le cas dans les observations réalisées; en conséquence, le sous-écoulement du fleuve apparaît capable de jouer un rôle prépondérant vis à vis de la température hivernale des eaux au moins dans ce tronçon.

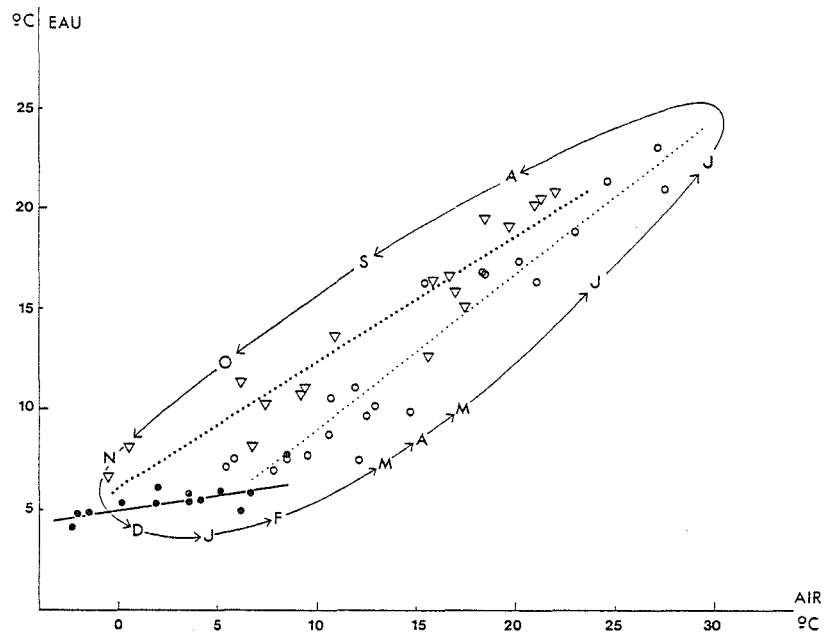


Figure 15 - Cycle thermique du Rhône à Sault-Brénaz en 1983.
 $t_{RH}^{\circ} = 0,141 t_{AIR}^{\circ} + 5,026$ $r = 0,74$ $N = 13$ (points noirs)
 $t_{RH}^{\circ} = 0,766 t_{AIR}^{\circ} + 1,281$ $r = 0,96$ $N = 21$ (cercles)
 $t_{RH}^{\circ} = 0,627 t_{AIR}^{\circ} + 6,030$ $r = 0,95$ $N = 18$ (triangles)

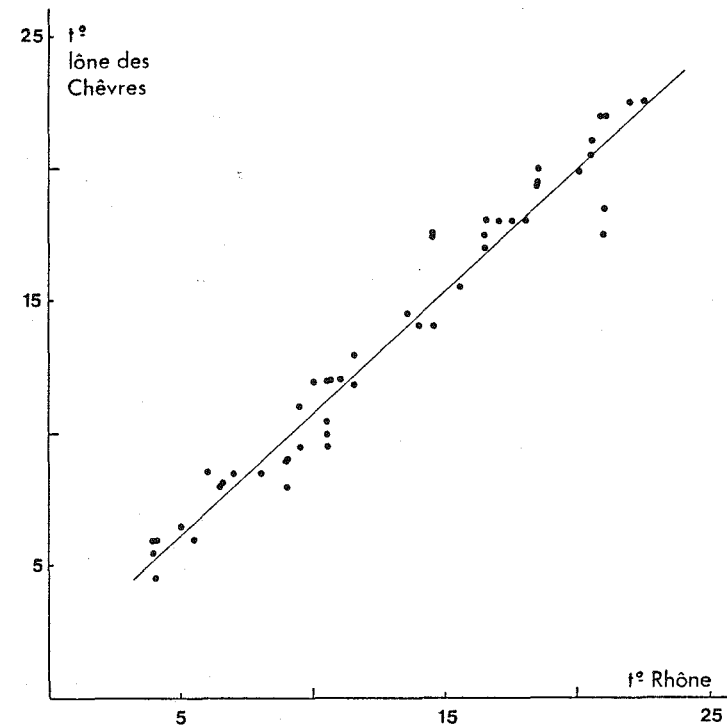


Figure 16 - Relation entre la température du Rhône (RH) et de la lône (CH).
 $t_{CH}^{\circ} = 0,919 t_{RH}^{\circ} + 1,576$ $r = 0,98$ $N = 54$

II-2-2 LES IONS MAJEURS ET LES PARAMETRES ASSOCIES

La composition ionique des eaux du Rhône, mesurée globalement par la conductivité, est dominée par quatre cations : le calcium (Ca^{++}), le magnésium (Mg^{++}), le sodium (Na^+) et le potassium (K^+) liés aux principaux anions suivants : bicarbonate (HCO_3^-), sulfates (SO_4^{--}), chlorures (Cl^-), nitrates (NO_3^-) et silicates (HSiO_3^-).

Cette balance ionique est similaire à celle trouvée pour un autre fleuve médio-européen, le Rhin à Stein (émissaire du lac de Constance) (GOLTERMAN, 1975).

Les teneurs indiquées ci-après sont données respectivement en mg/l puis en mM. Les valeurs attribuées aux ions munis d'une * ont été empruntées à l'Inventaire du degré de pollution des eaux superficielles, rivières et canaux, rapport 1981, station Rhône pK 55.5 - Agence de bassin R.M.C.

	RHONE		RHIN	
CATIONS				
Calcium	52,4	2,61	52,7	2,63
Magnésium	6,2	0,51	7,0	0,58
Sodium	*5,2	0,23	4,6	0,20
Potassium	*1,7	0,04	1,2	0,03
Σ cations		3,39		3,44
ANIONS				
Bicarbonate	144,7	2,37	150,1	2,46
Sulfate	35,3	0,74	35,6	0,74
Chlorure	*6,6	0,19	3,5	0,10
Nitrate	2,4	0,04	3,1	0,05
Silicate	*3,0	0,04	3,8	0,05
Σ anions		3,38		3,45
μS moyenne		286,00		300,00
pH moyen		8,00		

Parmi ces ions, cinq ont été mesurés : le calcium, le magnésium, les bicarbonates, les sulfates et les nitrates.

Soumis au régime saisonnier (figure 13), ils présentent toutefois des relations plus ou moins marquées avec ce facteur. Les ions étudiés et les paramètres associés à leurs variations (conductivité et pH) obéissent à des phénomènes implicitement liés à l'évolution climatique (température et pluviométrie). Les relations avec ces paramètres sont d'ordre physique (intervention de la température sur l'équilibre carbonique, de la température et des précipitations sur le régime hydrologique) ou d'ordre biologique (développement des organismes susceptible d'agir indirectement sur la composition ionique de l'eau).

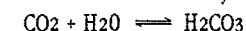
II-2-2-1 LES EQUILIBRES CARBONIQUES ET LES PARAMETRES DEPENDANTS

II-2-2-1-1 Influence de la température sur ces équilibres

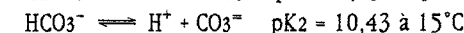
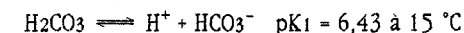
Les réactions chimiques relatives aux équilibres carboniques ayant été abondamment développées par SCHMITT (1955), HUTCHINSON (1957), DUSSART (1966), GOLTERMAN (1975), WETZEL (1983), BLANC et coll. (1984)...., un bref exposé rappellera les différents phénomènes observés dans les eaux douces et en région tempérée.

Le dioxyde de carbone (CO_2) est très soluble dans l'eau, 200 fois plus que l'oxygène. Sa solubilité dépend à la fois de la température et de la pression ambiante.

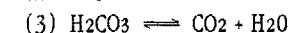
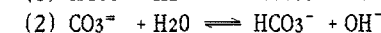
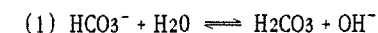
Une partie du CO_2 dissous s'hydrate pour donner un acide faible :



acide qui se dissocie à son tour selon les réactions suivantes :



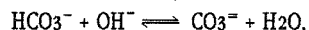
Les ions bicarbonates et carbonates se dissocient aussi pour établir un équilibre :



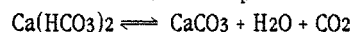
Les réactions (1) et (2) ont lieu dans des eaux alcalines ($\text{pH} > 7$) dont la charge bicarbonatée issue du bassin versant est importante. Les bicarbonates, le plus souvent calciques $[\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2]$, résultent d'une solubilisation du CaCO_3 insoluble par l'acide carbonique. La solution diluée de bicarbonate est légèrement alcaline en raison d'un léger excès d'ions OH^- provenant de la dissociation de HCO_3^- et CO_3^{--} , par rapport aux ions H^+ de la dissociation de l'acide carbonique H_2CO_3 .

Les quantités de CO_2 , définies dans un premier temps par les lois

physiques, sont sujettes à des changements par le biais de l'activité biologique (perte par la photosynthèse, gains par la respiration des organismes), susceptibles de modifier le pH de l'eau. Toutefois, les mécanismes du pouvoir tampon créé par le système d'équilibre $\text{CO}_2/\text{HCO}_3^-/\text{CO}_3^{2-}$ tendent à résister à ces modifications de pH tant que cet équilibre complexe pourra répondre. L'addition d'ions H^+ est neutralisée par les ions OH^- provenant de la dissociation (1) et (2) et le pH reste sensiblement le même bien que les teneurs en HCO_3^- et CO_3^{2-} soient réhaussées. De la même manière, des ions OH^- réagissent avec les ions HCO_3^- :



Lorsque dans un système en équilibre, la perte de CO_2 requise pour le maintien de cet équilibre excède le gain par la photosynthèse, une précipitation du carbonate de calcium s'opère :



avec hausse du pH, jusqu'à ce que l'équilibre soit de nouveau rétabli par la formation de CO_2 .

Ces phénomènes se produisent principalement dans les eaux stratifiées et eutrophes. Lorsque les échanges gazeux s'effectuent rapidement comme dans les eaux courantes, la distribution des anions et des cations liés à l'équilibre carbonique va dépendre exclusivement des échanges du dioxyde de carbone conformément aux lois physiques qui régissent les teneurs en CO_2 dissous dans l'eau (pression partielle, température et force ionique de la solution). La modification du pH, résultant essentiellement du métabolisme respiratoire microbien et de la consommation photosynthétique, sera peu importante (en l'absence de pollution) dans un système lotique bicarbonaté, sauf si les eaux du bassin d'alimentation ont des provenances diverses (nature géologique du bassin versant) et que leurs proportions changent significativement pendant l'année (cf. régime hydrologique).

Dans le Rhône, les équilibres carboniques seront donc influencés préférentiellement par la température, la concentration en sels de l'eau, puis secondairement par le régime hydrologique.

Les travaux de GOLTERMAN et MEYER concernant la géochimie comparée du Rhin et du Rhône (1985) montrent cette évolution saisonnière identique dans les deux fleuves des ions calcium et bicarbonates au niveau stationnel, et l'accroissement des teneurs avec la distance à la source.

Ces variations saisonnières du système $\text{Ca}^{++}/\text{HCO}_3^-/\text{CO}_3^{2-}$ résultent de l'influence de la température de l'eau sur la solubilité du CO_2 et sur les constantes de dissociation de l'acide carbonique (GOLTERMAN & MEYER, 1985a). Ces mêmes auteurs ont montré que les concentrations de calcium et de bicarbonates sont accrues par l'addition de sulfates dont l'origine est naturelle dans le Rhône (gypses triasiques du bassin versant lémanique) (GOLTERMAN & MEYER, 1985c).

Une étude (GOLTERMAN, com. pers.) de la solubilité du calcium et du pH résultant de l'équilibre calco-carbonique montre que :

1) la solubilité du Ca^{++} à 0°C est environ 40% supérieure à celle trouvée à 20°C,

2) les sulfates peuvent accroître la solubilité du Ca^{++} , mais les effets de la température restent les mêmes,

3) les concentrations de Ca^{++} observées peuvent être expliquées par la pression partielle de CO_2 , la teneur en sulfates et la température.

II-2-2-1-2 Etude des paramètres associés à l'équilibre calco-carbonique

Au vu des caractéristiques présentées ci-dessus, l'implication de la température est fondamentale pour les paramètres suivants :

- l'alcalinité (HCO_3^-)
- la dureté totale car elle est due pour sa plus grande part aux alcalino-terreux (calcium et magnésium principalement) sous forme de bicarbonates, et subit ainsi les variations cumulées de ces composants,
- la conductivité, paramètre témoin de la minéralisation de l'eau et fortement corrélé aux ions majeurs des eaux du fleuve.

II-2-2-1-2-1 Relations entre ces paramètres

L'alcalinité et le calcium sont liés par une relation linéaire (figure 17)

$$[\text{Ca}^{++} \text{ en mM}] = 0,880 [\text{HCO}_3^- \text{ en mM}] + 0,557$$

$$N = 98 \text{ et } r = 0,998.$$

La pente de la droite, proche de l'unité, montre que la variation de l'un s'accompagne d'une modification sensiblement identique de l'autre.

La différence (Calcium - bicarbonates) observée correspond à la part de calcium mobilisée par les sulfates. Cette quantité de calcium mobilisée sous la forme de sulfates s'atténue avec la hausse des bicarbonates car l'augmentation de la teneur en HCO_3^- s'apparente à celle des apports périalpins et jurassiens (eaux riches en $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ et pauvres en CaSO_4).

Une baisse des HCO_3^- correspond à une prédominance des apports lémaniques à fortes teneurs en CaSO_4 et moins riches en $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$.

Les modifications des équilibres entraînant celles des constituants majeurs de l'eau, influent par conséquent sur la conductivité de l'eau. La relation linéaire qui associe la dureté totale et la conductivité (figure 18) permet d'utiliser ce dernier paramètre en tant que "descripteur synthétique" de l'évolution saisonnière du système calco-carbonique.

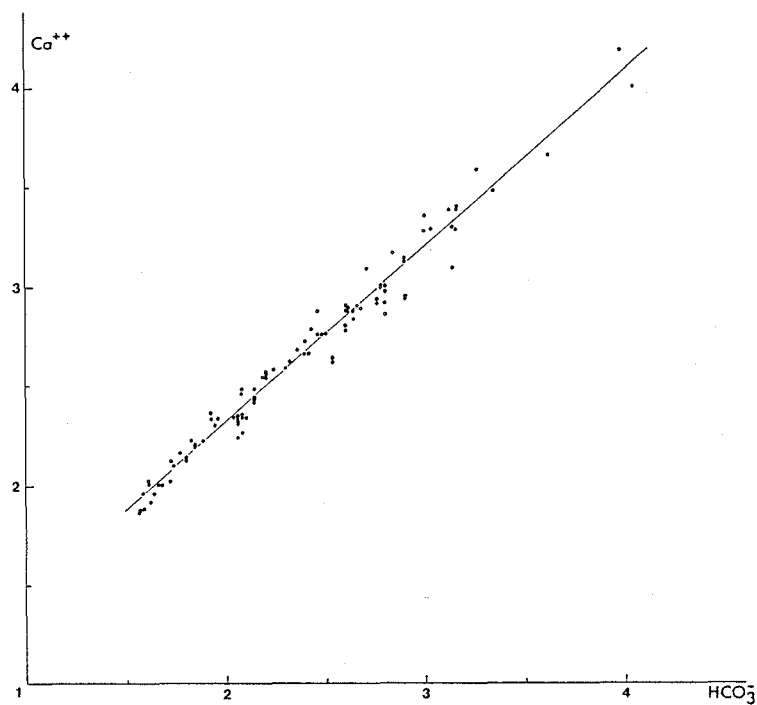


Figure 17 - Relation entre les ions calcium et bicarbonate.
 $[Ca^{++}] = 0,880 [HCO_3^-] + 0,557$ $N = 98$ et $r = 0,998$.
 Teneurs exprimées en mM.
 Les relevés des stations RH et CH sont cumulés.

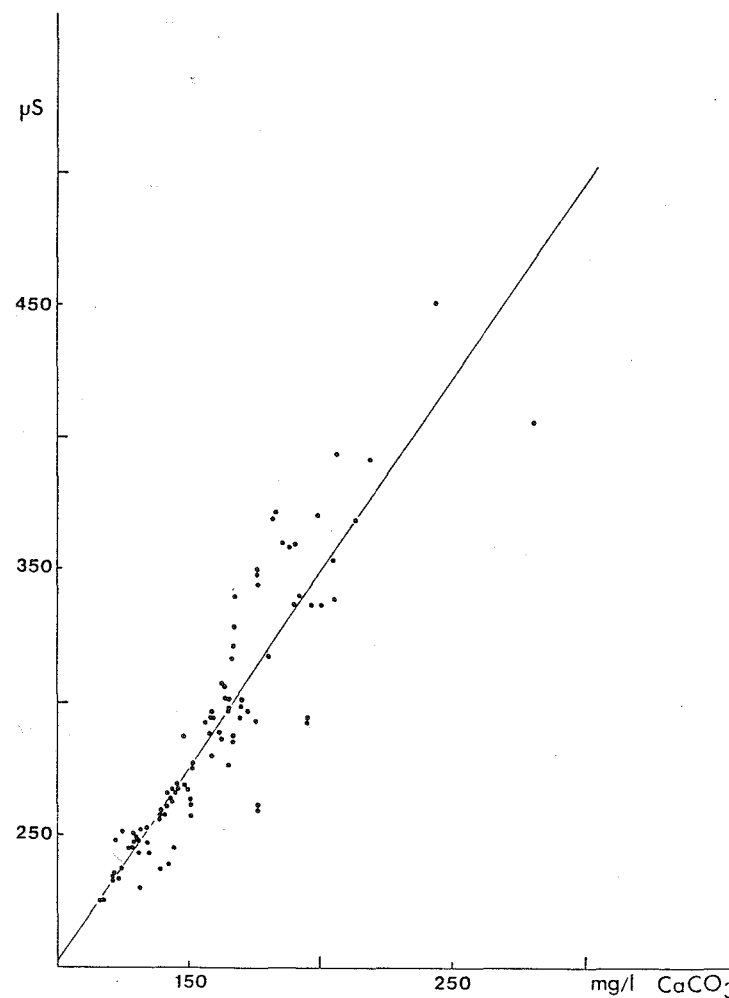


Figure 18 - Relation entre la dureté totale et la conductivité.
 $Conductivité = 1,466 \text{ Dureté Totale} + 55,378$ $N = 98$ et $r = 0,91$
 La dureté totale est exprimée en mg/l $CaCO_3$, la conductivité en $\mu S/cm$ à $20^\circ C$. Les relevés des stations RH et CH sont cumulés.

Conductivité = 1,466 Dureté Totale + 55,378

N = 98 et r = 0,908

La conductivité est donnée en $\mu\text{S}/\text{cm}$ à 20°C et la dureté totale en mg/l de CaCO_3 .

II-2-1-2-2 Relation entre la conductivité et la température

Une étude comparative de la conductivité en fonction de la température de l'eau a été réalisée sur le Rhône à Saint-Benoît (RH) et sur la lône des Chèvres (CH), ainsi que sur le Rhône à Chancy-Pougny (frontière franco-suisse).

Les données obtenues à Chancy-Pougny ont été fournies par le Service d'Hydrobiologie et de Microbiologie des Denrées Alimentaires de l'Institut d'Hygiène à Genève (E. PONGRATZ) et le laboratoire des Eaux des Services Industriels de la ville de Genève (BURKHARD).

Le meilleur ajustement répond à une fonction exponentielle.

CHANCY Conductivité = $332,31 e^{-0,017 t^\circ\text{C}}$
N = 49 et r = 0,748

SAINT-BENOIT Conductivité = $370,06 e^{-0,022 t^\circ\text{C}}$
N = 60 et r = 0,910

Les résultats des corrélations et la figure 19 révèlent :

- 1) un bon ajustement par une fonction exponentielle en raison de perturbations observables aux deux extrémités de la courbe,
- 2) une meilleure corrélation à Saint-Benoît,
- 2) une hausse de la conductivité à l'aval, plus importante en saison froide qu'en été,
- 3) une jonction des courbes lorsque la température est élevée.

Une fonction linéaire pourrait être obtenue en l'absence de perturbations d'ordre hydrologique. La période froide coïncide généralement avec l'étiage du Rhône, période où les apports souterrains sont importants et augmentent les teneurs en bicarbonates de calcium donc la conductivité. La température élevée du fleuve coïncide avec le maximum hydrologique du régime nivo-glaciaire; l'eau du Rhône provient alors principalement du bassin versant lémanique d'où une jonction des courbes vers une valeur approximative de la conductivité correspondant à celle du mélange Rhône lémanique-Arve.

L'influence du lac Léman est d'autant plus importante que l'on se rapproche de son émissaire, or les variations de la conductivité des eaux de surface du réservoir sont dépendantes de la température de l'eau mais surtout de l'activité phytoplanctonique. En conséquence, la conductivité enregistrée à Chancy sera liée davantage à l'impact de processus biologiques hérités du Léman plutôt qu'à des lois purement physiques. Ces phénomènes s'atténuent vers l'aval, probablement par un rééquilibre des teneurs en dioxyde de carbone dissous avec l'air, les processus physiques reprennent leur droit, la corrélation conductivité-température est améliorée.

Les processus hydrologiques sont à l'origine des différences existant entre les stations RH et CH (figure 20). La conductivité des eaux de la lône des Chèvres est légèrement supérieure à celle du Rhône mais les différences entre ces stations, peu importantes, apparaissent préférentiellement pendant la période froide. Elles sont en rapport avec l'étiage de saison froide, responsable de conditions hydrologiques extrêmes dans la lône, milieu dans lequel la perception des écoulements souterrains va alors être possible. On retrouve ainsi, au niveau local, l'enrichissement du fleuve par des eaux à forte conductivité, phénomène observé à l'échelle régionale.

Station CH Conductivité = $402,26 e^{-0,025 t^\circ\text{C}}$
N = 57 et r = 0,842

II-2-1-2-3 Cycle annuel observé dans le Rhône et la lône

La figure 21 rassemble la représentation graphique de l'évolution cyclique des principaux ions (HCO_3^- , Ca^{++} , Mg^{++}) et de la conductivité. L'ensemble de ces paramètres répond aux équilibres carboniques, donc aux effets engendrés par la température. Certains sont affectés par le débit du fleuve, au moins pendant les crues.

La teneur en HCO_3^- , inversement corrélée à la température, est réhaussée pendant les fortes eaux, par les apports jurassiens et périalpins. Au cours des étiages, les teneurs peuvent être également relevées par les écoulements souterrains soutenant le débit du fleuve. Ce phénomène est nettement observable dans la lône des Chèvres où l'écoulement superficiel est alors suffisamment réduit pour que les apports du para-écoulement soient perçus. La lône constitue en quelque sorte un "modèle réduit" du système fluvial. La conductivité dans les stations 1, 2 et 3 (étude 1980-1981, nov. 1984 - tableau I) est révélatrice de cet enrichissement ionique des eaux, progressif de l'amont vers l'aval, par le para-écoulement souterrain au cours des basses eaux.

II- Caractérisation et différenciation physico-chimiques

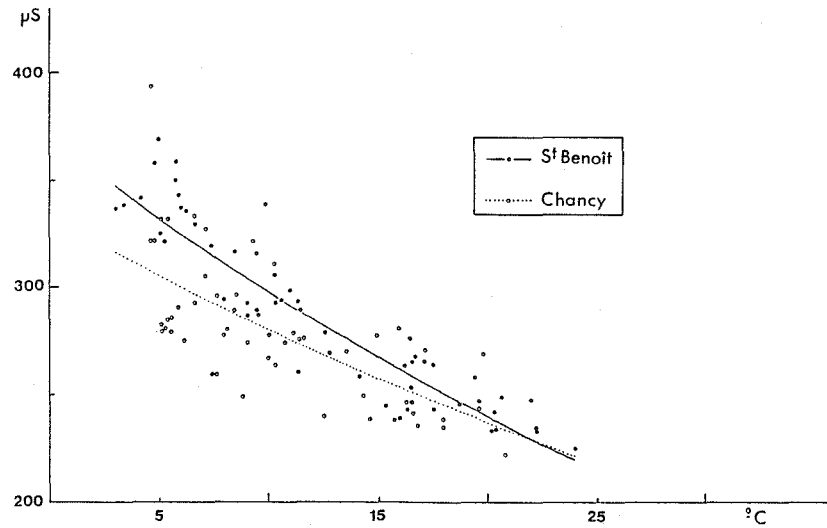


Figure 19 - Relation entre la conductivité et la température de l'eau. Le Rhône à Saint Benoit et à Chancy
 CHANCY Conductivité = $332,31 e^{-0,017 t^{\circ}C}$
 N = 49 et r = 0,748
 SAINT-BENOIT Conductivité = $370,06 e^{-0,022 t^{\circ}C}$
 N = 60 et r = 0,910

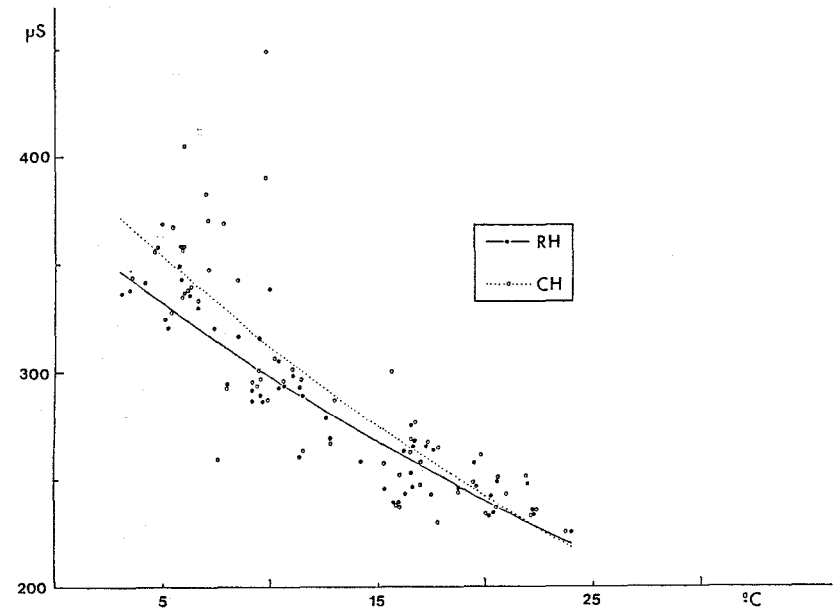


Figure 20 - Relation entre la conductivité et la température de l'eau.
 Stations RH et CH
 Conductivité = $402,26 e^{-0,025 t^{\circ}C}$ N = 57 et r = 0,842

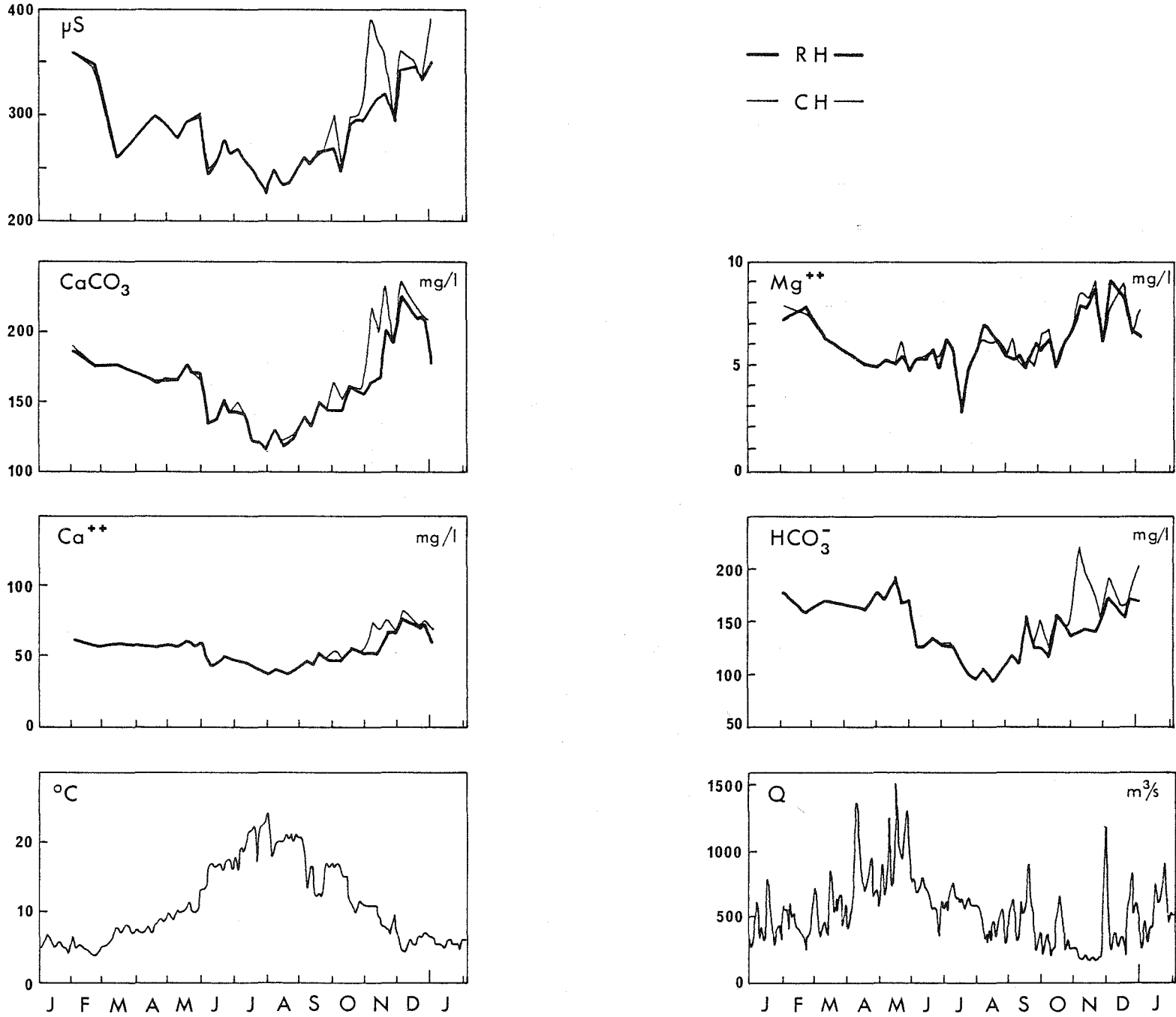
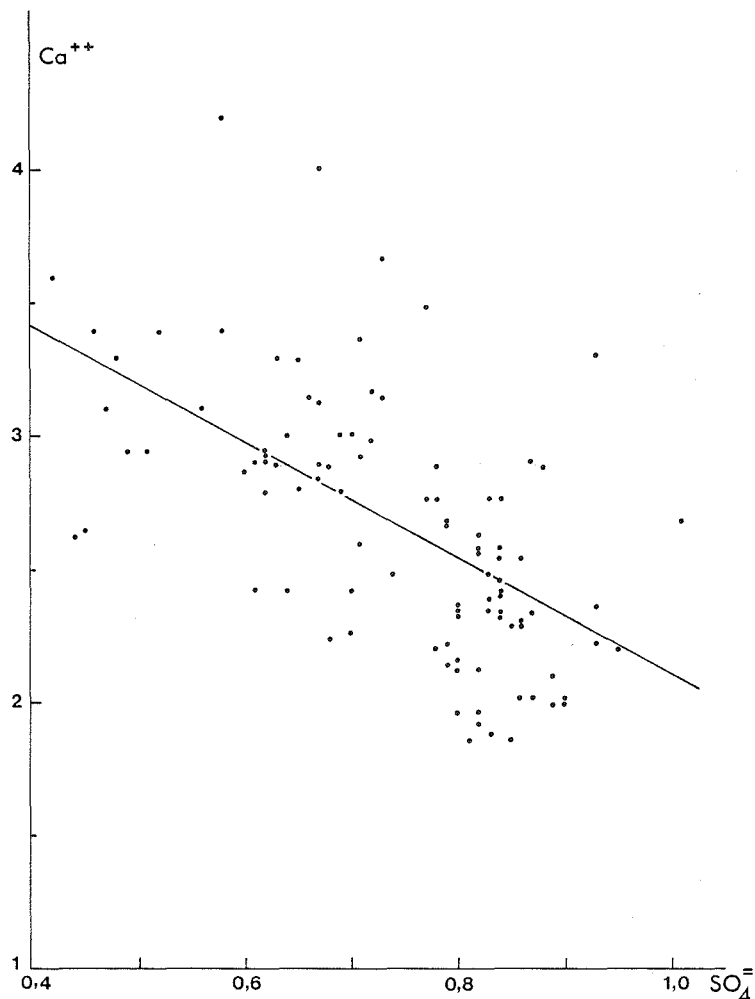


Figure 21 - Evolution des principaux parametres dependant directement du cycle thermique.

Date	Débit moyen	Station 1	Station 2	Station 3
17.02.81	357 m ³ /s	336 μS	405 μS	467 μS
15.11.84	120 m ³ /s	339 μS	450 μS	501 μS



L'influence du débit du fleuve n'est pas perçue sur la teneur en calcium. La corrélation inverse [calcium = f (sulfates)] (figure 22), témoigne de la dualité d'origine des ions calcium et explique l'absence d'un parallélisme rigoureux des courbes représentatives du calcium et des bicarbonates en fonction du temps. La confrontation de deux masses d'eau aux caractéristiques géochimiques différentes : l'une d'origine lémanique (calcium associé aux sulfates et aux bicarbonates), l'autre en provenance des affluents jurassiens et périalpins (calcium principalement trouvé sous la forme de bicarbonates) conduit, pendant les crues, à l'obtention d'une valeur moyenne, intermédiaire entre l'accroissement observé pour les bicarbonates (concentration) et la baisse des sulfates (dilution).

Le magnésium présente un cycle saisonnier nettement moins accentué que celui du calcium. La solubilité meilleure du carbonate de magnésium par rapport à celle du carbonate de calcium, la part importante liée aux sulfates (baisse de la teneur pendant les crues), apparaissent justificatives de l'inflexion modérée de la courbe.

Figure 22 - Relation entre le calcium et les sulfates.

$$Ca^{++}(\text{mM}) = - 2,19 SO_4^{-}(\text{mM}) + 4,28$$

N = 98 et r = - 0,59

II- Caractérisation et différenciation physico-chimiques

II-2-2-1-2-4 Le pH

Le pH résume la stabilité de l'équilibre établi entre les différentes formes de dissociation de l'acide carbonique. Sa variation est faible dans un milieu tamponné comme le Rhône. Le pH moyen (8,0) muni d'un coefficient de variabilité (écart-type / moyenne $\times 100 = 2,5\%$) minime, a été fortement mis en valeur par le facteur 3 de l'analyse (cf. figure 13). La reconstitution graphique s'est attachée aux valeurs les plus basses (pH = 7,6), enregistrées par 3 fois au cours de l'année.

Une baisse hivernale, peu perceptible dans le fleuve, plus nettement dans la lône (figure 23), parallèle à la diminution du débit, montre une fois de plus le rôle tenu par les eaux souterraines au cours des étiages (pH moyen à la station PU = 7,6). Mais les apports souterrains n'apparaissent pas comme l'élément explicatif des valeurs observées et notamment des plus basses. Il suffit, pour s'en convaincre de regarder l'évolution du pH à Chancy-Pougny, dépendante de celle du lac Léman et de l'Arve. Les valeurs les plus basses obtenues à Saint-Benoît suivent d'une part les crues d'avril et de mai (juin 1983), d'autre part les hautes eaux estivales (fin octobre 1983) lorsque les apports par les affluents sont encore faibles et que ceux d'origine glaciaire s'atténuent. Une première approche consistant à valoriser une alimentation souterraine accrue postérieurement à deux épisodes hydrologiques importants (crue printanière et hautes eaux estivales) s'avère inexacte en l'absence d'élévation parallèle des bicarbonates et de la conductivité. Seule, une hausse des concentrations de sulfates (de 30,7 à 38,3 mg/l en juin, de 31,4 à 40,3 mg/l en octobre) permet de suspecter une modification des apports superficiels, en l'occurrence une prédominance des eaux d'origine lacustre (Léman). Or, pendant cette prédominance estivale, le pH n'est jamais tombé au dessous de 8,0. Le pH des eaux superficielles du lac Léman alimentant le Rhône lémanique, est fortement soumis aux fluctuations de l'activité phytoplanctonique (figure 24). Il est généralement inférieur à 8,0 pendant la saison froide et peut rapidement, à la faveur du développement algal, atteindre des valeurs élevées. En conséquence, les valeurs basses du pH des eaux à Saint-Benoît, correspondant aux intersaisons différenciées par les régimes pluviaux et nivo-glaciaires, peuvent être expliquées vraisemblablement par la prépondérance des apports lacustres à pH bas, avant que ne débute l'activité photosynthétique responsable de la hausse du pH, ou postérieurs à cette activité, lorsque le pH est de nouveau retombé.

Le pH à Chancy et à Saint-Benoît résulte des interactions complexes entre les apports : lacustres, périphériques (superficiels et souterrains) et l'activité biologique des réservoirs naturels ou artificiels (retenues de barrage).

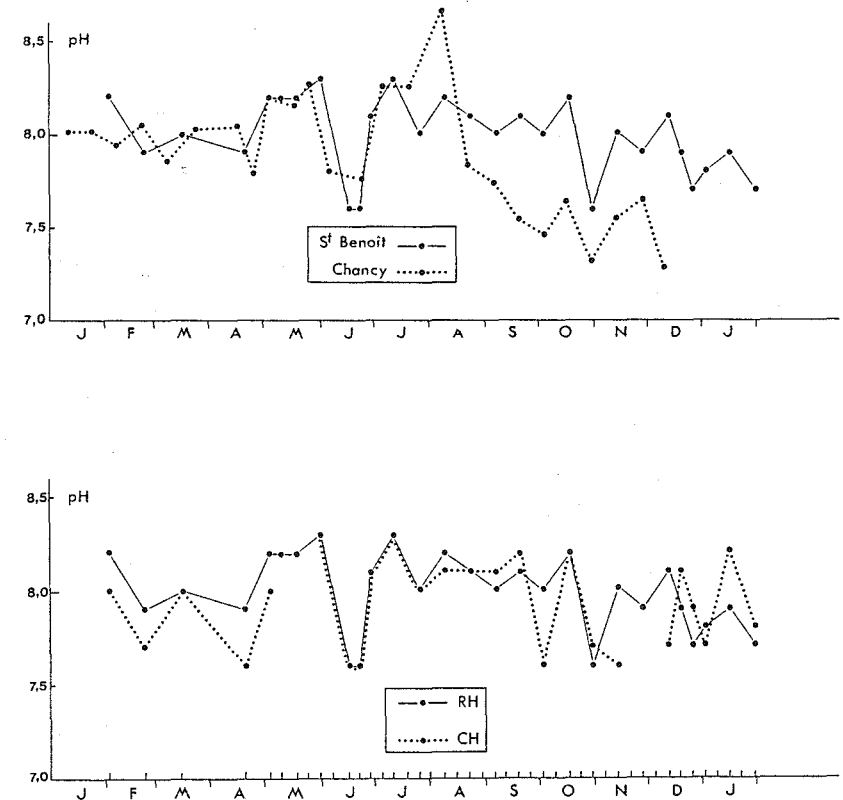


Figure 23 - Evolution du pH dans les stations RH et CH, et dans le Rhône à Chancy-Pougny.

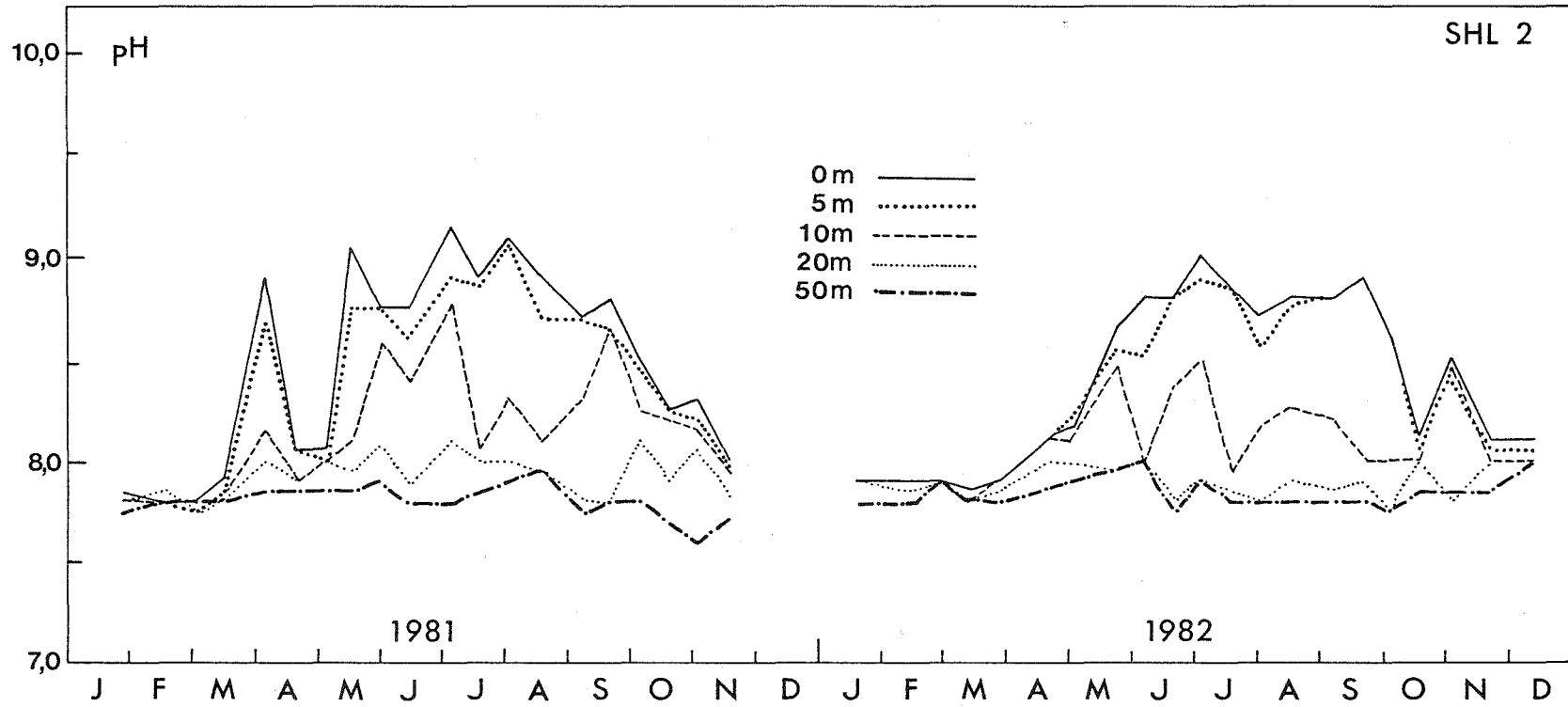


Figure 24 - Evolution du pH dans les eaux superficielles du Léman, en rapport avec l'activité phytoplanctonique. (Données CIPEL, 1984).

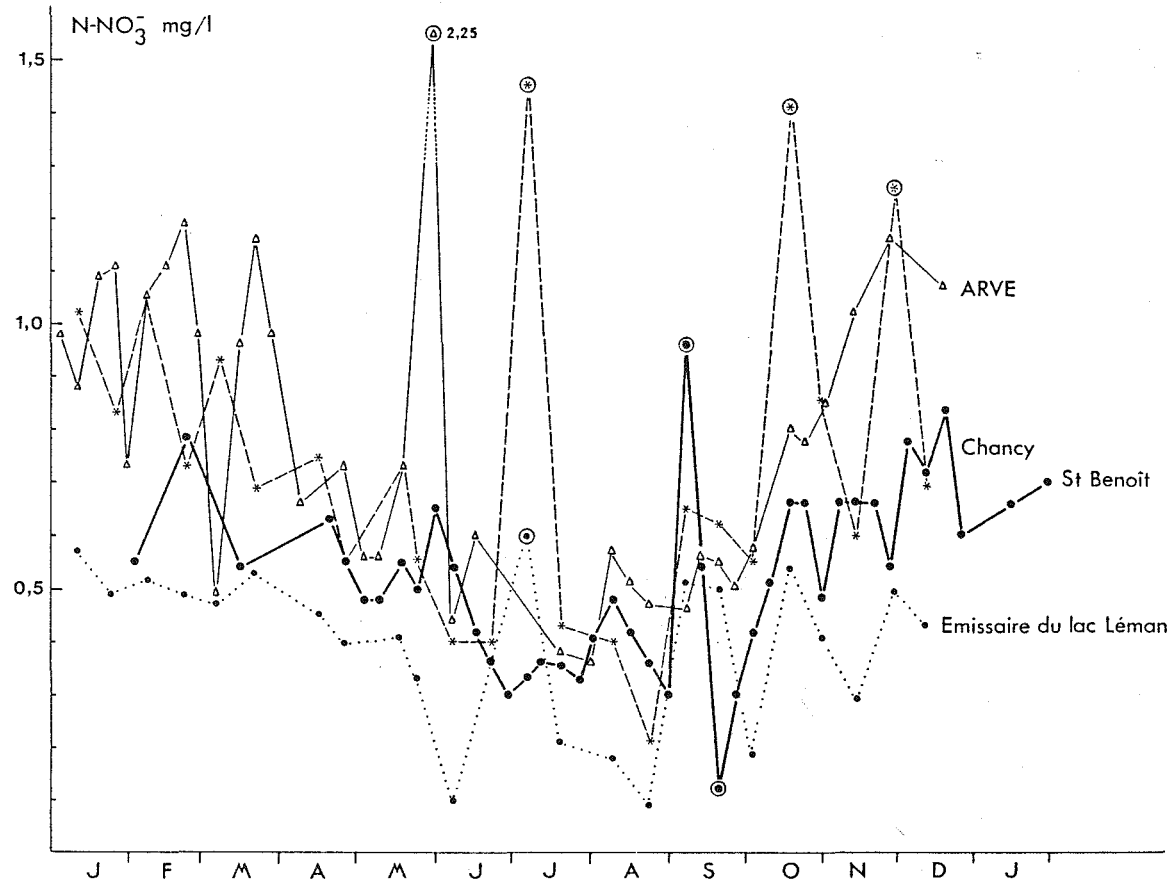


Figure 25 - Evolution de la teneur en N-NO_3^- : du Rhône à l'émissaire du Léman, à Chancy, à Saint Benoît et de l'Arve à Genève.

II-2-2-2 LES NITRATES

L'évolution de la teneur en $N-NO_3^-$ apparaît, au même titre que les ions vus précédemment, soumise au rythme saisonnier. La reconstitution graphique (figure 13) par le premier facteur donne la tendance générale de cette évolution (valeurs basses en été, hautes en hiver). Cette tendance s'observe sur l'ensemble du cours du Rhône. La figure 25 donne l'évolution des teneurs en azote nitrique à l'émissaire du lac Léman, à Chancy après confluence de l'Arve et à Saint Benoît au cours de l'année 1983. L'activité phytoplanctonique au sein des eaux superficielles (figure 26) du lac Léman est à l'origine de la baisse estivale observée à l'émissaire. La courbe présente, à partir du mois de juin, une succession de phases descendantes et ascendantes que l'on peut attribuer aux différentes phases de consommation par les algues puis de relargage postérieur à la mort des cellules par minéralisation. La teneur observée résulte de ces deux phénomènes inversés: la production de matière organique azotée (baisse des concentrations) et la minéralisation de cette matière organique qui restitue les nitrates mobilisés par la matière vivante.

La baisse estivale observée ne répond plus à des lois physico-chimiques mais à une activité biologique parallèle à l'élévation de la température. Cette courbe en dents de scie se retrouve à Chancy, à un niveau supérieur, en raison de l'influence de l'Arve dont les teneurs sont nettement plus élevées. On peut toutefois s'interroger sur l'existence de trois pics particulièrement nets. Ceux-ci ne peuvent être expliqués que par des apports périphériques (affluents) mais les informations que pourraient apporter la courbe des débits moyens journaliers de l'Arve ne permet pas d'apporter d'explication satisfaisante à l'existence de ces fortes valeurs à Chancy. Si l'Arve est pourvoyeur de nitrates, l'agglomération genevoise contribue certainement à cet enrichissement. D'autre part, les précipitations peuvent fort bien lessiver des terrains agricoles et apporter un surplus momentané d'azote nitrique.

L'étude de l'influence de la température de l'eau sur les teneurs en nitrates permet d'appréhender cet enrichissement des eaux fluviales en azote nitrique (figure 27 - année 1983).

L'activité biologique, liée indirectement à la température, induit une corrélation linéaire négative à l'émissaire du lac

$$\text{EMISSAIRE : } N-NO_3^- = -0,021 t^{\circ}C + 0,628$$

$$N = 23 \text{ et } r = -0,850.$$

L'Arve, dans lequel la teneur en $N-NO_3^-$ est soumise d'une part à

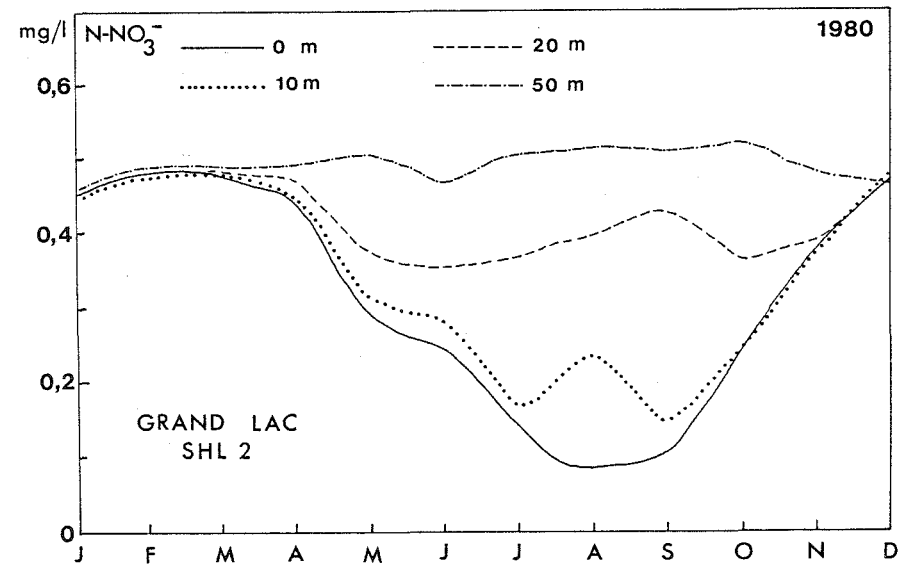


Figure 26 - Evolution annuelle de l'azote nitrique dans les couches superficielles du lac Léman (figure empruntée à MONOD et coll., CIPEL 1984).

II- Caractérisation et différenciation physico-chimiques

l'évolution de la température, d'autre part à celle du débit (corrélé positivement à la température, cf. régime nivo-glaciaire), contribue à une élévation des teneurs à Chancy, plus particulièrement en hiver, pendant les étiages. L'influence de l'hydrologie entraîne une altération de cette droite, le meilleur ajustement devient logarithmique, dès les premiers apports des affluents.

$$\text{ARVE: } \text{N-NO}_3^- = -1,138 \log t^\circ\text{C} + 1,818$$

$$N = 34 \text{ et } r = -0,777.$$

$$\text{CHANCY: } \text{N-NO}_3^- = -0,840 \log t^\circ\text{C} + 1,473$$

$$N = 21 \text{ et } r = -0,847.$$

Si l'influence du lac Léman est très nette en été sur la totalité du Haut-Rhône français pour les différents ions vus précédemment, on ne retrouve pas cette jonction des courbes observée dans les figures 19 et 20 (Evolution de la conductivité avec la température de l'eau). Il est possible de concevoir une consommation moindre du stock de nitrates en milieu courant pendant la période estivale par rapport à celle observée dans un milieu lacustre, ainsi qu'un maintien d'apports estivaux importants malgré l'étiage des affluents à régime pluvial.

La forte charge en N-NO_3^- , caractéristique des eaux phréatiques et du para-écoulement fluvial (moyenne $\text{PU} = 5,3 \text{ mg/l N-NO}_3^-$) au même titre que les sulfates pour les eaux fluviales superficielles, est susceptible d'enrichir le Rhône. Ce processus semble à l'origine de la légère différence existant entre les eaux du Rhône et celles de la lône des Chèvres. Cependant, pendant les étiages sévères, la faiblesse des écoulements dans la lône favorise une consommation importante des nitrates, escamotant ainsi totalement la perception des apports souterrains diffus en N-NO_3^- . Le débit des eaux en provenance de la nappe phréatique et du para-écoulement rhodanien n'apparaît pas suffisant dans ce secteur pour être à l'origine de la hausse des teneurs de l'amont vers l'aval. L'essentiel de l'azote nitrique provient des affluents et des apports organiques liés aux activités riveraines.

L'enrichissement du Rhône en nitrates, de l'amont vers l'aval, est nettement montré sur la figure 28 (données de 1981, Agence de Bassin R.M.C.).

L'ion nitrate, dont l'origine naturelle est à l'heure actuelle plus que discutable, n'apparaît pas comme un bon descripteur du fleuve, au moins à l'échelle régionale. Mais sa sensibilité vis à vis du développement des organismes végétaux conduit à une utilisation préférentielle comme

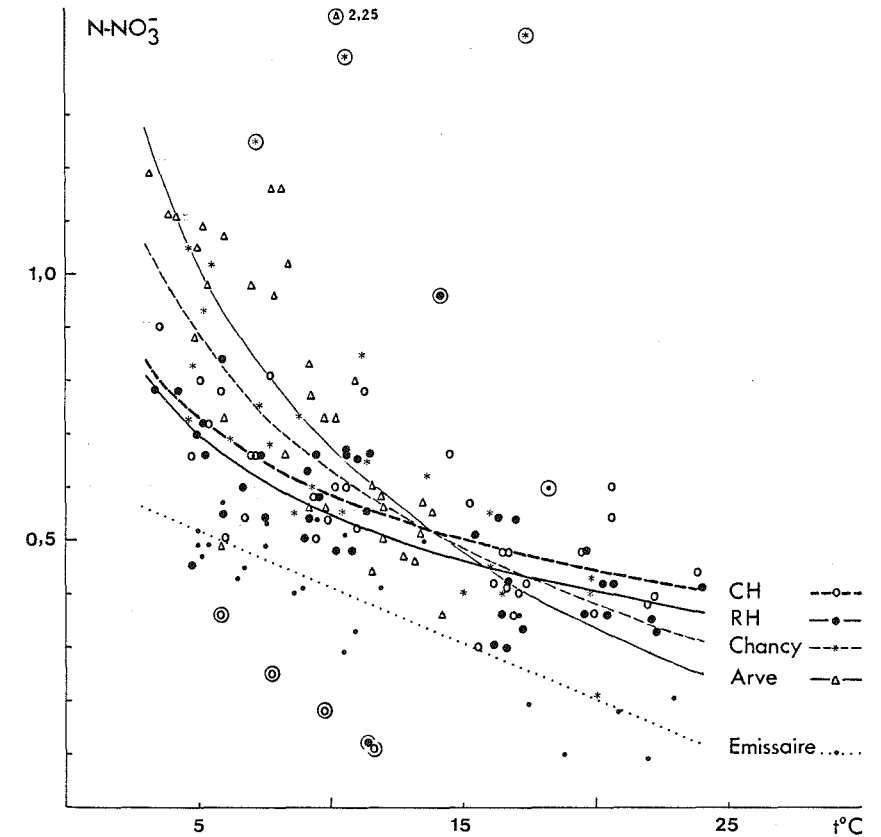


Figure 27 - Relation entre la teneur en N-NO_3^- et la température de l'eau aux stations suivantes : le Rhône à l'émissaire du Léman, à Chancy-Pougny, à Saint Benoit (RH et CH), l'Arve à Genève.
 EMISSAIRE : $\text{N-NO}_3^- = -0,021 t^\circ\text{C} + 0,628$ $N = 23$ et $r = 0,850$.
 ARVE : $\text{N-NO}_3^- = -1,138 \log t^\circ\text{C} + 1,818$ $N = 34$ et $r = 0,777$.
 CHANCY : $\text{N-NO}_3^- = -0,840 \log t^\circ\text{C} + 1,473$ $N = 21$ et $r = 0,847$.
 RH (St BENOIT) : $\text{N-NO}_3^- = -0,499 \log t^\circ\text{C} + 1,048$
 $N = 41$ et $r = 0,795$.
 CH (St BENOIT) : $\text{N-NO}_3^- = -0,483 \log t^\circ\text{C} + 1,070$
 $N = 35$ et $r = 0,749$.

Les données encadrées ont été exclues du calcul. (Origine des données relatives à l'Arve et au Rhône suisse: Service d'Hydrobiologie et de Microbiologie des Denrées Alimentaires de l'Institut d'Hygiène à Genève et laboratoire des Eaux des Services Industriels de la ville de Genève).

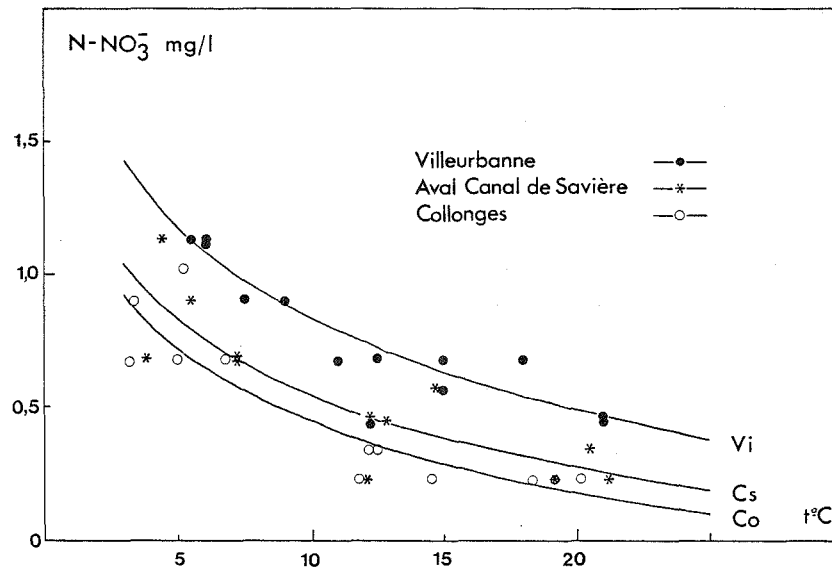


Figure 28 - Relation entre la teneur en N-NO₃⁻ et la température de l'eau aux stations suivantes : le Rhône à Collonges, en aval du canal de Savière et à Villeurbanne.

RHONE (COLLONGES) : $N-NO_3^- = -0,893 \log t^\circ C + 1,343$

N = 12 et r = 0,893.

RHONE (BOURGET) : $N-NO_3^- = -0,922 \log t^\circ C + 1,473$

N = 12 et r = 0,850.

RHONE (VILLEURBANNE) : $N-NO_3^- = -1,132 \log t^\circ C + 1,962$

N = 12 et r = 0,965.

(données 1981, Agence de Bassin R.M.C.).

descripteur comparatif des milieux paléopotamiques définis par le PIREN-Rhône (1982). Le **paléopotamon** est défini comme un milieu créé par les divagations du fleuve mais totalement isolé du lit majeur à l'heure actuelle. La teneur en azote nitrique (N-NO₃⁻) des eaux du paléopotamon va être dépendante de l'alimentation en eaux souterraines (fortement chargées en N-NO₃⁻) dont les flux sont contrôlés par les précipitations et le colmatage du substrat. La teneur des eaux superficielles est alors commandée par la rapidité du renouvellement en eau et la consommation biologique des nitrates.

Nous verrons à l'échelle locale l'intérêt présenté par l'azote nitrique dans l'interprétation des résultats obtenus sur la Morte du Sauget, qui n'appartient toutefois pas au type paléopotamique.

II-2-2-3 LES SULFATES

L'intérêt présenté par les sulfates en tant que descripteurs physico-chimiques du Haut-Rhône a été mis en valeur par les travaux de Juget et coll. en 1976, 1979 et 1982, au cours d'études réalisées sur un ancien méandre du Rhône (la lône des Pêcheurs) en communication avec le fleuve à son extrémité aval. Ces auteurs ont montré l'existence d'un effet lisière engendré par l'interaction des eaux de l'aquifère alluvial (pauvres en sulfates : concentration inférieure à 10 mg/l, riches en bicarbonates de calcium) et du fleuve à réserve alcaline plus faible mais à forte teneur en sulfates. Le suivi des concentrations des ions majeurs de l'eau, dont les sulfates, soumis aux oscillations des flux des masses d'eau en présence, a apporté des informations importantes permettant de visualiser l'origine et l'importance des différents apports (fluviaux, phréatiques, pluviaux,...).

L'ion sulfate a été choisi comme paramètre descripteur de l'hydrologie (ainsi que la conductivité et les nitrates) dans le cadre d'un essai de méthodologie cartographique appliquée à la vallée fluviale du Haut-Rhône (PIREN, 1980 et 1982). Ce descripteur peut être utilisé à des échelles différentes. L'échelle régionale permet l'étude des variations spatiales et temporelles provoquées par les apports successifs des affluents; l'échelle locale permet de visualiser les relations existantes entre les divers compartiments hydriques du fleuve. Ces deux échelles d'investigation sont abordées dans l'analyse et l'interprétation des résultats obtenus dans le Rhône et la lône des Chèvres.

II-2-2-3-1 Origine des sulfates

Les sulfates, forme du soufre dissous la plus répandue dans les eaux naturelles, ont essentiellement deux origines : géochimique et atmosphérique.

L'érosion est le principal agent d'enrichissement des eaux superficielles par dissolution du gypse et accessoirement par oxydation de la matière organique des sols et des sulfures présents dans les roches sédimentaires et cristallines. Le gypse ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) abonde dans les terrains triasiques du bassin versant du Rhône valaisan et de la Dranse (principal affluent du lac Léman après le Rhône). La teneur moyenne du Rhône, Porte du Scex est de 51,3 mg/l, celle de la Dranse: 79,9 mg/l (1976-1980).

Sur le bassin versant du lac Léman, l'érosion emporte 40 g/m²/an de sulfates. Une faible superficie (10 %) du bassin considéré est impliquée dans cet apport (ZAHNER in CIPEL, 1984).

Le Haut-Rhône français est également enrichi en sulfates par ses affluents en aval du lac Léman; mais, seul l'Arve peut contribuer à réhausser les teneurs mesurées à l'émissaire du lac.

La deuxième source importante de sulfates est d'origine atmosphérique. Si la provenance des sulfates par les précipitations peut être liée à une activité volcanique, cette dernière est ridiculement faible en regard de celle résultant des activités humaines, notamment par la combustion des sources d'énergie fossiles. Ces sulfates d'origine anthropique sont trouvés en tout lieu. CHACORNAC (1985) cite des teneurs de 2,5 à 8,0 mg/l dans les eaux de précipitations arrosant le bassin versant du lac du Brévent (2100 m - Vallée de Chamonix - bassin versant de l'Arve). D'autre part, des valeurs enregistrées sur le plateau suisse peuvent parfois atteindre plus de 100 mg/l (ZAHNER, CIPEL, 1984).

Les apports atmosphériques apportent ainsi 6080 tonnes par an en moyenne pluriannuelle 1976-1980 à la surface du Léman (BURKARD et coll. in CIPEL, 1984). Même si cette quantité représente peu de chose face aux seuls apports du Rhône alpestre : 260000 tonnes par an (moyenne 1976-1980)(BURKARD in CIPEL, 1984), ces apports atmosphériques en hausse doivent être connus dans l'établissement de bilans généraux annuels.

Les apports d'origine agricole par le biais du ruissellement ne sont pas quantifiés mais ne sont certainement pas négligeables.

II-2-2-3-2 Evolution des sulfates sur le profil en long de Genève à Saint Benoît

II-2-2-3-2-1 Les concentrations

Le Léman

Le lac agit comme un réservoir tampon de grande capacité et son rôle est déterminant sur la géochimie des eaux de l'exutoire. A l'heure actuelle, la concentration de sulfates dans le lac est de 50 mg/l environ. La valeur de 50,1 mg/l a été relevée au centre du lac le 2 mars 1981 (point SHL2) après brassage hivernal ayant homogénéisé totalement les eaux (CIPEL, 1984, p.577).

Cet effet tampon pourrait conduire à considérer le Rhône lémanique comme muni de caractéristiques géochimiques stables ; seul alors le débit entrerait en ligne de compte dans l'interprétation de l'évolution des concentrations observées à l'aval. Or, la teneur en sulfates

des eaux superficielles varie, principalement selon un cycle saisonnier (ZAHNER, CIPEL, 1984) (figure 29, empruntée à ZAHNER).

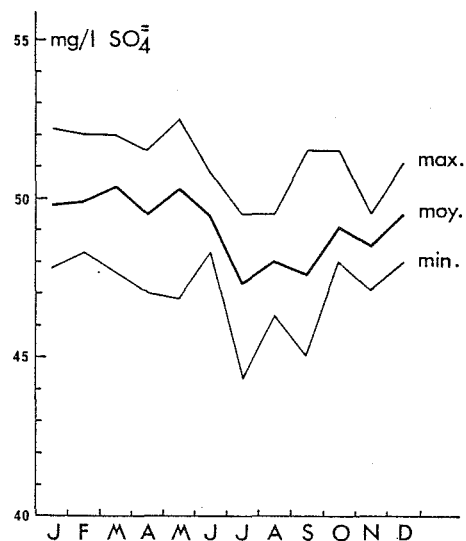


Figure 29 - Evolution saisonnière des sulfates à la surface du Grand Lac en SHL2 (0 m), moyenne interannuelle 1977-1982). Figure empruntée à ZAHNER, CIPEL 1984, p. 195.

Les valeurs les plus basses sont relevées pendant la saison chaude (juillet, août et septembre), les plus hautes en hiver. Ces variations sont mises en relation avec l'activité planctonique et bactérienne (MEYBECK, 1970). Pourtant, les teneurs observées en surface au cours de l'année 1983 semblent peu révélatrices de ces phénomènes mais plutôt de l'abondance des précipitations atteignant la surface du lac, voire de l'influence des apports en eau par les affluents du lac. Les concentrations redeviennent proches de 50 mg/l, valeur trouvée dans l'hypolimnion, lorsque l'atténuation de la stratification thermique permet un brassage partiel ou total des eaux.

La faible profondeur relative du Petit Lac, la stratification thermique font que le Rhône lémanique présente les caractéristiques ioniques de l'épilimnion (MEYBECK, 1970).

Malgré l'existence d'une oscillation des teneurs en sulfates non encore expliquée, la faible amplitude des variations observées permet de

prendre la valeur de 50 mg/l comme référence annuelle à l'exutoire du Léman.

La concentration observée à Genève, avant confluence de l'Arve, est donc similaire à celle observée à la surface du lac. La figure 30 donne la variation moyenne des sulfates dans la zone trophogène du Petit Lac (0-20m) en 1983 (tableau VI). Cette moyenne intègre à la fois la dilution des eaux de surface par les précipitations et l'activité biologique de l'épilimnion.

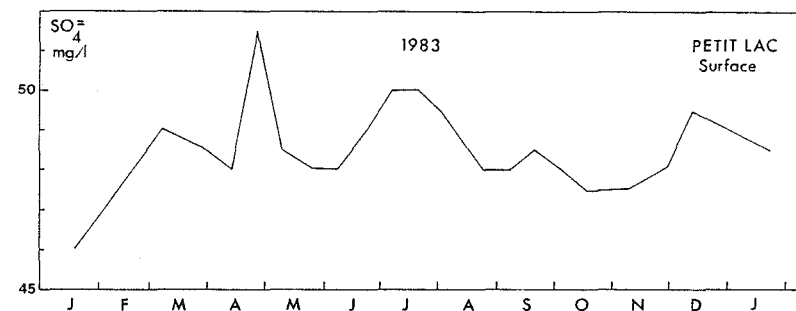


Figure 30 - Evolution saisonnière des sulfates à la surface du Petit Lac (1983). Données fournies par la station I.N.R.A. de Thonon.

Le Rhône à Chancy-Pougny

Le Rhône lémanique ($Q = 244 \text{ m}^3/\text{s}$) reçoit l'Arve à Genève. Cet affluent important ($Q = 78,8 \text{ m}^3/\text{s}$) est riche en sulfates. La variation de la concentration est sous la dépendance du débit ($r = -0,87$ pour $N=62$) (figure 31). L'oscillation des teneurs engendrée par celle du débit est considérable par rapport à celle constatée à la surface du lac Léman.

Variations des sulfates dans l'Arve à Genève

Données du Service des eaux de la ville de Genève

Année	Moyenne	Maxima	Minima
1981	48,7	88,3	24,6
1982	50,1	86,3	22,3
1983	48,1	87,9	22,8

II- Caractérisation et différenciation physico-chimiques

L'évolution annuelle (calculée pour les débits moyens mensuels de l'année de référence) des sulfates dans l'Arve (figure 33, tableau VII) est due au régime nivo-pluvial de l'Arve caractérisé par des hautes eaux estivales (d'où une baisse des sulfates par dilution) et une prédominance des étiages en saison froide parallèlement à ceux du Rhône lémanique (hausse des sulfates). Le débit de l'Arve va ainsi conditionner les teneurs en sulfates mesurées en aval de la confluence Rhône-Arve. L'étude du mélange des eaux se réfère à des dosages effectués par le Service des eaux de la ville de Genève, à Chancy-Pougny (frontière franco-suisse) au cours des années 1979, 1980, 1981 et 1982. La corrélation sulfates-débit calculée pour les eaux fluviales ($r=-0,62$, $N=138$) (figure 31) est moins bonne que celle obtenue sur l'Arve, en raison des interférences lacustres discutées précédemment.

La résultante des deux contributions (figure 33, tableau VII) montre que les concentrations de sulfates sont minimales pendant les mois de juin et juillet, les maxims se situent en novembre, décembre et janvier, pendant les étiages du Rhône lémanique et de l'Arve. En hiver, dans le Léman après brassage des eaux, les concentrations de sulfates sont maximales ; le débit de l'Arve est faible, les concentrations y sont élevées. La résultante en est l'obtention de fortes valeurs après la confluence (figure 32), valeurs excédant parfois 50 mg/l (limite "théorique" si le lac Léman avait été le seul pourvoyeur en sulfates du Haut-Rhône français). Dès la première confluence, l'évolution des sulfates est déjà sous la dépendance du débit de l'affluent; les concentrations tendent vers un tracé inverse de celui du débit. Ce phénomène va s'accroître vers l'aval en l'absence d'apports importants de sulfates.

Le Rhône à Saint Benoît

De Chancy à St Benoît, le Rhône reçoit une multitude d'affluents moins chargés en sulfates. Le régime pluvio-nival de ces affluents, opposé à celui nivo-glaciaire du Rhône amont, entraîne une dilution des eaux d'où une baisse sensible des sulfates à l'aval : 36,1 mg/l (teneur moyenne à Chancy : environ 43 mg/l). Lorsque les affluents périalpins et jurassiens ne sont pas en crue (période de fortes dilutions dont le mois de mai 1983 constitue un bon exemple, figure 33, tableau VII), les variations observées à Chancy se retrouvent à l'aval. L'écart des concentrations va s'atténuer pendant l'été lorsque les rivières à régime pluvial seront au plus bas et que le Rhône glaciaire assure le maintien des débits. La corrélation SO_4 /débit du Rhône à Saint Benoît est meilleure suite à une nette augmentation des apports d'origine pluviale. L'effet "Léman" est estompé car les variations créées par les apports latéraux sont prédominantes.

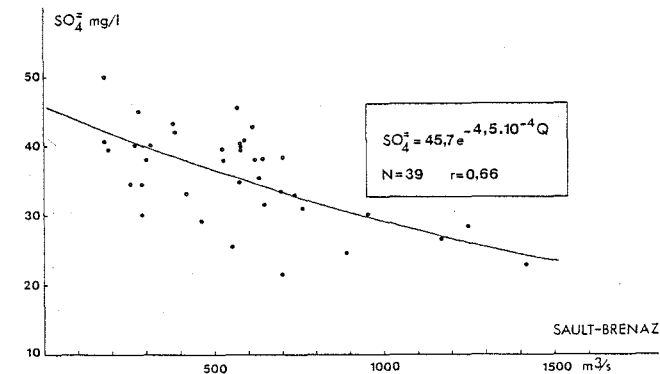
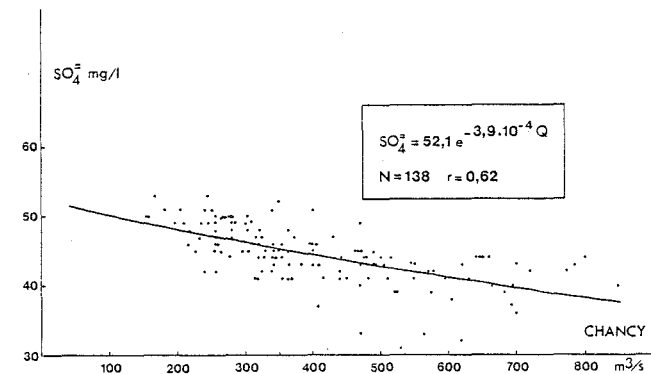
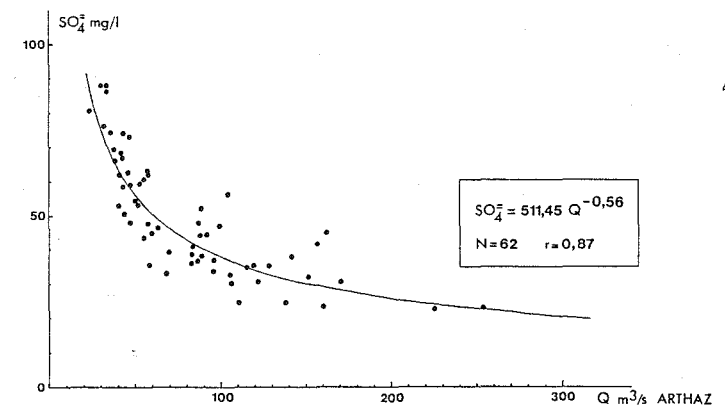


Figure 31 - Relation $[SO_4] = f(Q)$: l'Arve à Genève, le Rhône à Chancy et à Sault-Brenaz.

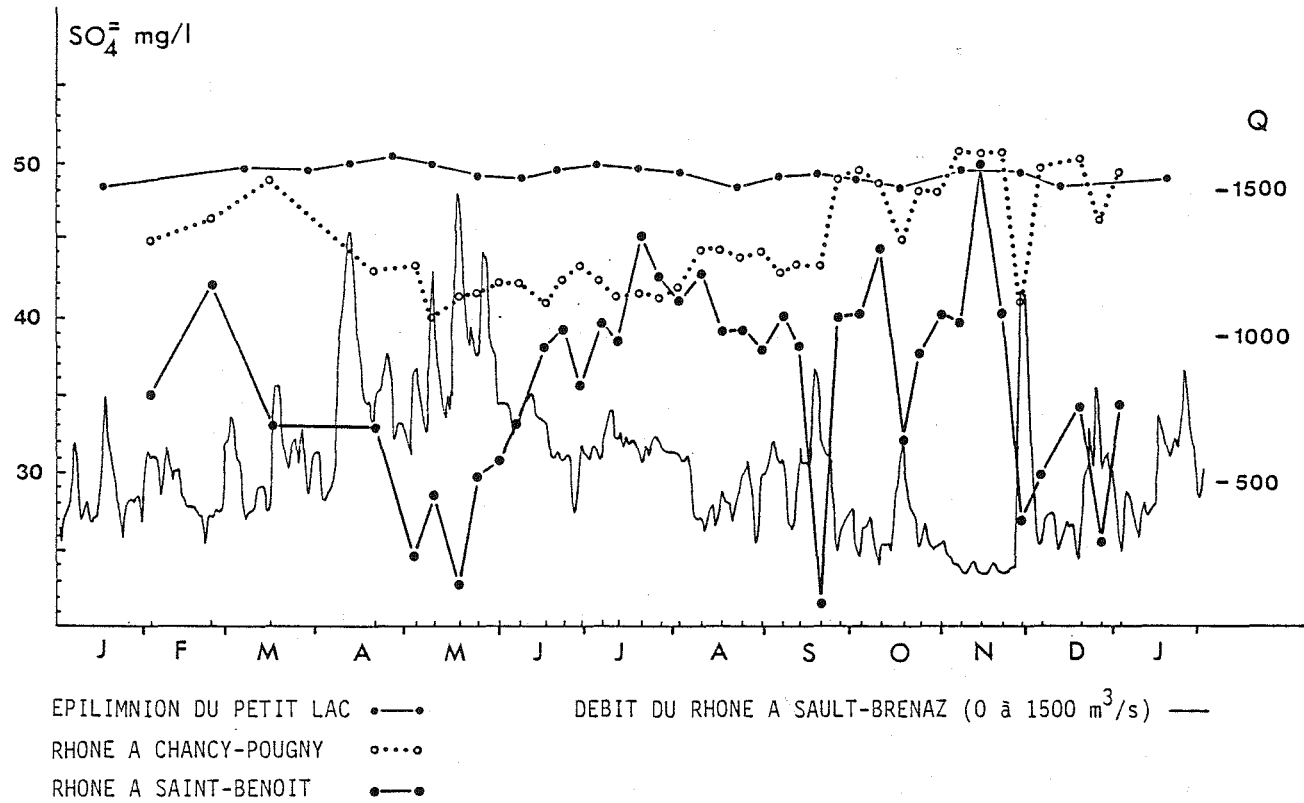


Figure 32 - Evolution des sulfates dans le Rhône à Chancy-Pougny et à Saint Benoit.

Les teneurs indiquées à Chancy-Pougny ont été calculées pour le débit moyen journalier du jour précédent l'échantillonnage à Saint Benoit (J-1).

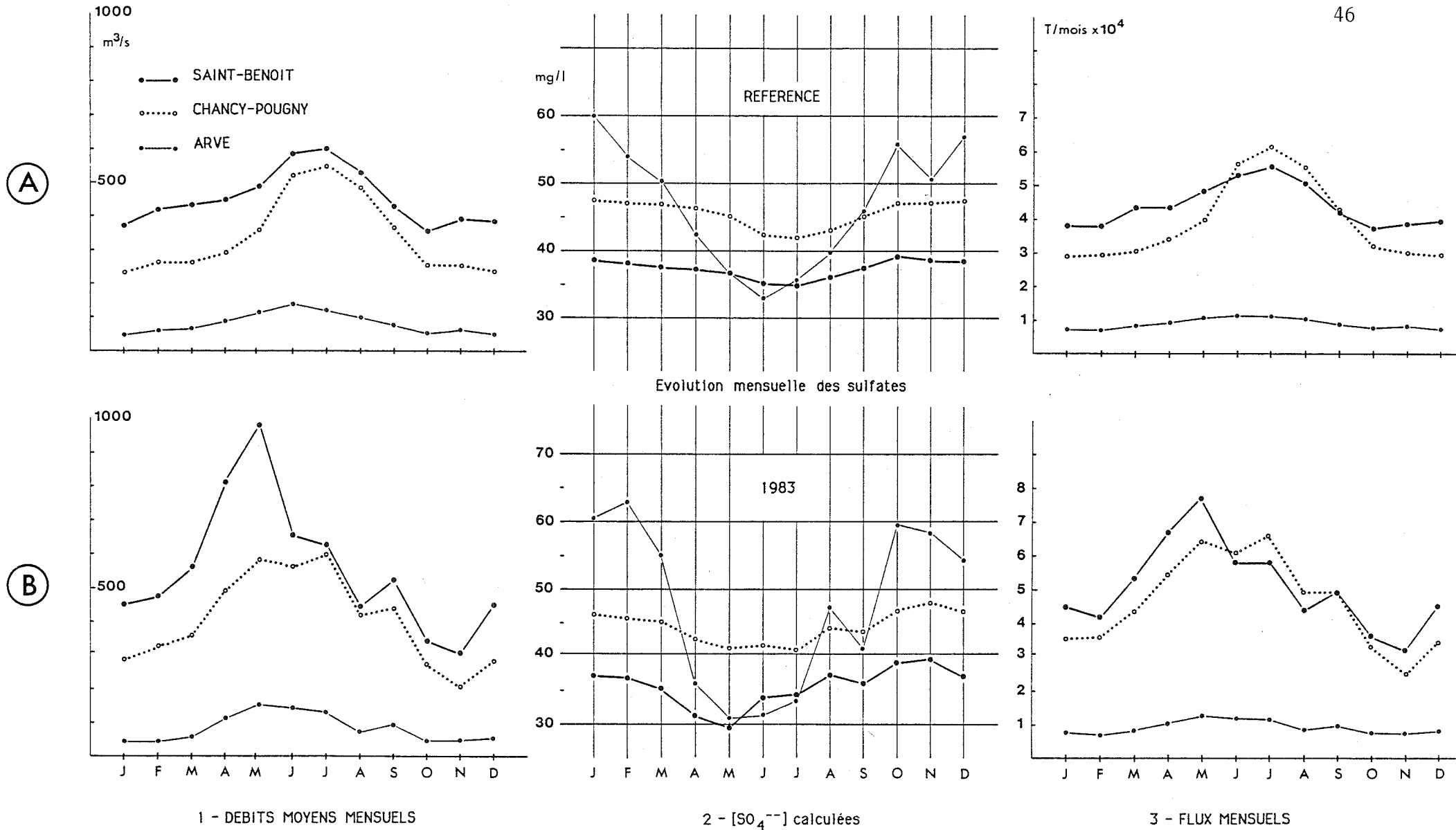


Figure 33 - Evolution mensuelle des sulfates :
 A - calculés pour les débits de l'année de référence
 (1925-1983 à Chancy, 1920-1983 à Sault-Brenaz)
 B - calculés pour les débits de l'année 1983
 1 - les débits moyens mensuels
 2 - les concentrations calculées pour le débit (1)
 3 - les flux mensuels.

Le tableau VIII donne les teneurs moyennes de sulfates dans quelques uns des principaux affluents du Rhône, entre Genève et Lyon (données de l'Agence de Bassin Rhône-Méditerranée-Corse).

II-2-2-3-2-2 Les flux de sulfates

L'étude des flux utilise les relations mathématiques établies entre la concentration et le débit [$C = f(Q)$]. Ces équations, pouvant être utilisées en raison de la mesure en continu des débits du Rhône, permettent d'avoir la concentration en sulfates pour un débit donné (moyen journalier, mensuel ou annuel) à partir desquels sont obtenus les flux selon $F = f(Q) \times Q$. Les flux sont exprimés en tonnes par jour, par mois ou année.

L'évolution mensuelle des flux a été représentée sur la figure 33 (tableau VII). Elle fait apparaître, d'une part les apports des affluents, d'autre part des flux de sulfates à Saint Benoît inférieurs à ceux de Chancy, pendant les mois de juin, juillet et août (référence) voire septembre en plus pour 1983. Dans un cadre purement théorique, une absence totale d'apports estivaux par les affluents entre Chancy et Saint Benoît conduirait à la superposition des courbes; or, les écoulements même minimes des affluents pendant l'été participent à des apports ioniques et ces derniers ne sont plus observables.

Deux explications peuvent être données à ce déficit:

- le nombre croissant de retenues sur le Haut-Rhône a augmenté le temps de transit des eaux et la profondeur relative du chenal; la température de l'eau en été, favorable au développement des organismes, peut entraîner une anaérobiose du milieu aquatique; la conjonction de ces diverses conditions est optimale pour contribuer à une biodégradation des sulfates;

- l'existence d'un déficit en eau (remarqué lorsqu'on soustrait le débit de Bognes à celui de Sault-Brénaz - figure 34) répété plusieurs jours de suite (excluant la seule mise en cause des stockages et déstockages des barrages) au cours de l'été permet d'envisager un remplissage par les eaux superficielles du Rhône des nappes environnantes. En effet, ces dernières sont fortement sollicitées par la production végétale et leurs remplissages par les affluents à régime pluvial n'est alors pas possible; on peut donc considérer que le Rhône (au plus haut par ses apports glaciaires) joue ce rôle au sein de la vallée alluviale.

La figure 35, relative aux flux calculés à Chancy et à Saint Benoît, permet de résumer l'ensemble des phénomènes hydrologiques

responsables de l'évolution des sulfates entre ces deux points. Si les apports de sulfates dépendaient exclusivement du système LEMAN-ARVE (et en l'absence de pertes d'amont en aval), la similarité des flux observés aux différentes dates et dans les deux stations conduirait à un alignement des points selon une droite de pente 1. Cette situation est pratiquement trouvée lorsque le débit du Rhône genevois (émissaire+Arve) est prédominant sur celui des affluents périphériques (nuage de points central). Il s'agit essentiellement de la période estivale lorsque le régime nivo-glaciaire prend le pas sur le régime pluvial. Dès que les débits des affluents périalpins et jurassiens augmentent de nouveau par le biais des précipitations, les flux redeviennent nettement différents et supérieurs à l'aval. Ceci se produit, soit au cours des crues (nuage de points supérieur) affectant le bassin versant des affluents précités ou la totalité du bassin versant du Haut-Rhône, soit pendant les étiages du Rhône genevois (nuage de points inférieur). La coincidence des étiages du Rhône nivo-glaciaire et de ses affluents entraîne le même phénomène et non un rattachement des observations au noyau central; ce, pour les raisons suivantes:

1) les affluents sont en basses eaux, les concentrations de sulfates y sont donc maximales (dilution moindre), en conséquence les flux peuvent fort bien être aussi élevés qu'en hautes eaux: la teneur compense la faiblesse du débit;

2) le régime du Rhône est soutenu par sa nappe alluviale et son sous-écoulement qu'il a lui-même rempli pendant l'été; les eaux interstitielles environnantes, soumises aux fluctuations du fleuve, sont encore fortement chargées en sulfates: des valeurs comprises entre 25 mg/l et 30 mg/l ont été relevées dans la station PU pendant les mois d'octobre, novembre et la première quinzaine de décembre.

Remarque: le phénomène d'enrichissement en sulfates est possible dans ce secteur car le Rhône y est en phase d'exhaussement de son lit (BRAVARD, 1982); un débit du fleuve important influence alors grandement le milieu souterrain environnant par débordement. Ceci n'existe pas dans le secteur de Jons où le lit en phase de surcreusement favorise le drainage des nappes phréatiques environnantes soumises aux précipitations pluviales et peu chargées en sulfates. En conséquence, pendant les étiages du Rhône à Jons, les concentrations vont baisser sensiblement dans le fleuve (REYGROBELLET, com. pers.).

3) le Rhône lémanique est fortement chargé.

Les effets synergiques de ces trois phénomènes contribuent donc à l'aval, à l'obtention de flux de sulfates nettement supérieurs à ceux de

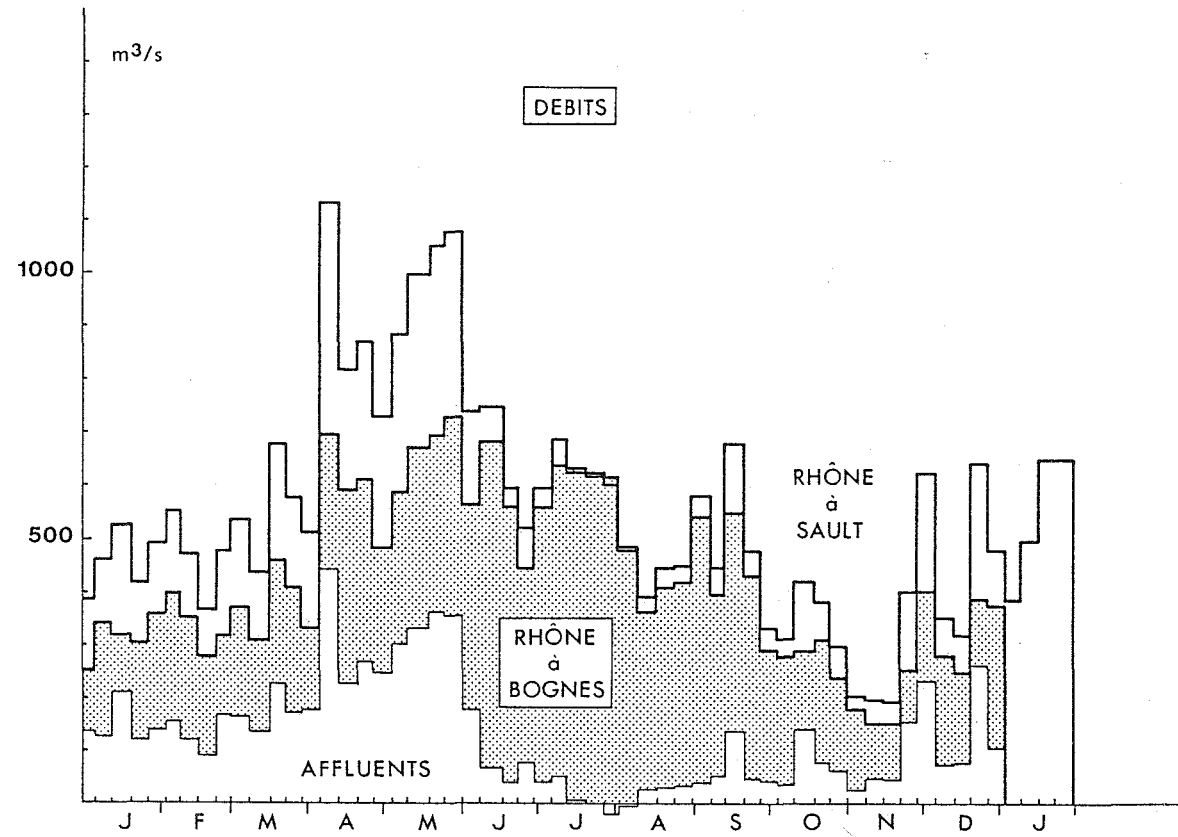


Figure 34 - Les débits moyens journaliers du Rhône à Sault-Brenaz en 1983 et celui des affluents entre Bognes et Sault-Brenaz [obtenus par différence $Q_{\text{Sault}}(J) - Q_{\text{Bognes}}(J-1)$].

l'amont malgré l'existence d'une prédominance des débits issus du Rhône supérieur, au même titre que pendant les hautes eaux estivales.

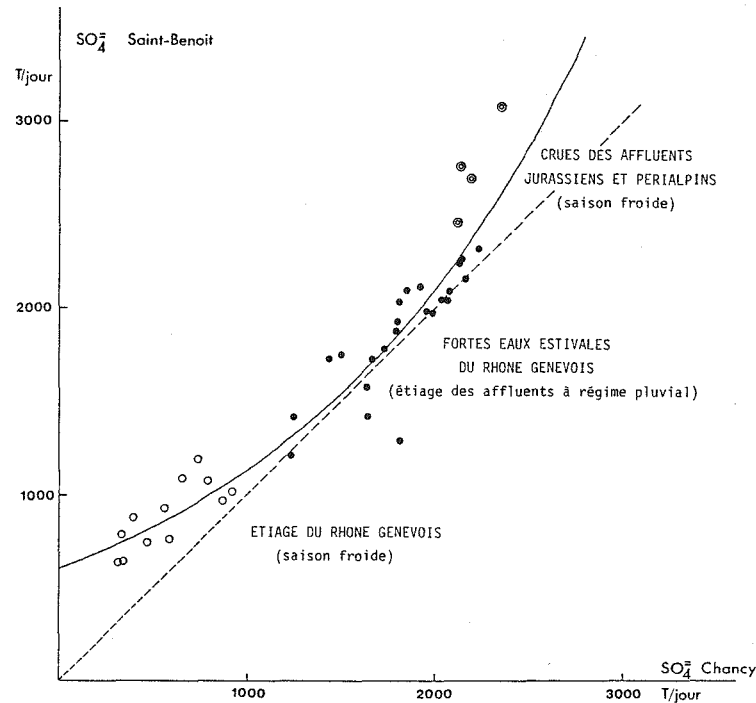


Figure 35 - Relation entre les flux estimés à Chancy-Pougny et à Saint-Benoit.

II-2-2-3-3 Evolution des sulfates à l'échelle locale

La distance entre les deux points de prélèvement (RH) et (CH) n'est pas suffisante pour observer des différences significatives des concentrations (tableaux II et III). Si, au cours des étiages, les apports en eau par le para-écoulement du fleuve sont très bien perçus grâce aux ions existant à des concentrations très différentes entre les deux milieux (par exemple : les bicarbonates), les teneurs en sulfates ne sont pas suffisamment contrastées pour permettre d'enregistrer une baisse sur une aussi petite distance (250 m environ). Les études réalisées en 1980-1981 et novembre 1984 sur la totalité de la lône ont montré toutefois des variations intéressantes. Les six stations choisies ont permis d'appréhender une évolution spatiale par rapport au débit du fleuve, ainsi que le rôle joué par

les affluents dont les effets cumulés conduisent rigoureusement aux transformations physico-chimiques du milieu discutées précédemment.

Au cours des étiages prononcés et prolongés supprimant l'écoulement des eaux sur la quasi-totalité du bras, les sulfates baissent progressivement d'amont en aval, même dans le tronçon non soumis aux confluences des affluents.

Le tableau suivant donne les valeurs obtenues aux six points de prélèvement pour des débits inférieurs au module ($Q < 450 \text{ m}^3/\text{s}$). Il est probable qu'à la date du 15 novembre 1984, les sulfates aient été, en sus de la dilution, consommés par l'activité biologique du sédiment (celui-ci était constitué essentiellement par des limons fins déposés pendant la vidange de juin 1984).

DATE	DEBIT	1	2	3	5	6	4
24 novembre 1980	267 m^3/s	27	28	24	17	9	28
19 janvier 1981	417 m^3/s	22	20	19	12	7,5	18
15 novembre 1984	120 m^3/s	37	32	29	27	13	35

Ces résultats montrent :

- l'enrichissement progressif de la lône par le para-écoulement du fleuve,
- l'enrichissement probable de l'Huert par cette même nappe fluviale de par sa position géographique,
- le rôle joué par les affluents moins riches en sulfates que le Rhône.

On retrouve ainsi sur une courte distance l'ensemble des flux du réseau fluvial susceptibles d'intervenir sur les caractéristiques géochimiques du Rhône. Les sulfates, en raison d'une faible consommation biologique dans un milieu courant et bien oxygéné, en l'absence de modifications des teneurs par des processus physiques (tels que ceux qui gèrent les ions dépendant des équilibres calco-carboniques) ou biologiques (évolution de l'azote nitrique) apparaissent ainsi comme le meilleur descripteur étudié du Haut-Rhône français.

II-2-3 LES MATIERES EN SUSPENSION

Les matières en suspension sont, à l'heure actuelle, responsables d'un des problèmes majeurs du Haut-Rhône français. Ces derniers sont une conséquence de la profonde modification du transit longitudinal des matières minérales et organiques par suite de l'aménagement hydro-électrique du fleuve. Les M.E.S. s'accumulent dans chaque retenue et sont remises en suspension à la faveur d'épisodes hydrologiques naturels (crues) ou artificiels (vidange triannuelle des barrages de Verbois et de Chancy-Pougny, vidange décennale de Génissiat). Ces vidanges sont rendues obligatoires en raison des apports minéraux importants de l'Arve.

Teneurs en M.E.S. (mg/l) de l'Arve à Genève

Année	Moyenne	Max.	Min.
1983	129,92	666,24	3,84
1982	90,50	448,35	5,40
1981	151,32	911,80	5,17

Le tonnage moyen annuel des dépôts fins sédimentant dans les retenues de Verbois et Chancy-Pougny est estimé à 450 000 tonnes (données C.N.R.). On imagine aisément le résultat d'une chasse triannuelle où il est souhaité une évacuation maximale des 1 350 000 tonnes de sédiments fins pendant un temps très court (1 semaine environ).

Depuis la construction de ces ouvrages, les teneurs en M.E.S. ont nettement baissé sur la totalité du cours inférieur. PARDE (1925) cite des mesures faites à Lyon en 1844 par la Commission Hydrométrique de Lyon. La teneur moyenne était de 141 mg/l, soit pour un module annuel de 567 m³/s, un flux annuel de 2 500 000 tonnes. Ce même auteur considère qu'en l'absence de fortes crues au cours de l'année 1844, la valeur moyenne annuelle de 3 000 000 tonnes environ peut être retenue. En effet, lors de la crue du 26 octobre 1841, le Rhône roulait 1250 mg/l pour un débit de 3000 m³/s.

Ces valeurs sont considérables en regard de celles données par CELLOT et BOURNAUD (1984), qui annoncent 400 000 tonnes/an pour une année hydrologique moyenne à l'amont immédiat de Lyon (Q = 590 m³/s à Saint Clair). BERLY (com. pers.) donne, pour le Rhône à Jons, un flux de 400000 tonnes en 1982 (débit moyen = 646 m³/s). Ce calcul, réalisé à partir de données journalières, peut être considéré comme une meilleure estimation en regard de celle obtenue à partir d'une équation. Il intègre les teneurs élevées, éliminées dans le calcul de la courbe d'ajustement.

Malgré les erreurs qui peuvent accompagner ces estimations, l'écart est suffisamment explicite de la rétention minérale par les barrages,

établis sur la totalité du bassin versant.

Les M.E.S. et les paramètres associés (Matières Organiques Particulaires ou M.O.P. obtenues par perte au feu, et la transparence au disque de Secchi) ont été fidèlement reconstitués par le facteur 2 de l'Analyse (figure 13), représentatif du débit du fleuve. Ils apparaissent donc comme des descripteurs hydrologiques. Toutefois, ils présentent l'inconvénient majeur d'être fortement perturbés par l'existence des retenues; beaucoup plus qu'un élément en solution " pratiquement inerte en milieu courant " tel que l'ion sulfate. Les mesures réalisées à Saint Benoit vont donc donner des informations sur le caractère hydrologique du Haut-Rhône après le barrage de Génissiat.

L'intérêt principal des M.E.S. réside dans l'intégration totale des caractéristiques hydrologiques du fleuve : le débit au moment de l'échantillonnage, la provenance des eaux, et surtout la séquence hydrologique qui a précédé la mesure (étiages, crues, eaux moyennes,...). L'étude de la provenance des eaux nécessite une connaissance de la composition minéralogique des suspensions (DECAMPS et CASANOVA-BATUT - 1978). On signalera qu'en l'absence de critères scientifiques, les riverains ont été pendant longtemps à même de définir l'origine principale des eaux à partir de la coloration du Rhône par les suspensions.

A partir des matières en suspension, il est possible d'obtenir par perte au feu la teneur en M.O.P.. Cette méthode peut, lorsque les M.E.S. sont élevées, majorer sensiblement les résultats en raison d'une perte de l'eau de constitution des argiles.

La transparence de l'eau est une fonction inverse de la quantité de M.E.S.. Elle est mesurée à l'aide d'une technique simple, très parlante : la méthode de Secchi. L'immersion d'un disque, muni de plages alternées blanches et noires, jusqu'à sa disparition à la vue de l'expérimentateur, donne une profondeur qui sera notée comme valeur de la transparence. Cette technique, utilisée en milieu lacustre où elle intègre la couleur et la turbidité créées par les suspensions organiques (phytoplancton), peut fort bien être utilisée en milieu fluvial où la profondeur et la turbidité sont suffisantes pour garantir l'obtention d'une valeur. Mais la transparence des eaux fluviales dans le chenal principal est, à la différence des eaux stagnantes, dépendante des matières minérales qui prédominent largement dans un système lotique, du nombre de particules et de leur taille.

II-2-3-1 LES MATIERES EN SUSPENSION (M.E.S.)

La teneur des M.E.S. des eaux fluviales est fortement dépendante des crues. Chaque augmentation de débit se traduit par une élévation simultanée des M.E.S., mais la valeur mesurée est liée aux épisodes hydrologiques précédant le prélèvement. La figure 36 est parfaitement démonstrative de cet aspect. Un débit élevé n'implique pas forcément une valeur maximale des M.E.S.. Le tableau suivant permet de s'en rendre immédiatement compte.

Date	Débit	M.E.S.
18 05 1983	1419	98,0 mg/l
19 09 1983	698	89,4 mg/l
18 10 1983	652	93,6 mg/l
28 11 1983	1169	258,3 mg/l
16 01 1984	684	64,4 mg/l

La charge en suspension observée va être fonction de plusieurs critères :

- 1) moment de la mesure dans le profil de la crue (phase ascendante, plateau, phase descendante),
- 2) situation de cette crue au sein de l'hydrogramme (un ou plusieurs pics successifs, précédée ou non par une période de basses eaux....),
- 3) provenance des eaux (crue de la totalité des affluents du bassin versant, crue d'un seul affluent....),
- 4) rétention ou non des eaux par les barrages.

La première augmentation notable du débit après un épisode de relative stabilité du débit se traduit par une charge en suspension importante. C'est le cas observé pour les crues de septembre, octobre, novembre 1983 et janvier 1984.

Une succession rapide de pics entraîne une baisse progressive des teneurs depuis la première phase ascendante jusqu'à la dernière, selon l'effet d'épuisement (**exhaustion effect**)(GOLTERMAN et coll., p.84,1983). La crue des mois d'avril et de mai constitue un exemple type de cette succession, au cours de laquelle les teneurs en M.E.S. ont diminué à chaque crue par baisse des quantités de matériaux transportables.

La teneur exceptionnelle relevée le 28 novembre 1983 a été reconstituée par le facteur 5 de l'analyse, reflet d'un phénomène hydrologique à caractère exceptionnel. Bien qu'elle puisse être considérée

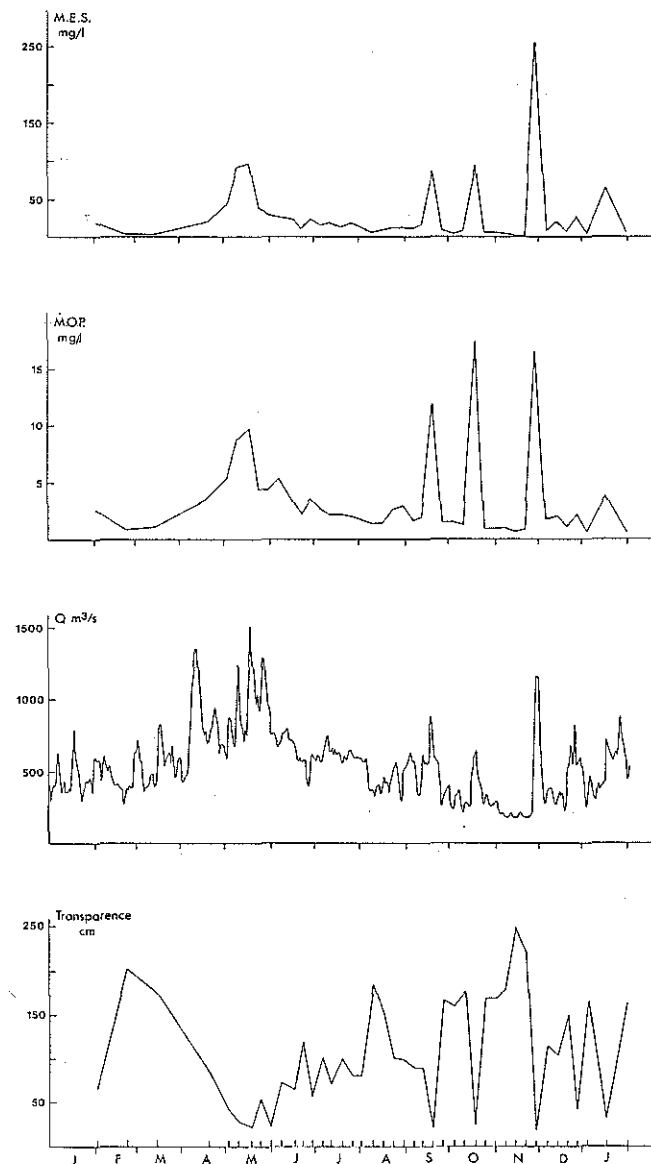


Figure 36 - Evolution des Matières en suspension, des Matières Organiques Particulaires et de la Transparence au cours de l'année 1983. Les M.E.S. et les M.O.P. sont données en mg/l. La transparence en cm. Le débit est celui enregistré à Sault-Brenaz (moyennes journalières)

comme une remise en suspension des sédiments par le brutal changement d'amplitude du régime hydrologique, il s'agit là d'une crue des affluents du bassin lémanique et de l'Arve. Des précipitations importantes en Haute-Savoie (115 à 130 mm le 26 novembre) entraînent une crue subite des rivières drainant cette région, puis du Rhône. L'Arve, dont la charge minérale est considérable et particulièrement reconnaissable par la coloration qu'elle donne à l'eau, est à cette date le principal fournisseur de M.E.S.. Le débit maximum instantané enregistré à Pougny est de 833 m³/s le 27 novembre (dont la majeure partie provient des affluents), de 1075 m³/s à Bogness le même jour, 1210 m³/s à Seyssel et de 1209 m³/s à Sault-Brénaz le 28 novembre. Le Rhône genevois (Léman + Arve) a fourni sensiblement 69 % de l'eau écoulée à Saint Benoît.

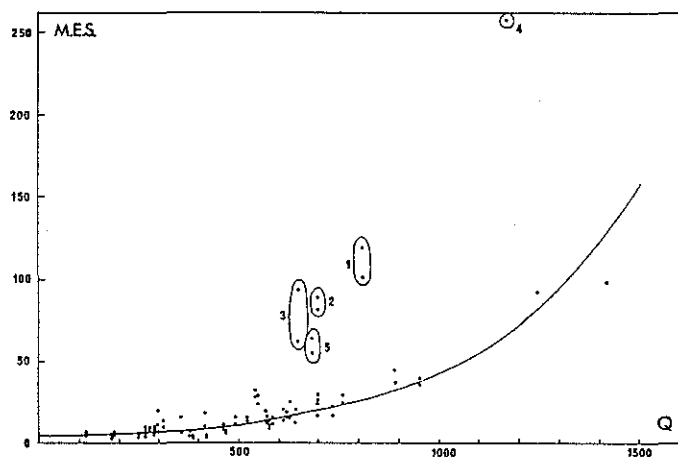


Figure 37 - Les Matières en suspension en fonction du débit.
 $N = 116$ $r = 0,81$ $M.E.S. = 3,44 e^{2,54 \cdot 10^{-3} Q}$
 Les points encadrés n'ont pas été utilisés pour le calcul de l'équation. Ils correspondent à de brusques remises en suspension. Les dates sont les suivantes : 1- 24 mars 1981, 2- 19 septembre 1983, 3- 18 octobre 1983, 4- 28 novembre 1983, 5- 16 janvier 1985.
 Les M.E.S. sont données en mg/l, le débit correspond à la moyenne journalière de la date d'échantillonnage (Sault-Brénaz).

La relation associant les M.E.S. et le débit (figure 37), de type exponentielle, a été calculée à partir des relevés effectués pendant les années 1980, 1981, 1982, 1983 et 1984. Un regroupement des mesures (RH + CH) a été fait en l'absence de différence significative entre les teneurs observées dans le Rhône vif et dans la lône des Chèvres. Le tracé intègre en quelque sorte les valeurs obtenues en milieux hyperlotique, lotique, et à courant très faible, et donne ainsi une bonne représentativité de la charge en suspension dans la quasi-totalité du lit mineur du fleuve. Les teneurs élevées enregistrées au cours des crues ayant été exclues, cette courbe doit être considérée comme le reflet d'une année de référence.

Le calcul des flux de M.E.S. à Saint Benoît, réalisé à partir de l'équation obtenue, donne un flux annuel moyen de 154 000 tonnes pour un débit de 451 m³/s à Sault-Brénaz.

II-2-3-2 LA MATIERE ORGANIQUE PARTICULAIRE (M.O.P.)

La matière organique particulaire est naturellement corrélée au débit. La relation est linéaire (figure 38). Cette courbe est en concordance avec la relation qui associe les matières en suspension et la M.O.P. (figure 39) selon laquelle la teneur en M.O.P. diminue (en valeur relative) lorsque augmentent les M.E.S. (prédominance de la fraction minérale).

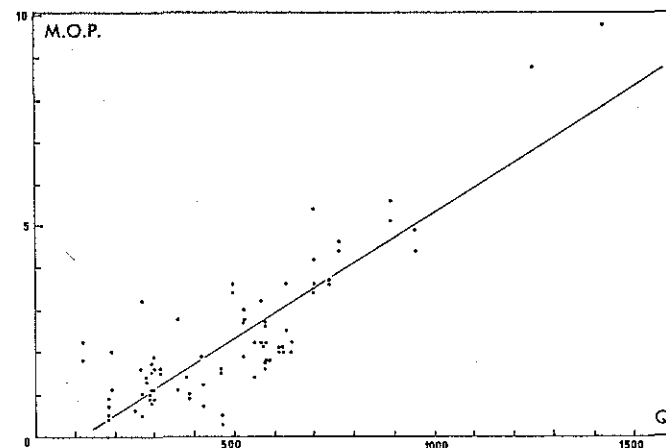


Figure 38 - Les Matières Organiques Particulaires en fonction du débit.
 $N = 81$ $r = 0,85$ $M.O.P. = 5,91 \cdot 10^{-3} Q^{-0,616}$
 Les M.O.P. sont données en mg/l, le débit correspond à la moyenne journalière de la date d'échantillonnage (Sault-Brénaz)

II- Caractérisation et différenciation physico-chimiques

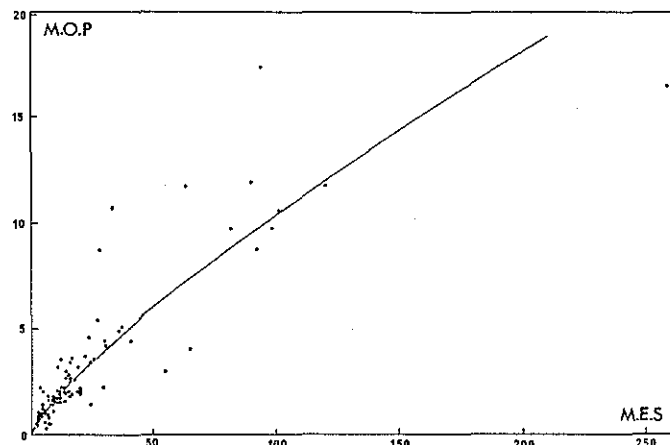


Figure 39 - Les M.O.P. en fonction de la teneur en M.E.S.
 $N = 92$ $r = 0,889$ $M.O.P. = 0,263 M.E.S. + 0,799$
 Les M.O.P. et les M.E.S. sont données en mg/l.

L'évolution du taux de M.O.P. au sein des M.E.S. (figure 40) présente un intérêt supérieur à celui des teneurs brutes. Les taux oscillent entre 6 et 27% environ selon les tendances suivantes :

- 1) une baisse progressive du printemps jusqu'à l'hiver,
- 2) de faibles taux pendant les épisodes de crue (mai, 28 novembre 1983),
- 3) des remises en suspension provoquées par le brusque changement d'amplitude du régime, qui contribuent à réhausser les M.O.P.,
- 4) une fin d'été et un automne marqués par une succession de pics coïncidant avec les étiages du fleuve,
- 5) une baisse progressive des taux pendant les mois de juin-juillet, période du maximum du régime nivo-glaciaire.

Cette courbe est le résultat d'apports complexes issus du lessivage, de la production de matière vivante et de la pollution organique par les riverains. L'origine est double : allochtone (affluents, lac Léman, retenues, ...) et autochtone.

Les données existantes sur les teneurs en carbone organique total mesurées à l'émissaire du lac Léman et sur l'Arve en 1983, permettent de suivre l'évolution des matières organiques dissoutes ou en suspension dans l'eau (figure 40). Ces valeurs donnent un aperçu du transit de la matière

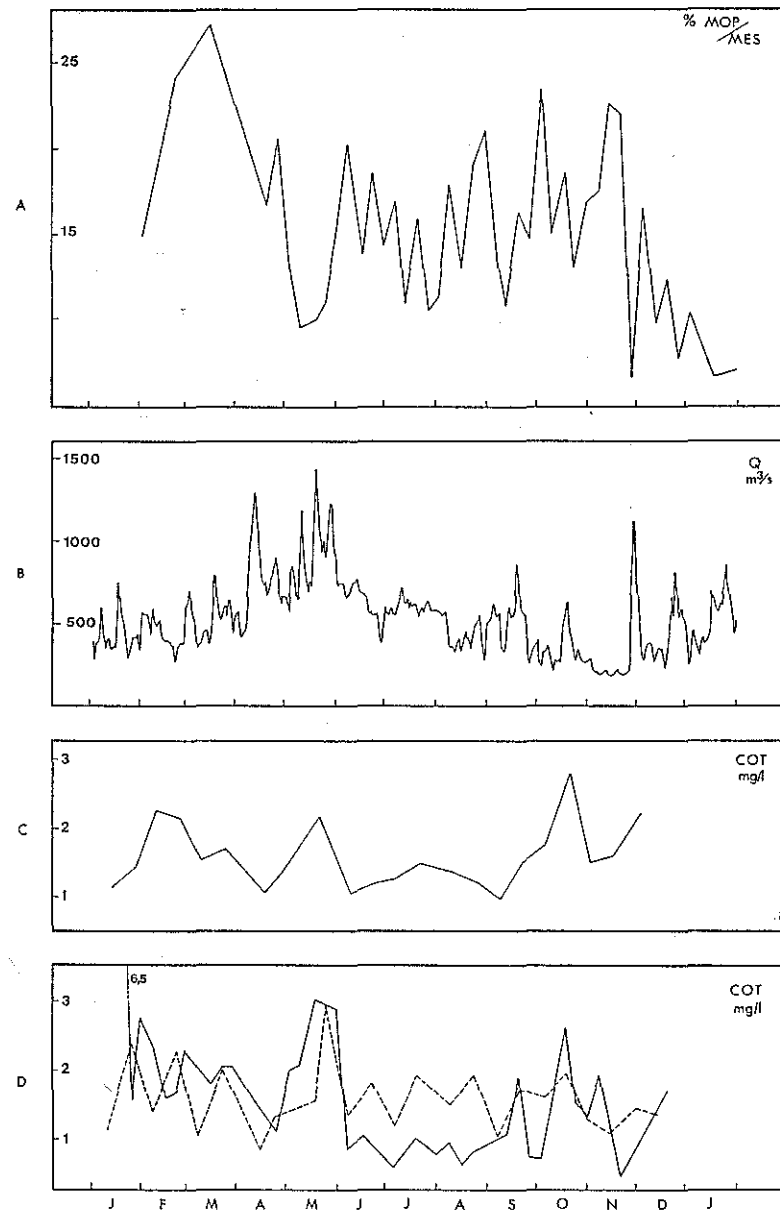


Figure 40 - A - Evolution du pourcentage de M.O.P. par rapport aux M.E.S à Saint Benoît (1983).
 B - Le débit moyen journalier à Sault-Brenaz (1983).
 C - Evolution des teneurs en carbone organique du Rhône à Chancy (1983).
 D - Evolution des teneurs en carbone organique du Rhône lémanique (trait discontinu) et de l'Arve (trait continu) à Genève (1983).

organique, issue à la fois d'un système lacustre où elle relève de la production primaire phytoplanctonique, et d'un système lotique où elle est essentiellement détritique (érosion). Ces courbes peuvent être le reflet des deux origines de la matière organique, dans un hydrosystème où se succèdent lac, affluents et retenues.

II-2-3-3 LA TRANSPARENCE

La transparence mesurée à l'aide du disque de Secchi est essentiellement fonction de la lumière réfléchie par sa surface. Cette transparence est influencée par l'absorption lumineuse de l'eau et des matières dissoutes et particulaires. L'atténuation de la transmission lumineuse par les particules en suspension a été mise à profit pour une estimation approximative de la densité des populations phytoplanctoniques dans les systèmes lacustres eutrophes (WETZEL, 1983, p.66).

Ainsi, par exemple, pour le lac Léman, une relation inverse hautement significative de type $y = b x^a$ existe entre la transparence et la teneur en chlorophylle a (considérée comme un bon indice de l'abondance phytoplanctonique) (CIPEL, 1984).

La méthode de Secchi pour une mesure de la transparence (ou inversement de la turbidité) en milieu courant a été appliquée par DECAMPS et CASANOVA-BATUT (1978) dans la rivière Lot (Sud-Ouest de la France).

Ces auteurs ont montré que la turbidité de l'eau de cette rivière est principalement fonction de la quantité de particules, d'une taille comprise entre 2 et 20 μm . Les étiages coïncident avec la période estivale (régime de type pluvial) où les particules sont alors essentiellement organiques. Seule une forte élévation du nombre de particules peut entraîner un accroissement sensible de la turbidité pendant les basses eaux de saison chaude, ceci à débit constant; alors qu'en hautes eaux hivernales, le nombre de particules (surtout minérales) nécessaire pour l'obtention d'une turbidité équivalente est nettement moindre. A nombre de particules égal, la turbidité créée par les suspensions minérales est supérieure à celle produite par les suspensions organiques.

Le Rhône, caractérisé par un régime hydrologique inverse du précédent et un rapport des extrêmes moins élevé, présente une charge minérale importante en été malgré la prédominance des eaux d'origine lacustre, en raison des intenses apports minéraux de l'Arve. La charge minérale est de nature fine suite au fort ralentissement du transit par les retenues. La participation des M.O.P. à la turbidité de l'eau est alors nettement escamotée au profit de celle causée par les matières minérales; elle ne peut être significative qu'en conditions d'étiage, de fort

ensoleillement et de températures élevées, coexistence de paramètres abiotiques observable en arrière saison (exemple de l'automne 1983).

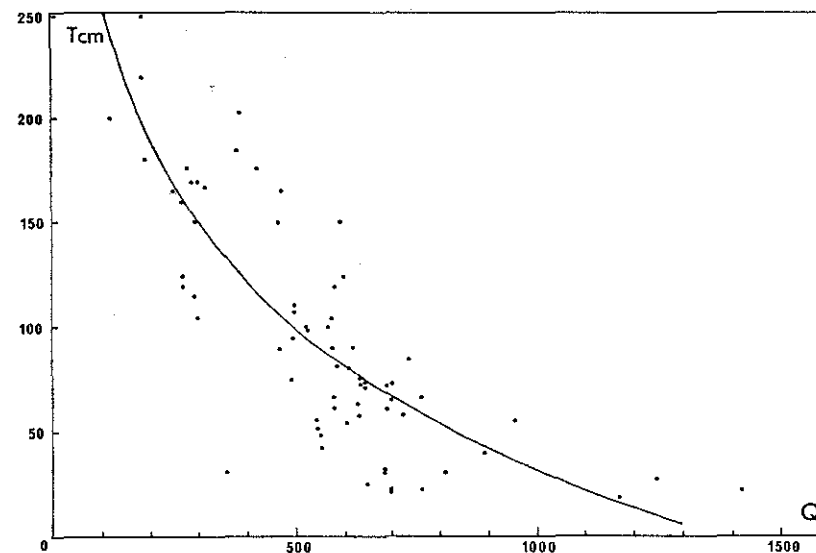


Figure 41 - La transparence en fonction du débit.

$$N = 108 - r = 0,818 - T = -228,55 \log Q + 716,83$$

La transparence est donnée en cm, le débit correspondant est une moyenne journalière (Sault-Brénaz).

L'évolution de la transparence en fonction du débit du fleuve (figure 41) peut être différente d'un point d'étude à un autre. DECAMPS et CASANOVA-BATUT (1978) ont distingué plusieurs tronçons géographiques sur le Lot caractérisés par un type de variation de la turbidité de l'eau avec le débit. Ces différences résultent principalement des divers aménagements du cours d'eau (hydro-électriques, écluses, dragages, etc...). La courbe $T_{cm} = f(Q)$ obtenue pour le Rhône à Saint Benoît ne constitue que le reflet de ce qui peut être observé en un point précis du fleuve, à l'aval d'une chaîne d'aménagements hydro-électriques. Cette relation sera différente sur un profil en long ou en travers du fleuve (tronçons court-circuités, chenalisés ou retenues). La transparence, observée à l'heure actuelle, oscille entre 20 et 250 cm. La dispersion des valeurs de la transparence pour un débit donné provient de l'intégration par cette mesure de divers paramètres (teneurs en matières minérales, en matières organiques particulaires et dissoutes, nature et taille des suspensions, couleur de l'eau) et bien entendu de la précision qui peut lui être accordée.

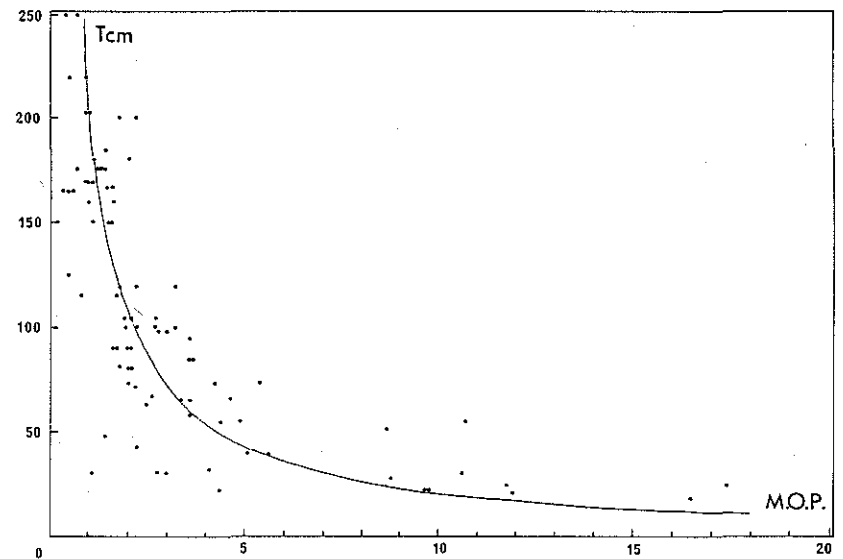
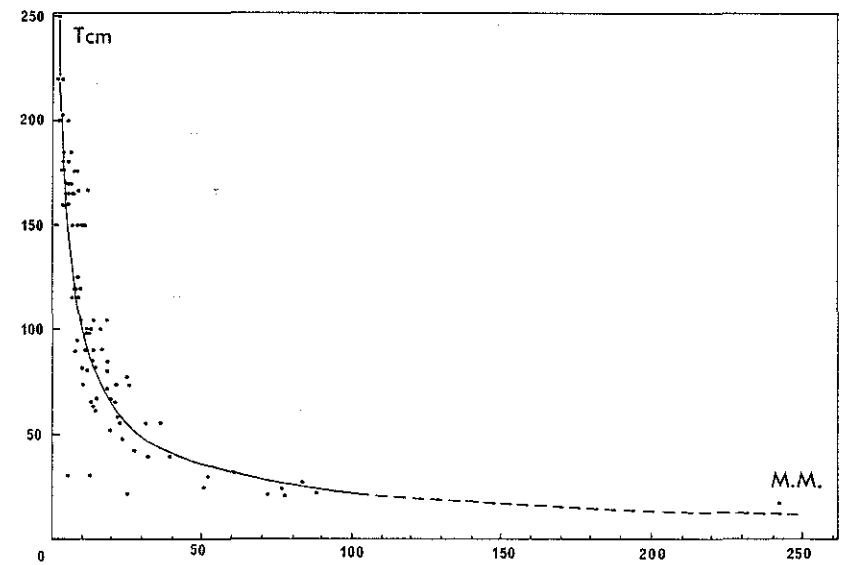
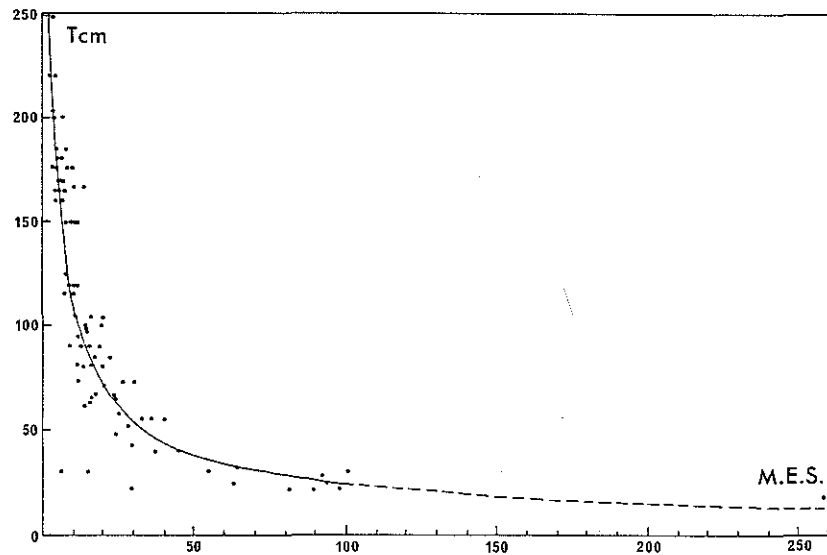


Figure 42 - La transparence en fonction des Matières en suspension, en Matières Minérales et en Matières Organiques Particulaires.

Les équations sont les suivantes :

$$N = 108 - r = -0,896 - T = 500,15 \text{ M.E.S.} - 0,654$$

$$N = 89 - r = -0,888 - T = 414,00 \text{ M.M.} - 0,625$$

$$N = 88 - r = -0,833 - T = 226,53 \text{ M.O.P.} - 1,030$$

Les M.E.S., M.O.P. et M.M. sont données en mg/l.

Les relations associant la transparence à la charge en suspension (figure 42) montrent que :

1) la transparence des eaux fluviales est principalement dépendante de la teneur en matières minérales;

2) elle diminue rapidement lors d'un faible accroissement des M.E.S. en raison de la taille et de la nature des particules prédominantes (limons);

3) elle atteint sensiblement une valeur seuil lorsque les teneurs excèdent 50 mg/l de M.E.S..

La nature et la taille des particules en suspension dans une eau conduisent à l'obtention de tracés ($T = f [M.E.S.]$) distincts d'un type de cours d'eau à l'autre. La transparence devient le témoin des caractéristiques "visuelles" d'une eau. Une comparaison, donnée à titre d'exemple, entre le fleuve et le cours inférieur de deux affluents, la Save et l'Huert, montre que la transparence des eaux de ces deux rivières de plaine présente une amplitude de variation moindre que celle du fleuve (figure 43).

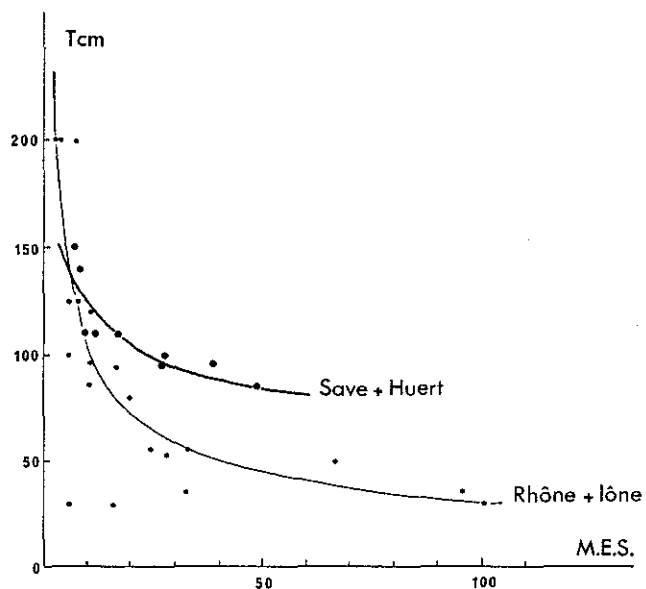


Figure 43 - Comparaison de la transparence en fonction des M.E.S. dans le Rhône + la lône des Grands Brotteaux et dans l'Huert + la Save (1980-1981).

Les M.E.S. sont données en mg/l, la transparence en cm.

Le régime hydrologique complexe du fleuve soutenu alternativement ou simultanément par ses affluents à régime pluvio-nival, nivo-pluvial ou nivo-glaciaire contribue notablement au maintien d'une charge en suspension essentiellement minérale. L'absence d'étiages estivaux, à des périodes favorables pour la productivité phytoplanctonique, ne permet pas une hausse des M.O.P. suffisante pour perturber la corrélation M.E.S. - $f(Q)$, comme cela peut être observé dans des rivières à régime pluvial, marquées par de profonds étiages estivaux favorisant d'une part la croissance du phytoplancton et d'autre part la diminution de la remise en suspension des sédiments (DECAMPS et CASANOVA-BATUT, 1978).

Une évolution dans ce sens peut être envisagée en raison de l'augmentation de la surface du lit mineur par les aménagements, du nombre de réservoirs et du kilométrage de portions court-circuitées dans lesquelles les débits réservés correspondent à des étiages artificiels. Le ralentissement de la vitesse du courant exagère la sédimentation minérale et il est concevable d'entrevoir une hausse de plus en plus marquée des M.E.S. pendant les remises en suspension créées par les brusques changements d'amplitude du niveau d'eau.

Le suivi des M.E.S. apparaît vraisemblablement comme le meilleur témoin de la modification des écoulements fluviaux. Cette étude exige toutefois une différenciation précise des suspensions, une connaissance de la nature et de la granulométrie des particules.

II-2-4 LA CHLOROPHYLLE a

L'étude de la chlorophylle a dans un milieu courant constitue, de par sa corrélation avec le nombre de cellules phytoplanctoniques (SWANSON et BACHMANN, 1976 ; KARLSTROM et BACKLUND, 1977 ; KHALANSKI, 1984) ou le biovolume algal (CAPBLANCO et DAUTA, 1978), une bonne estimation de la biomasse algale (compte-tenu de la surestimation de la chlorophylle a due à l'interférence avec la phéophytine).

La dynamique saisonnière de la chlorophylle a dans le Rhône (figure 44), dont la reconstitution est pratiquement le fait du facteur 4 de l'ACN (figure 13), s'individualise nettement de celle des autres paramètres étudiés. Cette relative indépendance est liée à l'existence d'un facteur biologique complexe : l'activité phytoplanctonique. Ce paramètre donne en quelque sorte les potentialités photosynthétiques du phytoplancton, fonction des effets synergiques d'un grand nombre d'éléments, abiotiques tels que la lumière, la température et ceux associés à l'hydrologie du cours d'eau, biochimiques (disponibilité des nutriments,...) et biologiques (succession des espèces algales,...). La quantité de nutriments, principal facteur limitant dans un système oligotrophe, ne l'est plus dans les systèmes fluviaux de la zone tempérée (MEYBECK, 1984), la production primaire est donc essentiellement fonction de la transparence.

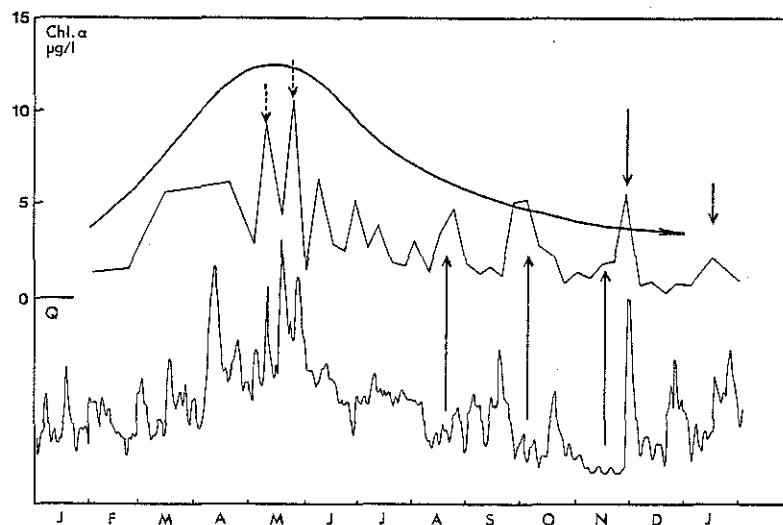


Figure 44 - Evolution des teneurs en chlorophylle a du Rhône à Saint Benoit au cours de l'année 1983. La chlorophylle est donnée en µg/l.

Son effet sera observé sur les mesures de 1983 au cours de l'été et de l'automne. Le Rhône présente une forte turbidité en été pendant son maximum nivo-glaciaire, limitant ainsi le développement algal pendant cette période. Des valeurs élevées ne peuvent être observées sur le fleuve qu'à partir du début de l'étiage (fin d'été et automne), et elles sont maximales lorsque la transparence et les conditions climatiques sont optimales. Elles chutent classiquement lors des hausses épisodiques et modérées du débit.

Il est certain que les valeurs obtenues au cours des mois de juillet, août, septembre, octobre et début novembre répondent relativement bien à ce facteur abiotique qu'est la transparence. Il n'en va pas de même si l'on s'intéresse aux autres périodes de l'année, marquées notamment par des crues. La coïncidence des teneurs les plus élevées avec les épisodes hydrologiques importants de l'année 1983 apparaît frappante (crues d'avril-mai et de la fin novembre). L'impact des hautes eaux sur la chlorophylle a est d'ailleurs à l'origine de la reconstitution partielle des données par le facteur 2 de l'analyse (figure 13), de la crue du 28 novembre plus particulièrement. Le maximum printanier caractérisé par la croissance des Diatomées est observé traditionnellement dans les eaux continentales en avril-mai, suivi d'une chute brutale de la productivité début juin. On peut toutefois s'étonner de trouver des teneurs élevées conjointement à une turbidité des eaux supérieure à celle des mois qui suivent.

On rappellera qu'au cours des mois d'avril et de mai, les crues sont généralisées sur la totalité du bassin versant et que le débit du Rhône lémanique est alors important. Les concentrations en chlorophylle a de l'épilimnion lémanique (figure 45) présentant une dynamique saisonnière similaire à celle observée dans le fleuve (à des niveaux supérieurs cependant) suggèrent l'éventualité d'une "fourniture" algale d'origine lacustre sur la totalité du Haut-Rhône français. Bien que le fleuve ait fait l'objet de nombreuses modifications (créations de retenues), cet aspect ne peut être négligé.

FRIEDRICH & MÜLLER (1984) signalent qu'avant 1930, l'évolution saisonnière du phytoplancton dans le Haut-Rhin était dépendante de celle des grands lacs traversés par le fleuve et l'Aare. L'eutrophisation marquée du Rhin a totalement masqué ces apports. HAMMERTON (1972) a montré que le phytoplancton du réservoir de Sennar (barrage du Nil Bleu) persiste avec une réduction en nombre pendant 350 km en aval du barrage jusqu'à la confluence avec le Nil Blanc. Des pertes considérables ont alors lieu dans les eaux limoneuses du Nil, mais les principales espèces composantes du phytoplancton du Nil Bleu sont encore reconnaissables 100 à 200 km après la confluence.

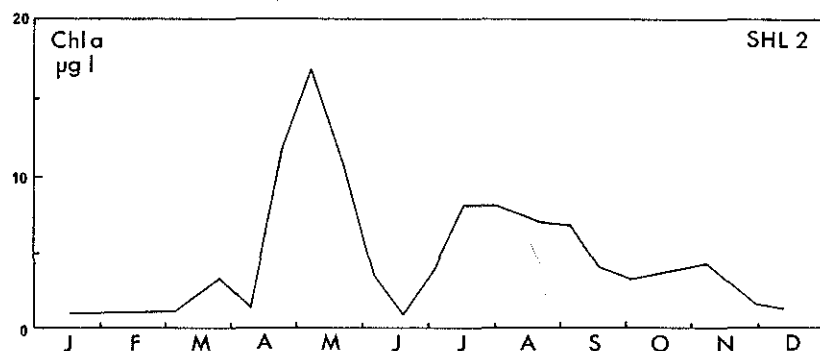


Figure 45 - Evolution des teneurs moyennes de chlorophylle a dans la couche 0-10 mètres du lac Léman au point SHL 2. Données CIPEL (rapport 1983).

Le rôle de pourvoyeur tenu par le lac Léman peut être raisonnablement élargi sous l'angle biologique en plus des caractéristiques géochimiques vues précédemment. Il est malgré tout probable qu'une partie non négligeable des algues existant dans le fleuve sont les représentants d'un véritable "potamoplancton" issu de l'ensemencement lacustre ou des îlons jouxtant le chenal principal.

Les travaux de SWANSON et BACHMANN (1976) sur des cours d'eau de l'IOWA (U.S.A.) ont montré que les exportations algales proviennent principalement des populations benthiques existantes dans le lit du cours d'eau. Les flux s'accroissent significativement avec l'extension de la surface benthique en amont du point de prélèvement. DESSERY et coll., (1984) montrent par ailleurs que la proportion de tychoplancton (algues benthiques) au sein du phytoplancton dérivant s'accroît avec le débit. Des valeurs de 24 % en basses eaux et de 77 % en hautes eaux sont avancées pour la Vire (rivière du Bassin Parisien).

Les accroissements du débit et du transport minéral apparaissent comme autant de mécanismes favorables à la dislocation des masses algales benthiques, susceptibles d'accroître les teneurs en chlorophylle a pendant les crues. Le rôle tenu par le tychoplancton constitue une explication partielle plausible des observations faites au cours des crues fluviales. Le meilleur exemple reste la crue du 28 novembre 1983; la chlorophylle est en quantité supérieure à celle mesurée les semaines antérieures, période tout à fait optimale pour un développement du périlithon, notamment dans les

secteurs du Rhône court-circuités qui seront balayés par les eaux. On remarquera que les hausses synchrones débit-chlorophylle a sont surtout caractéristiques de la saison froide.

Dans le paragraphe II-2-3-2, il a été vu que les Matières Organiques Particulaires en suspension sont essentiellement détritiques (érosion des sols). Mais une partie de celles-ci est constituée par la production algale du milieu aquatique. L'étude des relations associant les M.O.P. et la chlorophylle a s'avère particulièrement complexe et la figure 46, dans laquelle ont été dissociées les différentes "saisons", ne donne que des tendances très générales.

La première tendance concerne une augmentation plus ou moins accusée de la chlorophylle a avec les M.O.P. La contribution algale est faible en hiver en raison d'une température et d'un éclairage peu favorables, moyenne pendant l'été en raison d'une turbidité importante, maximale pendant l'été automnal, au moins avant le refroidissement des eaux. L'automne est caractérisé par de brusques changements d'amplitude du débit (19 septembre et 18 octobre) entraînant une remise en suspension brutale des M.O.P. de nature déritique; le débit ne semble pas suffisant pour provoquer un transport du tychoplancton, hormis pour la crue du 28 novembre. Les teneurs enregistrées en mars, avril, mai et début juin oscillent beaucoup. Le début du pic algal printanier se situe au mois de mars, les M.O.P. sont alors principalement d'origine algale. La production primaire se perpétue malgré la crue avec un probable enrichissement par le tychoplancton produit sur la totalité des cours d'eau du bassin versant au cours des mois précédents. Un fort débit peut être responsable d'un enrichissement par dislocation de la couche benthique, puis, en raison de son accroissement, contribuer à une chute des teneurs par dilution. Cet aspect peut être observé pour les valeurs maximales du débit (dates du 9,18 et 24 mai).

La chlorophylle doit être considérée comme un paramètre complexe qui justifie à lui seul une étude complète accompagnée de mesures complémentaires : carbone organique, nature et écologie des espèces algales en suspension dans le milieu, etc...

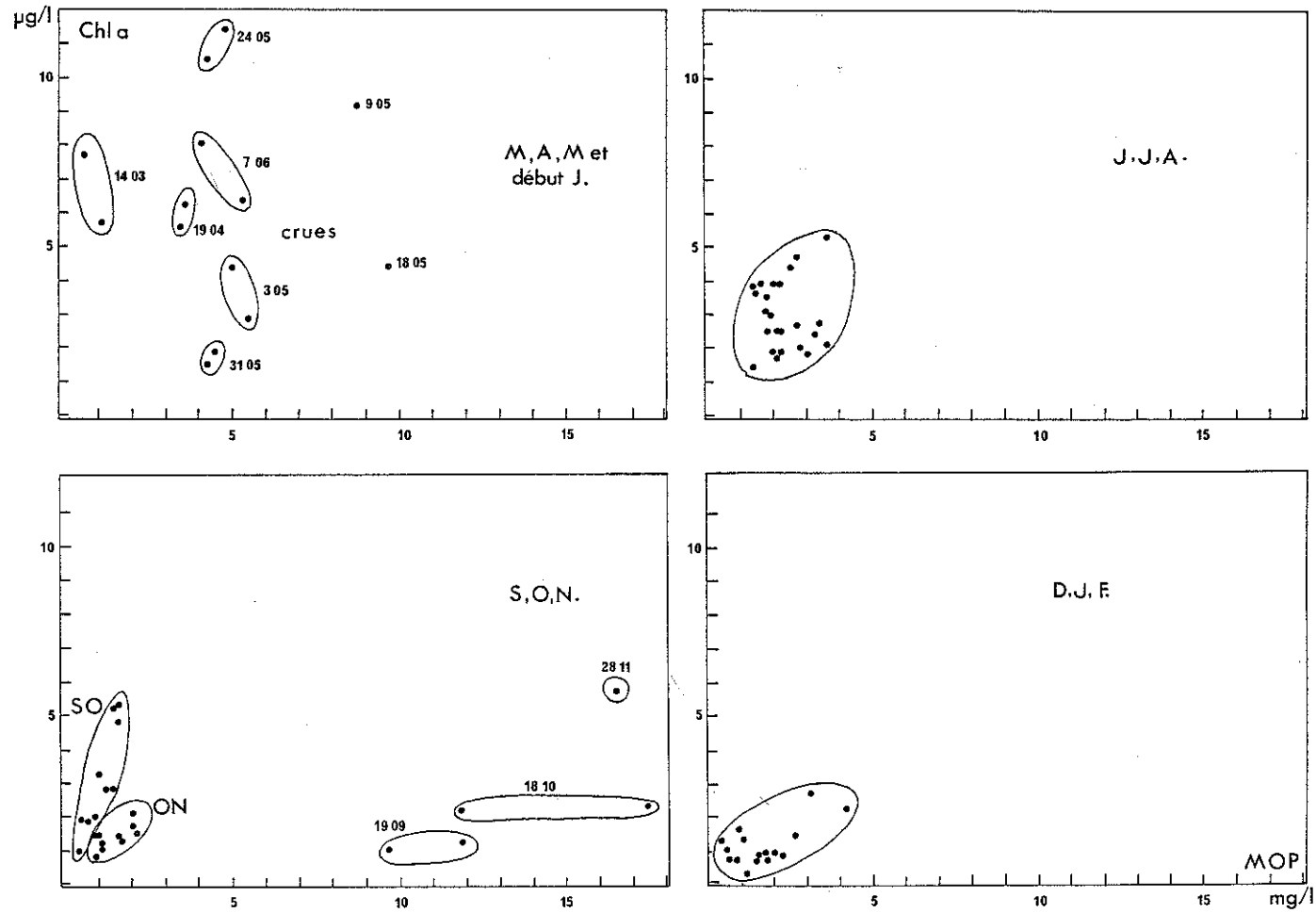


Figure 46 - Relation M.O.P.-chlorophylle a dans le Rhône et la lône des Chèvres

II-2-5 L'OXYGENE

Il peut paraître curieux de présenter les résultats relatifs à ce paramètre à la fin de cette étude physico-chimique des eaux fluviales. L'oxygène est en effet le plus fondamental des éléments dissous en raison de sa nécessité pour le métabolisme des organismes aquatiques aérobies.

Mais, dans les sections lotiques ou hyperlotiques du système fluvial, où les apports atmosphériques sont importants en regard de ceux liés à la photosynthèse, où ces apports sont peu perturbés par les oxydations chimiques ou biotiques, l'oxygénation des eaux varie peu et est toujours proche de la saturation. Ce critère propre aux eaux courantes, peu ou non affectées par des pollutions organiques, n'est donc pas à l'origine de changements primordiaux quant à la composition ionique vue précédemment. Nous verrons qu'il n'en est pas de même dans les milieux annexes, tels que les lônes stagnantes (Morte du Sauget par exemple), dans lesquels l'évolution des teneurs en oxygène prend une toute autre signification, ceci au même titre que dans un lac.

L'expression des résultats en pourcentage de saturation a été choisie préférentiellement à une teneur en mg/l. Elle permet d'éliminer les variations induites par les processus physiques de dissolution des gaz, et d'observer celles entraînées par des facteurs abiotiques (débit par exemple) ou biotiques (photosynthèse et respiration).

Les valeurs enregistrées dans le Rhône et la lône des Chèvres témoignent d'une faible amplitude de variation.

Station	Max.	Min.	Moy.	Ecart-type
RHONE	116 %	77 %	93 %	7,6
LONE	109 %	57 %	90 %	11,0

L'évolution annuelle (figure 47) est similaire dans les deux stations. La lône, dans laquelle les écoulements sont modifiés par le barrage de l'Isle, présente une accentuation de la chute de la saturation au cours des étiages automnaux. La faiblesse du débit favorise une stagnation des eaux et diminue les possibilités d'échanges air-eau. La chute des feuilles entraîne une augmentation de la matière organique biodégradable, laquelle s'accumule par manque d'un transport actif. De plus, la lône est alimentée par des eaux du sous-écoulement moyennement oxygénées (38 à 63% - Station PU). L'ensemble de ces facteurs contribue ainsi à une baisse sensible de l'oxygénation du milieu.

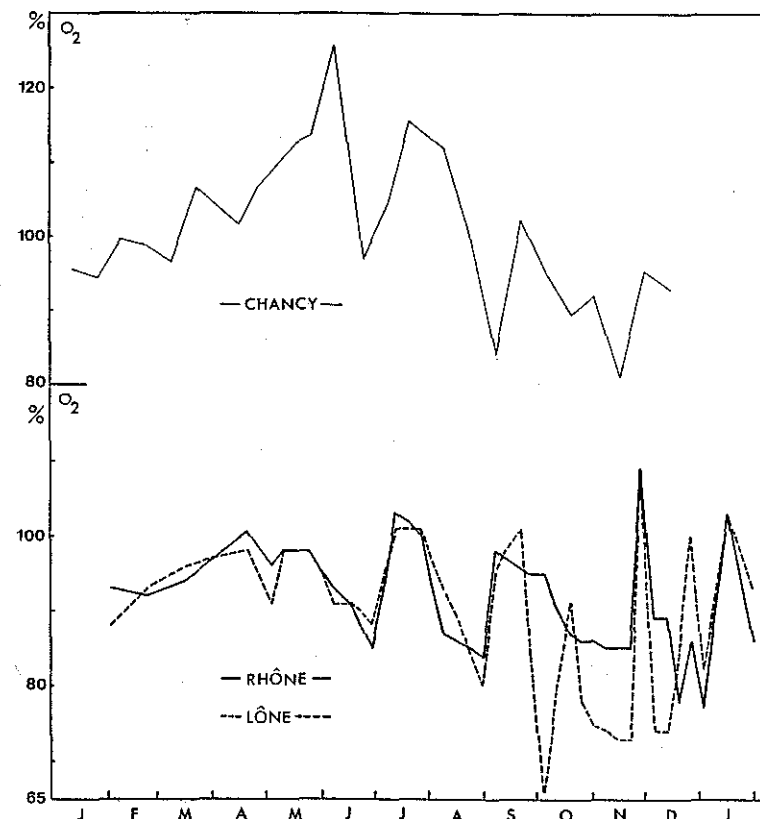


Figure 47 - Evolution du pourcentage de saturation en oxygène des eaux, du Rhône à Chancy-Pougny et à Saint Benoit (RH), de la lône des Chèvres (CH) au cours de l'année 1983.

Ils sont tous dépendants du débit du fleuve, mais plus exactement de la vitesse de renouvellement des eaux dans les milieux prospectés.

L'impact du débit sur la composante oxygène a été particulièrement mis en valeur par la reconstitution des données (figure 13). Les relations qui associent la saturation et le débit (figure 48) sont révélatrices des phénomènes physiques et biologiques décrits pour la lône, existant pareillement sur le fleuve mais à une autre échelle; l'amplitude de variation du débit trouvée sur le fleuve est en effet nettement inférieure à celle de la lône. L'identité des valeurs est observée dans les deux stations lorsque les débits sont élevés (crues).

La relation débit-saturation n'est toutefois pas parfaite (cf. figure 13). La reconstitution totale n'est réelle qu'après intervention du facteur 6 de l'analyse. Cette correction par le facteur 6 n'intervient d'ailleurs qu'en période estivale et automnale, pendant le maximum nivo-glaciaire. L'intervention du système Léman + Arve est de nouveau partiellement responsable de l'évolution de la saturation en oxygène des eaux du Haut-Rhône français.

Cet impact peut être illustré par la représentation du pourcentage de saturation des eaux du Rhône à Chancy-Pougny en fonction de la température de l'eau (figure 49).

La corrélation débit-saturation à Chancy est positive, similaire à celle de l'aval, mais la signification en est plus discutable par le fait que le débit en ce point est principalement lié avec l'évolution saisonnière de la température. Ce dernier paramètre joue un rôle prépondérant dans l'activité biologique du système lémanique et doit être considéré comme responsable des variations observées à Chancy. La température et les implications biologiques qui en découlent relèguent ainsi l'influence du débit au second plan. La variation du pourcentage de saturation observée sur le Rhône genevois est d'abord celle de l'épilimnion lémanique enrichi en oxygène par le biais de la photosynthèse printanière et estivale, puis appauvri par la consommation des ressources lors de la dégradation de la matière vivante (automne-hiver). A cela s'ajoutent les phénomènes de brassages au cours de la circulation des eaux. En second lieu intervient l'Arve dont la bonne oxygénation, en rapport avec son caractère torrentiel, modère la sursaturation des eaux fluviales ou maintient celles-ci proche de la saturation.

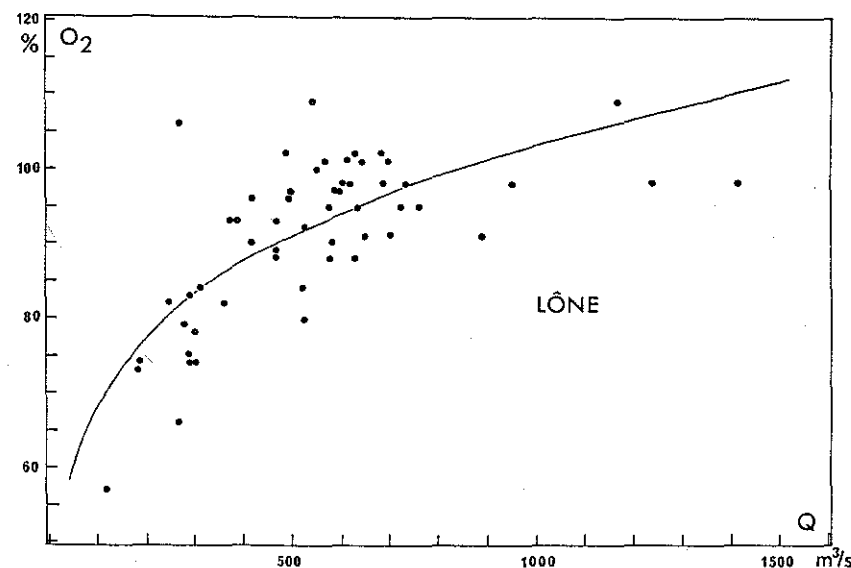
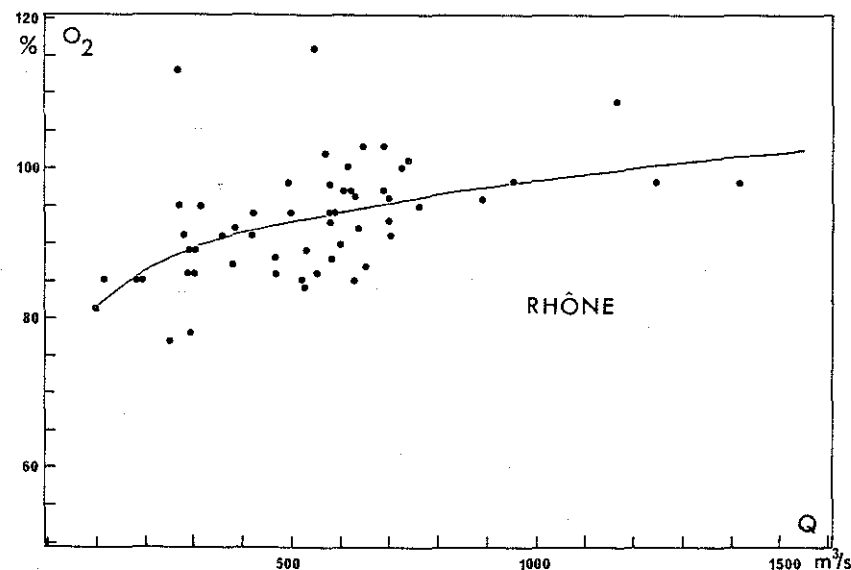


Figure 48 - Etude de la relation existante entre le pourcentage de saturation et le débit du fleuve (moyen journalier à Sault-Brenaz).

$$O_2 \% (\text{Rhône}) = 56,20 Q^{0,081} \quad N = 58 \quad r = 0,49$$

$$O_2 \% (\text{lône}) = 29,35 Q^{0,182} \quad N = 59 \quad r = 0,74$$

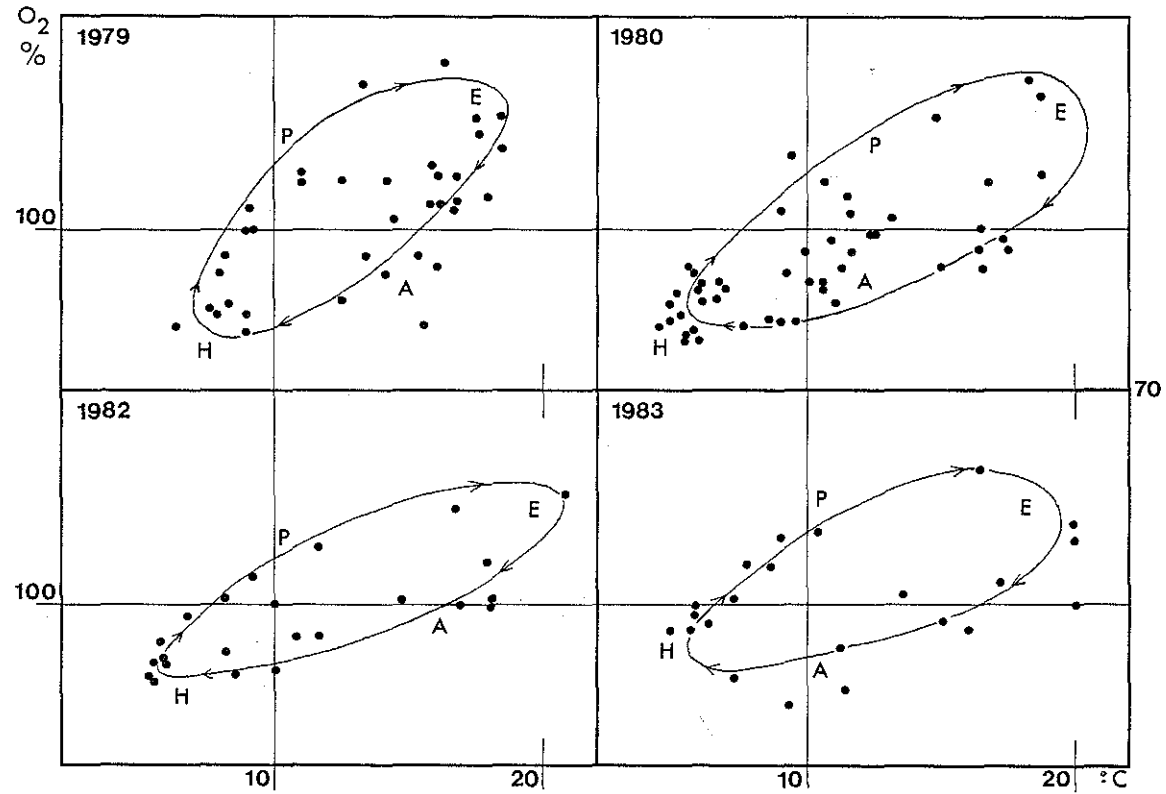


Figure 49 - Rôle tenu indirectement par la température dans l'évolution saisonnière du pourcentage de saturation des eaux du Rhône à Chancy-Pougny.
Données des laboratoires genevois.

II-2-6 CONCLUSIONS

L'Analyse en Composantes Principales et la reconstitution graphique des données, utilisées dans le cadre de cette caractérisation physico-chimique des eaux fluviales, se sont avérées extrêmement performantes pour l'interprétation de ce type de mesures.

L'origine des variations annuelles des paramètres étudiés a pu être cernée dans sa quasi-intégralité. Les variations sont le fait de facteurs abiotiques tels que la température de l'eau et le débit, et biotiques dont la production primaire lacustre et potamique constitue l'élément majeur. Il est bien entendu que ces facteurs, régis par le cycle saisonnier et les conditions climatiques, agissent souvent de manière synergique. L'analyse mathématique a l'avantage de simplifier grandement l'interprétation du fonctionnement global en privilégiant les éléments responsables du maximum de variabilité.

Le lecteur a pu apprécier le rôle important du débit qui, malgré son absence en tant que variable au sein de l'analyse mathématique, constitue finalement la principale composante génératrice de l'hydrosystème potamique. La complexité du régime du Rhône à Saint Benoit peut être résumée par la figure 50, représentative des trois caractéristiques hydrologiques essentielles du système fluvial.

1) Le Rhône alpestre est le principal affluent du lac Léman; son régime glaciaire, marqué de forts extrêmes, régulier cependant en raison de sa dépendance avec le cycle thermique annuel, est "tempéré" par le volume de la cuvette lacustre. Le Rhône lémanique présente le caractère du précédent avec une atténuation des extrêmes renforcée par l'existence de l'aménagement hydraulique de l'émissaire.

2) Il reçoit un gros affluent : l'Arve, dont le régime est de type nivo-glaciaire. L'Arve, malgré l'impact des précipitations, conserve la relative stabilité d'une année à l'autre propre aux régimes glaciaires et nivo-glaciaires.

3) Le régime nivo-pluvial ou pluvio-nival des affluents péri-alpins et jurassiens est caractérisé par l'imprévisibilité des pointes de débit liée aux pluies. On rappellera l'inversion du régime (étiages en saison chaude et hautes eaux en saison froide) en regard des précédents.

La totalité des apports conduit à l'établissement d'un régime mixte "pluvio-nivo-glaciaire". La prédominance du Haut-Rhône genevois (Rhône lémanique + Arve) maintient les hautes eaux estivales et les basses eaux

automnales et hivernales.

Les proportions relatives des trois apports caractéristiques du Haut-Rhône français ont un rôle fondamental sur la géochimie des eaux fluviales et sur l'évolution annuelle observée.

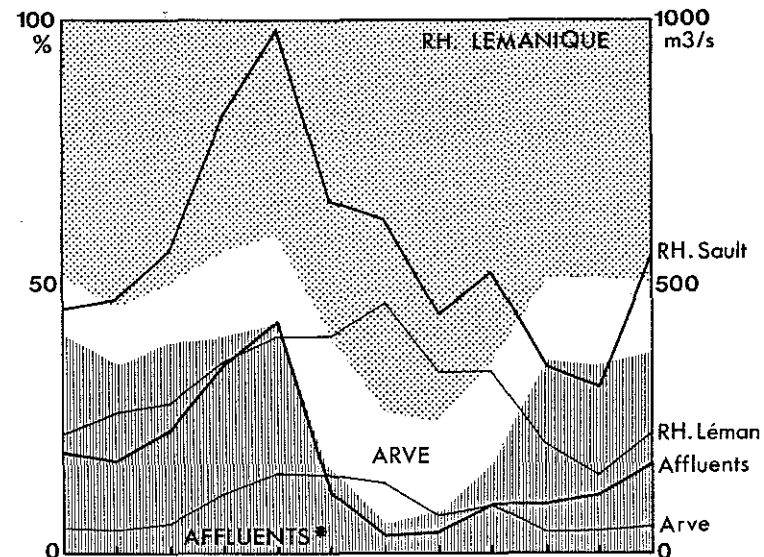


Figure 50 - Représentation des débits moyens mensuels pour l'année 1983, du Rhône à Sault-Brenaz, du Rhône lémanique, de l'Arve et des autres affluents du Haut-Rhône français. Le débit des affluents est obtenu par différence $[Q \text{ Sault} - (Q \text{ Léman} + Q \text{ Arve})]$. Les proportions relatives des apports principaux sont figurées par des trames sous-jacentes.

L'année 1983 a été marquée par de sévères crues printanières sur la totalité du bassin versant. Ces crues individualisent nettement les mesures physico-chimiques printanières (figure 51). L'hiver et l'été ne se distinguent réellement qu'à partir de la température et des impacts physiques et biologiques qui en découlent. L'automne est très hétérogène : la dispersion des points sur la carte factorielle est maximale avec un regroupement selon les ressemblances avec l'une ou l'autre des saisons. Seuls quatre prélèvements (fin octobre-début novembre) apparaissent représentatifs d'une unité particulière totalement opposée à celle du printemps (les extrêmes hydrologiques appartiennent à ces deux saisons).

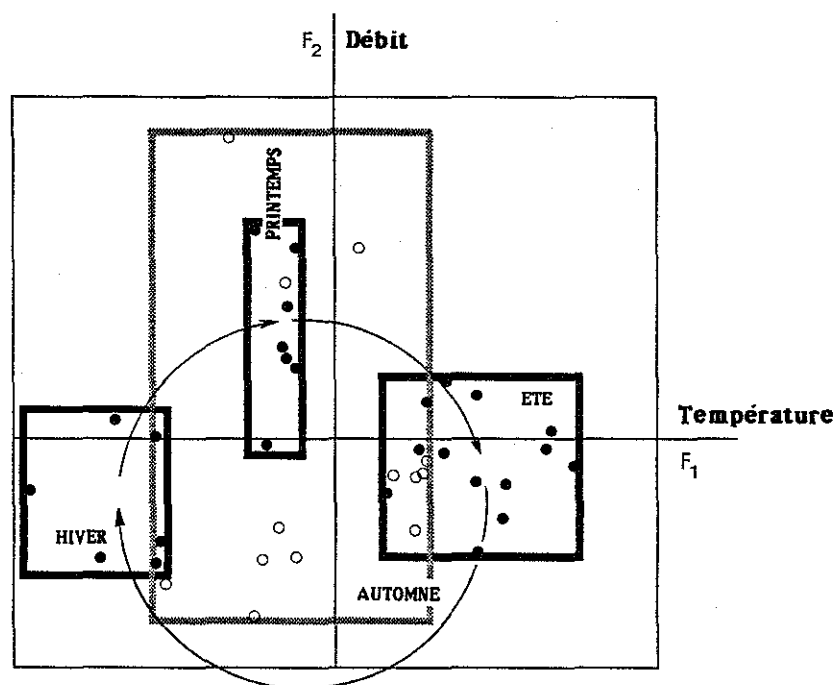


Figure 51 - Carte factorielle F1 x F2 (dates de prélèvements) de l'Analyse en Composantes Principales. La dénomination des facteurs est issue de l'interprétation (F1 : température de l'eau, F2 : débit du fleuve). Les rectangles insèrent les dates appartenant à la même saison. L'hiver regroupe les prélèvements des mois de février 1983, décembre 1983 et janvier 1984, le printemps, ceux de mars, avril et mai 1983, l'été, les mois de juin, juillet et août 1983, l'automne : septembre, octobre et novembre.

La totalité des paramètres physico-chimiques des eaux fluviales est dépendante du débit, de la provenance des eaux, des proportions relatives de chacun des principaux apports hydrologiques. Un apport diffus par les eaux du sous-écoulement fluvial, détecté pendant les étiages mais non quantifiable par rapport aux réseaux superficiels, constitue un élément de plus capable de modifier la résultante, en l'occurrence le Rhône.

La figure 52 reprend l'ensemble des discussions précédentes. Les facteurs de l'analyse ont été remplacés par le terme répondant le mieux aux effets observés. La totalité du système est gérée par le cycle saisonnier (durée du jour) et les conditions climatiques régionales (ensoleillement et précipitations). Ainsi s'établissent le cycle thermique de l'eau responsable de l'évolution du système calco-carbonique selon des processus purement physiques, l'alternance des apports hydriques, minéraux et ioniques du bassin versant et l'activité photosynthétique au sein des milieux aquatiques. Les phénomènes implicitement liés à la production primaire sont perçus préférentiellement pendant la prédominance des apports lacustres.

Cette approche de la complexité des interactions entre les différents facteurs abiotiques et biotiques, génératrice de l'évolution des paramètres physico-chimiques, montre à quel point chaque facteur représente à lui seul un domaine d'étude.

Le lecteur n'oubliera pas que la présente étude ne concerne qu'une **portion restreinte** du fleuve et **une année**. L'hydrologie et les conditions climatiques de l'année 1983 sont relativement éloignées d'une année type dite de référence.

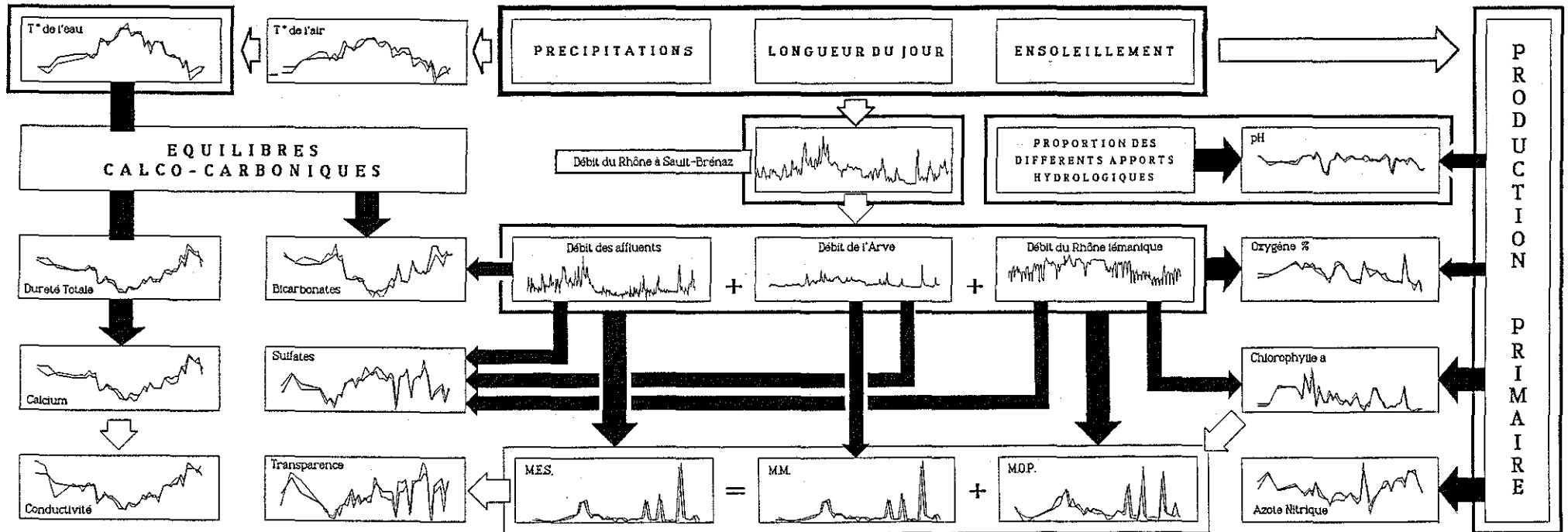


Figure 52 - Principaux facteurs abiotiques et biotiques responsables de l'évolution saisonnière des paramètres physico-chimiques. Cette figure se rapporte aux données enregistrées sur le Rhône à Saint Benoît (Ain) de février 1983 à janvier 1984.

II-3 CARACTERISATION PHYSICO-CHIMIQUE D'UN MILIEU STAGNANT : LA MORTE DU SAUGET

Bien qu'intégrée dans l'hydrosystème fluvial, la Morte du Sauget présente peu de similitudes avec le chenal et les lônes vives en l'absence de crues. Depuis son isolement, ce milieu apparaît évoluer indépendamment du fleuve dont l'impact " visible " ne présente plus qu'un caractère épisodique.

Par une hydrologie à caractère exceptionnel, l'année 1983 se présente comme un "artéfact majeur" au sein de l'évolution propre de cet écosystème dont les caractéristiques physico-chimiques sont principalement définies par des processus biologiques.

Les différences essentielles que présente cette lône par rapport au milieu lotique vu précédemment sont les suivantes :

- 1) La Morte est peu profonde (profondeur maximale = 2,00 m).
- 2) En l'absence de crues, l'eau est stagnante et son renouvellement s'effectue lentement par le biais du sous-écoulement fluvial et de la nappe phréatique environnante.
- 3) Le plan d'eau présente une stratification thermique et un déficit en oxygène pendant la majeure partie de l'année.
- 4) Une épaisse couche de vase organique colmate les fonds et constitue un substrat favorable au développement des macrophytes, responsables de l'atterrissement de l'ancien chenal. La prolifération des plantes immergées (essentiellement de *Ceratophyllum demersum* et de *Nuphar luteum*) est parfois telle qu'il ne subsiste que quelques nappes d'eau libre (d'une dizaine de m² environ). Le développement des végétaux garantit la stabilité de la stratification même en présence de vents forts.

Les données obtenues sur cette lône entre février 1983 et janvier 1984 ont fait l'objet d'un traitement statistique par l'ACP, d'une reconstitution des données et superposition graphique.

Les mesures ayant toujours été réalisées en surface (entre 0 et - 20 cm), les résultats de l'ACP ne peuvent refléter l'évolution exacte de toute la masse d'eau par le fait même qu'il s'agit là d'un espace limnique stratifié. L'évolution physico-chimique de la Morte s'effectue selon un processus lent et complexe, soumis d'une part aux conditions abiotiques et biotiques du jour, d'autre part à celles des jours précédents. L'observation effectuée à un instant donné ne présente plus, comme nous l'avons vu pour le Rhône, les caractéristiques "instantanées" du système aquatique, mais le reflet d'un processus évolutif.

Les facteurs responsables des variations physico-chimiques observées peuvent avoir un impact immédiat et momentané (exemple : l'arrivée puis le retrait des eaux du fleuve) ou des actions beaucoup plus lentes et synergiques, d'interprétations plus délicates (battement du niveau piézométrique, apports par le ruissellement, développement des macrophytes ou de périphyton, activité biologique du sédiment, ...).

II-3-1 IMPACT HYDROLOGIQUE

L'étude précédente a montré le rôle majeur tenu par les crues du fleuve dans les milieux annexes de la vallée fluviale.

Les perturbations sont perçues préférentiellement au cours des submersions, mais la durée de perception du phénomène est très variable en fonction du paramètre étudié. Tous les paramètres sont soumis à cet effet en raison du renouvellement global ou partiel de la masse d'eau. Si le débit et la durée de la crue sont suffisants, les caractéristiques des eaux sont alors celles du fleuve.

Remarque : Lors de l'étude d'une relation Variable = f(Q Rhône), la valeur du débit utilisée sera :

- 1) une moyenne calculée entre deux dates de prélèvement (ou selon un intervalle de 7 jours en l'absence de relevé hebdomadaire) si le débit du fleuve est inférieur à 800 m³/s pendant les 24 heures précédant la mesure;
- 2) un débit moyen calculé à partir de relevés horaires pendant les 24 heures précédant l'échantillonnage si le débit excède 800 m³/s.

Ce choix a été fait en raison des impacts progressifs entraînés notamment sur le para-écoulement par une modification du débit du fleuve.

Une bonne vision de l'impact hydrologique peut être donnée en représentant le rapport $\text{HCO}_3^- (\text{SA}) / \text{HCO}_3^- (\text{RH})$ en fonction du temps (figure 53). Il est intéressant de signaler que ce rapport est corrélé négativement avec les précipitations (figure 54). Les précipitations entraînent une dilution des eaux par des apports latéraux d'importance croissante, l'ultime extrémité étant la pénétration du Rhône dans la lône. La dilution conduit alors à une similitude des concentrations Rhône-lône. En l'absence d'apports superficiels, la hauteur d'eau baisse lentement; on peut concevoir une augmentation des teneurs ioniques par concentration, mais les eaux de la Morte sont alors dépendantes d'apports souterrains diffus par le sous-écoulement fluvial (ou la nappe phréatique) (figure 55). Les eaux souterraines, fortement chargées en bicarbonate de calcium (voir Tableau V - station PU), contribuent à rehausser les concentrations en éléments majeurs dès le retrait des eaux fluviales.

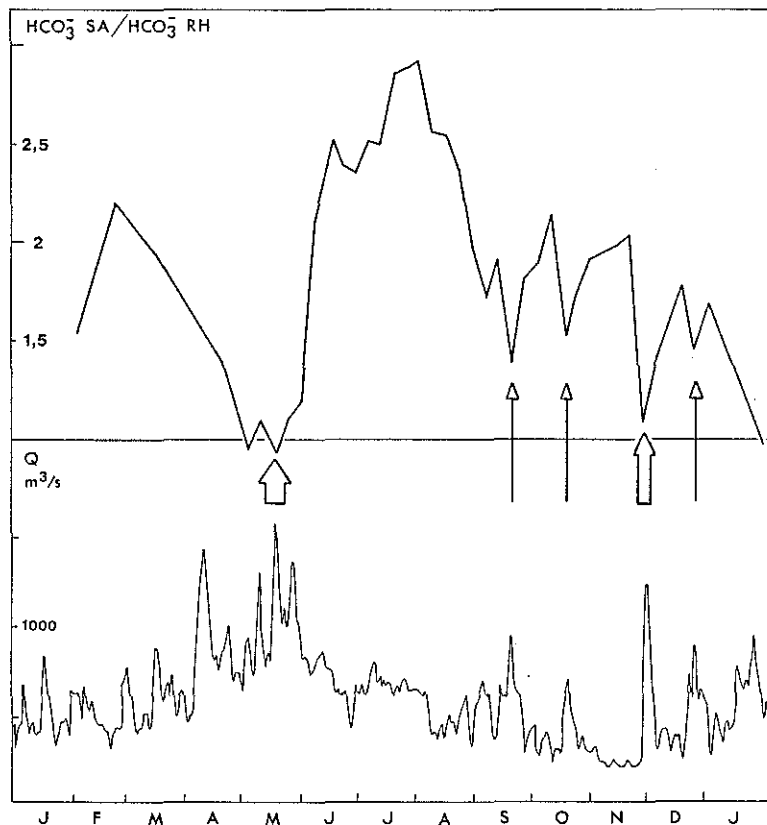


Figure 53 - Evolution du rapport HCO_3^- (SA) / HCO_3^- (RH) au cours de l'année 1983. Celui-ci tend vers l'unité lorsque l'impact hydrologique (crue) est suffisant. Il peut être légèrement inférieur à 1 lorsque la mesure s'effectue après la phase de submersion, alors que s'amorce le retrait des eaux.

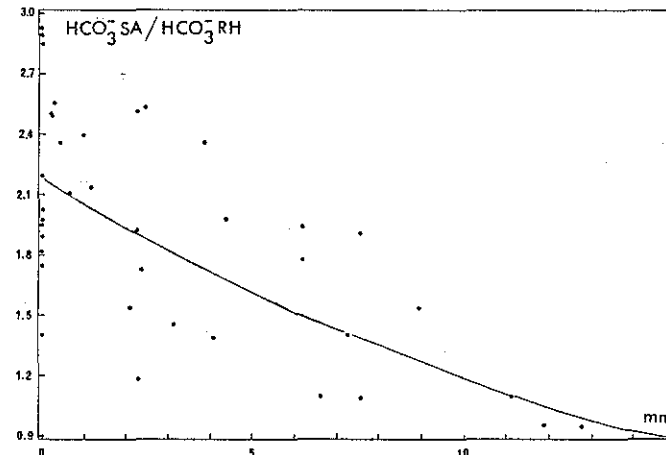


Figure 54 - Représentation du rapport HCO_3^- (SA) / HCO_3^- (RH) en fonction des précipitations. Les précipitations correspondent à une valeur moyenne calculée entre deux dates de prélèvements (ou, en l'absence d'échantillonnage, sur une durée de 7 jours).
 $[\text{HCO}_3^- \text{ (SA)} / \text{HCO}_3^- \text{ (RH)}] = 2,21 e^{-0,061 \text{ (Pluviométrie)}}$
 N = 38 $r = -0,73$
 Données de la Météorologie Nationale, station d'Ambérieu en Bugey, département de l'Ain.

Le Rhône intervient finalement selon deux voies distinctes à effets opposés :

- par le biais de son sous-écoulement en l'absence de crues, ces apports diffus sont difficilement discernables en raison du colmatage des sédiments et de l'activité biologique du milieu;
- par le biais du déversement qui entraîne une hausse ou une baisse des concentrations ioniques, à caractère "instantané", jusqu'à des valeurs seuils correspondant aux caractéristiques des eaux du chenal.

L'interaction des deux sources de renouvellement de la masse aquatique, rapides (crues) ou progressives (écoulement souterrain diffus), conduit à l'observation de deux types de courbes, à grandes amplitudes de variation. Elles sont caractérisées par un retour à l'état initial plus ou moins

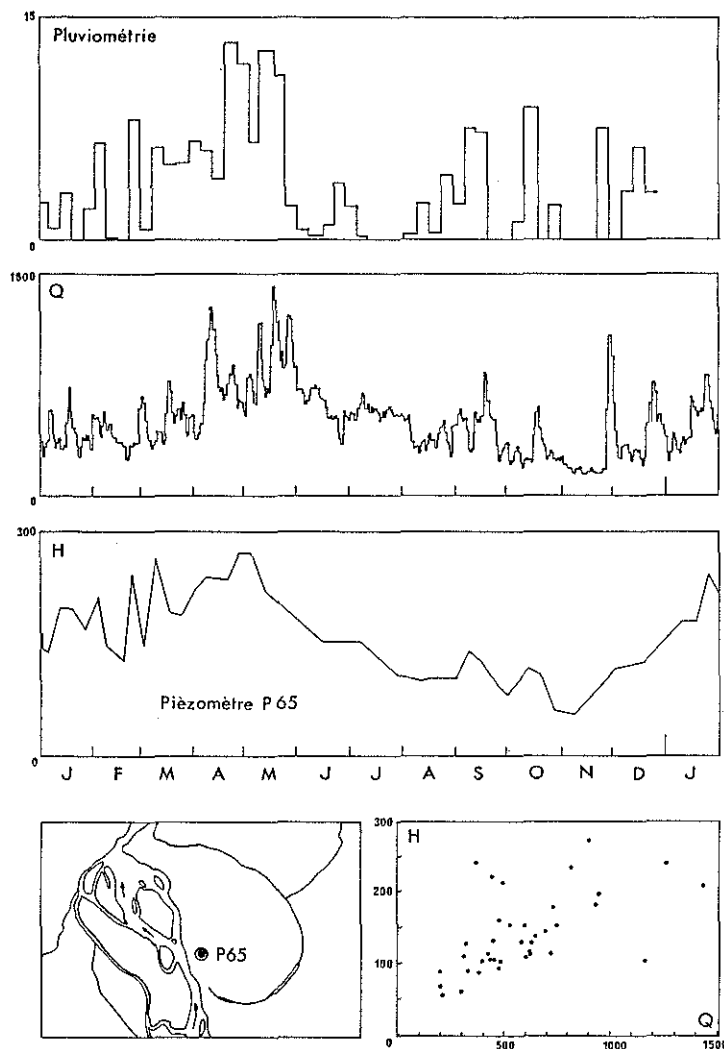


Figure 55 - Evolution saisonnière du niveau piézométrique (P65), mise en parallèle avec les précipitations locales et le débit du fleuve. représentation de la corrélation $H \text{ cm} = f(Q)$ et situation du piézomètre. La courbe $H \text{ cm} = f(\text{temps})$ est extraite du dossier d'étude d'impact "Plaine de Brangues, Le Bouchage, Les Avenières, Saint Benoît - 7" réalisé à la demande du Syndicat Intercommunal de Défense contre les eaux du Haut-Rhône (1985).

rapide car la rapidité de disparition de la perturbation dépend aussi de l'intérêt de l'ion considéré (sulfates, nitrates, par exemple) pour les organismes.

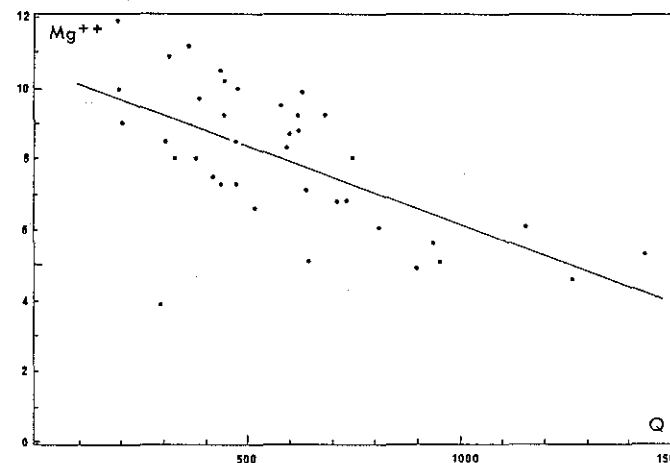


Figure 56 - Relation entre la teneur en ion Mg^{++} des eaux de la Morte du Sauget et le débit du fleuve. Les teneurs en magnésium sont données en mg/l. Le débit Q correspond au débit moyen du Rhône calculé selon les indications du § II-3-1.

$$[Mg^{++}] = -4,4 \cdot 10^{-3} Q + 10,60$$

$$N = 39 \quad r = -0,63$$

La teneur anormalement élevée du 2 février 1983 a été exclue du calcul.

En conséquence, la visualisation de l'impact hydrologique ne peut être faite qu'à l'aide d'un paramètre biologiquement peu sensible et il semblerait que l'ion Mg^{++} réponde relativement bien à cette description. Le tracé $Mg^{++} = f(\text{Débit du Rhône})$ (figure 56) montre (indépendamment d'une valeur anormalement élevée) l'enrichissement des eaux du plan d'eau en ions Mg^{++} lorsque le débit du fleuve baisse et vice versa. Le magnésium a été utilisé par WETZEL et OTZUKI (1974) pour déterminer les flux souterrains dans un lac.

La figure 57 met l'accent sur l'impact hydrologique. Le rôle de l'activité biologique sera discuté ci-après.

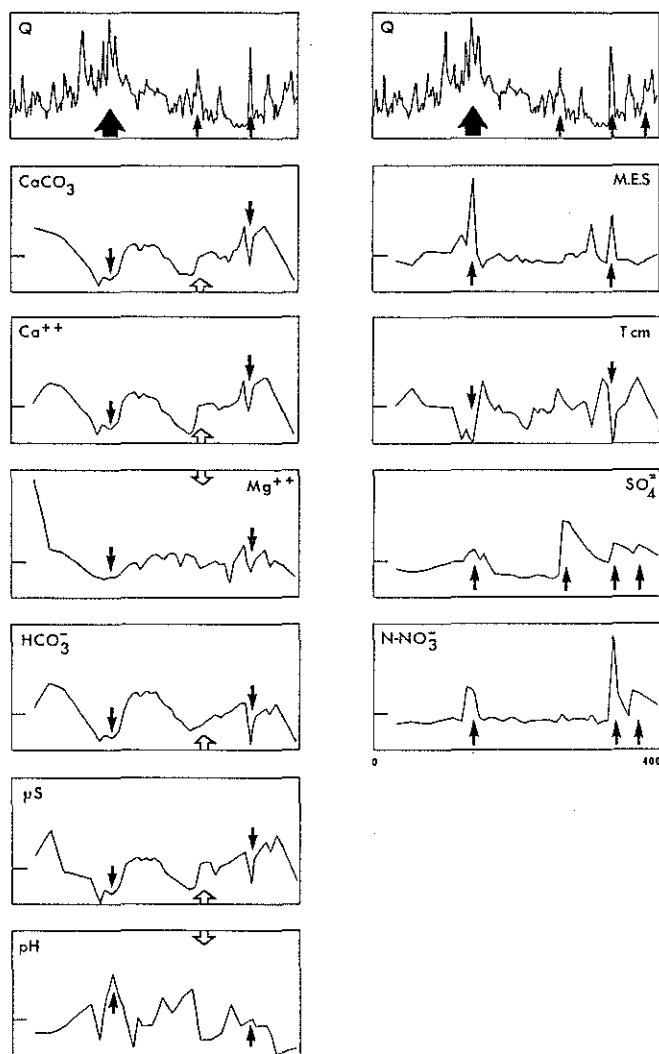


Figure 57 - Impact hydrologique du Rhône sur les caractéristiques physico-chimiques de la Morte du Sauget. L'atténuation de la perturbation s'effectue différemment selon les paramètres. Le temps de retour à l'état initial peut être long comme pour les ions de l'équilibre calco-carbonique et les paramètres associés, ou alors très court comme pour les M.E.S. (processus physiques de sédimentation), les ions sulfates et nitrates (processus bioréducteurs). Les variables sont centrées normées ($x_i - \bar{x} / \sigma$).

II-3-2 L'ACTIVITE BIOLOGIQUE

II-3-2-1 ETUDE DE LA STRATIFICATION

Parmi la totalité des paramètres mesurés, trois ont été suivis chaque quinzaine selon un profil vertical : la température, l'oxygénation et la conductivité. Les mesures ont été effectuées de la surface vers le fond tous les 20 cm, ceci en vue de cerner l'établissement de la stratification thermique et chimique dans ce type de milieu ainsi que les perturbations engendrées par le fleuve au cours des crues. Le brassage est plus ou moins rapide, fonction de la vitesse de montée des eaux. Le renouvellement de la masse d'eau dépend également du niveau atteint par la crue et de sa durée.

Entre le 22 février 1983 et le 31 janvier 1984, 23 profils verticaux ont été réalisés au point SA correspondant au maximum de profondeur de la Morte du Sauget.

II-3-2-1-1 Résultats et interprétation

En raison de l'impact hydrologique, la hauteur d'eau est très variable. Au cours des 23 dates d'échantillonnages, celle-ci a oscillé entre 1,60 et 3,20 m (figure 58), ce qui entraîne l'obtention de 8 à 16 relevés pour chaque paramètre.

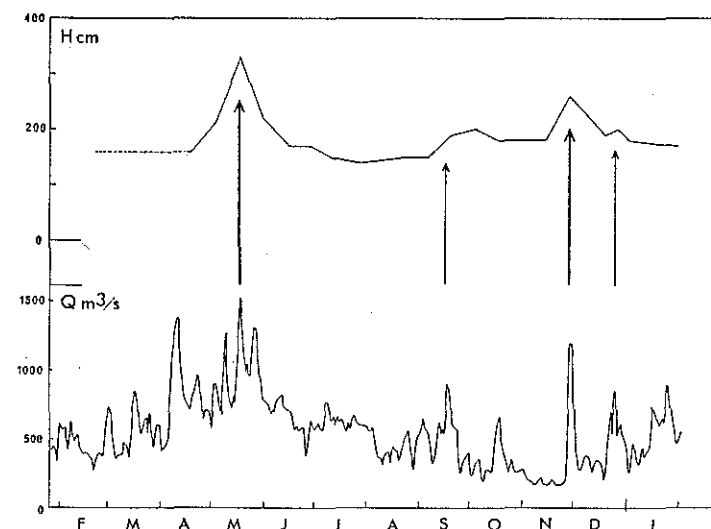


Figure 58 - Variation de la hauteur d'eau (H en cm) au point SA au cours de l'année 1983.

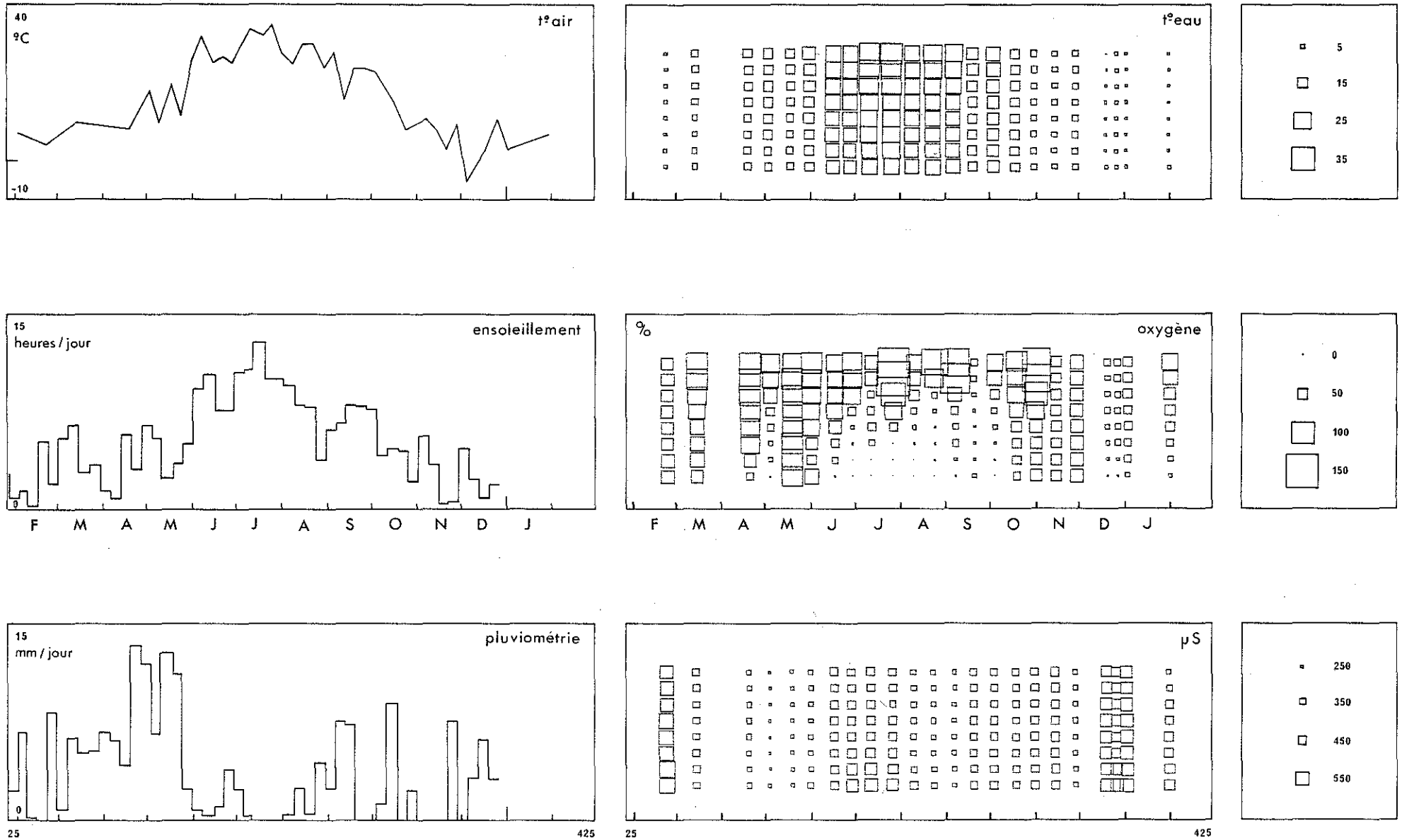


Figure 59 - Evolution saisonnière de la température de l'eau (en $^{\circ}\text{C}$), de l'oxygénation (en %) et de la conductivité (en μS) en fonction de la profondeur dans la Morte du Sauget. Mise en parallèle avec les principaux paramètres météorologiques.

La température de l'air est une valeur instantanée mesurée le jour du prélèvement. L'ensoleillement et la pluviométrie sont des valeurs moyennes obtenues à partir des relevés météorologiques d'Ambérieu-en-Bugey (Département de l'Ain) (Météorologie Nationale).

II- Caractérisation et différenciation physico-chimiques

Cet aspect a conduit à considérer la profondeur non plus en valeur absolue mais en valeur relative. Elle a été subdivisée en huit strates numérotées de 1 à 8 correspondant respectivement à la surface de l'eau, puis à 1/8, 1/4, 3/8, 1/2, 5/8, 3/4 et 7/8 de la profondeur.

Cette conception de l'espace peut apparaître gênante. Toutefois, la grande homogénéité au sein de la masse d'eau pendant les périodes de hautes eaux (profondeurs maximales) autorise cette simplification propice à une comparaison graphique des données, sans entraîner d'inconvénients majeurs.

On obtient ainsi 3 tableaux (23 dates x 8 strates) pour chaque paramètre; les dates sont exprimées en jours comptés à partir du 1er janvier 1983, noté 1 (Tableaux IX, X et XI).

Une représentation synthétique des données a été réalisée en plaçant à chaque intersection date-profondeur la valeur exacte sous la forme d'un espace physique carré dont le côté est proportionnel à la mesure (figure 59).

Les 3 paramètres reflètent les tendances générales de l'évolution physico-chimique des eaux au sein du milieu. La température, révélatrice du facteur saisonnier, intervient d'une part sur les caractéristiques ioniques par le biais des lois physiques discutées précédemment, d'autre part sur l'activité métabolique du sédiment, des organismes végétaux et animaux occupant le milieu. Le meilleur reflet de cette activité métabolique (respiratoire ou photosynthétique) est donné par les variations de l'oxygénation des eaux. La résultante des processus physiques et biologiques s'inscrit au niveau de la composition ionique; la conductivité est alors l'image idéale de cette évolution.

Ces trois paramètres sont perturbés par les crues du Rhône. Toutefois, la conductivité apparaît comme l'élément le plus démonstratif du renouvellement de la masse d'eau. L'arrivée massive d'eau d'origine fluviale entraîne une baisse importante de la charge ionique et par là-même de la conductivité.

II-3-2-1-1-1 Evolution de la température

Les profils de température sont relativement homogènes. La profondeur est insuffisante pour entraîner l'établissement d'une stratification thermique accentuée et stable. Quelques différences entre la surface et le fond existent cependant lorsque la température est très élevée (période estivale). L'écart maximal observé est de 8,4 °C. Un profil inversé est enregistré en hiver par des températures de l'air inférieures à 0 °C. La

température de l'eau s'établit alors de 0 °C sous la glace à +4 °C au fond. Il est intéressant de noter que la température de fond peut alors s'élever au dessus de +4 °C; une température de +4,4 °C a été mesurée à cette occasion. Ce phénomène est expliqué par WEITZEL (1983, p.79) à partir de courants de densité d'origine thermique créés par un réchauffement des eaux situées sous la glace dans les zones littorales peu profondes et qui glissent dans la partie centrale le long des sédiments. L'instabilité de ce gradient de densité thermique est compensée par la diffusion ionique depuis le sédiment, laquelle augmente suffisamment la densité de cette couche "chaude" pour justifier son maintien à proximité du fond.

Dans son ensemble, l'évolution générale de la température est peu perturbée. Seules les crues du printemps ont entraîné, en raison d'apports fluviaux plus froids, un abaissement général de la température des eaux de la lône, non observé en 1982.

Ecarts de température enregistrés entre le Rhône et la lône (t°SA - t°RH)

20 avril 1982	7,6 °C	19 avril 1983	0,7 °C
18 mai 1982	9,2 °C	18 mai 1983	2,8 °C

Une autre perturbation apparaît pendant les crues de saison froide. Elles entraînent cette fois un réchauffement des eaux (eaux du fleuve plus chaudes).

Remarque : Les variations thermiques engendrées par la montée des eaux fluviales, mesurées par un thermomètre enregistreur, ont permis d'estimer le débit minimum susceptible de modifier de façon sensible les caractéristiques physico-chimiques de la lône. Celui-ci a été estimé à 800 m³/s

II-3-2-1-1-2 L'oxygène

La répartition de l'oxygène est nettement clinograde en toute saison. L'accentuation de ce profil est fortement marquée pendant la saison chaude. La disparition quasi-totale d'oxygène se retrouve aussi en saison froide, en période de stabilité hydraulique et de précipitations. La répartition de l'oxygène est le reflet de la consommation biologique par la masse organique sédimentaire, de la production photosynthétique des macrophytes et des algues. L'oxygénation peut atteindre les deux extrêmes pour une faible variation de profondeur (de 0% à -1m à 153% à -20 cm le 26 juillet 1983).

L'homogénéité au sein du profil vertical ne s'observe qu'au cours des crues ou lorsque la température est proche de 4°C. Si le brassage s'effectue par les apports fluviaux, l'oxygénation s'apparente progressivement à celle de la masse d'eau pénétrant dans le milieu; elle dépend alors du niveau de la crue et de sa durée. Elle a été de 90% environ le 18.05.83 (Q = 1419 m³/s) et seulement de 60% le 28.11.83 (Q = 1169 m³/s). L'homogénéité obtenue à partir des phénomènes d'"overturn" s'observe aux intersaisons et conduit à une saturation moyenne des eaux.

Le rôle tenu par l'oxygène est fondamental dans l'évolution physico-chimique générale du plan d'eau. Cet aspect sera discuté de nouveau au cours de l'interprétation des résultats obtenus pour les sulfates.

II-3-2-1-3 La conductivité

La conductivité intègre la minéralisation de l'eau. Fortement corrélée à la charge calco-carbonique des eaux, elle constitue le révélateur préférentiel de l'interpénétration des différentes masses d'eau au cours du cycle annuel. Il est ainsi facile de visualiser l'impact des crues du Rhône sur la minéralisation de la lône (avril, mai et fin novembre). On remarquera une baisse sensible de la conductivité au cours de l'été, liée d'une part aux processus physiques discutés précédemment (cf. station RH), d'autre part à la précipitation biogénique du CaCO₃ induite par l'importante production primaire observée dans la Morte. La conductivité remonte rapidement vers la mi-septembre à la faveur des précipitations qui rehaussent le niveau du fleuve et de la nappe parafluviale, ainsi que celui de la nappe phréatique environnante. Toutefois, la hausse brutale de la conductivité résulte principalement d'un apport considérable de sulfates, à une concentration nettement supérieure à celle relevée dans le Rhône à cette date, dont la provenance n'est pas élucidée.

II-3-2-1-2 Conclusions

Cette présentation succincte de trois paramètres physico-chimiques enregistrés selon des profils verticaux au cours d'un cycle annuel, est démonstrative des nombreuses difficultés posées par ce milieu dont l'évolution est à la fois fixée :

- 1) par l'hydrologie superficielle (crues du Rhône, apports des ruisselets drainant la forêt d'Evieu et les terrains environnants),
- 2) par l'hydrologie souterraine (nappe phréatique alimentée par le système karstique à l'Est, nappe parafluviale soumise aux fluctuations de niveau du fleuve),
- 3) par l'activité biologique du sédiment fortement enrichi par des apports massifs de matière organique,

- 4) par l'activité photosynthétique des macrophytes et des algues,
- 5) par des activités humaines dont l'impact réel n'a pas été défini.

II-3-2-2 INTERVENTION DES PROCESSUS BIOLOGIQUES

Un aperçu succinct de cette activité a été donné lors de la présentation de la stratification de l'oxygène.

Elle est représentée selon deux modalités contradictoires, fortement exprimées par la répartition "clinograde" de l'oxygène :

- l'activité photosynthétique des macrophytes et des algues est responsable des sursaturations de la couche superficielle et des précipitations biogéniques du carbonate de calcium,
- l'activité métabolique respiratoire des organismes vivants, et plus particulièrement celle des micro-organismes du sédiment, à l'origine des conditions anoxiques.

II-3-2-2-1 Distribution des ions majeurs

II-3-2-2-1-1 Le système calco-carbonique (figure 60)

La quasi-totalité de la salinité des eaux de la Morte du Sauguet est le fait du bicarbonate de calcium dont les fluctuations sont liées, en sus des crues fluviales, à l'activité biotique. Les ions Ca⁺⁺ et HCO₃⁻ sont influencés :

- par le métabolisme bactérien qui libère du CO₂ favorisant la redissolution du CaCO₃ précipité et contribue ainsi au maintien des teneurs en bicarbonates,
- par la décalcification des eaux de surface et la complexation Calcium-matière organique qui conduit progressivement à un appauvrissement du milieu.

La prépondérance du système d'équilibre CO₂ - HCO₃⁻ - CO₃²⁻ garantit l'existence d'un fort pouvoir tampon. Le métabolisme bactérien du sédiment dont la teneur en matières organiques est très élevée, entraîne une baisse sensible du pH (moyenne annuelle : 7,5) au niveau de la couche superficielle. Des pH nettement alcalins induits par la production primaire n'ont jamais été mesurés malgré l'énorme biomasse végétale vivante, montrant à quel point la production de CO₂ est intense. L'évolution générale est naturellement liée à celle des ions HCO₃⁻ et Ca⁺⁺; de plus une corrélation négative très nette existe avec l'oxygénation. Cette dernière est indirectement le meilleur révélateur (parmi les paramètres mesurés) de l'activité métabolique du sédiment à l'origine de l'abaissement du pH.

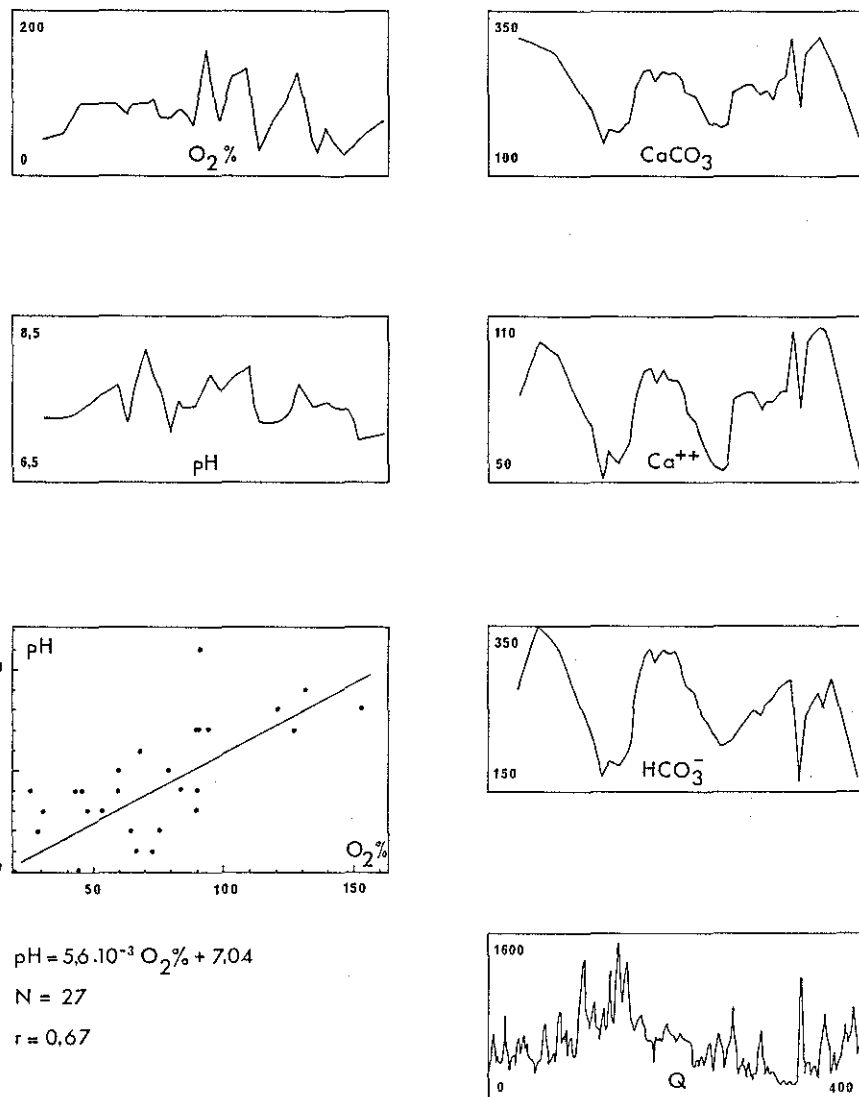


Figure 60 - Evolution annuelle du pH et des ions participant à l'équilibre calco-carbonique. Les teneurs des ions sont indiquées en mg/l.

Alors que le Rhône présente une alternance saisonnière de la conductivité, des duretés totale et calcique, et des bicarbonates, liée principalement aux lois physiques de la solubilité, cet aspect est totalement masqué dans la Morte du Sauguet, par le pompage biologique du CO₂ de la zone trophogène et la précipitation du CaCO₃ qui en résulte. A la fin de l'été, les teneurs en bicarbonates sont particulièrement basses en regard des valeurs initiales et ce, malgré la "régénération tropholytique" du métabolisme microbien anaérobie. Le tableau ci-dessous donne un aperçu du rôle joué par la végétation dans le système aquatique.

Date	µS à 20°C	HCO ₃ ⁻ mg/l	Ca ⁺⁺ mg/l
du 18.05.1982	524,0	345,3	101,0
au 08.09.1982	283,0	163,5	40,1
du 22.06.1983	424,0	320,9	91,8
au 06.09.1983	294,0	206,2	54,5
Baisse en 1982	241,0	181,8	60,9
Baisse en 1983	130,0	114,7	37,3
Pourcentages	46,0%	52,6%	60,3%
	30,7%	35,7%	40,6%

La très nette différence entre les années 1982 et 1983 est en rapport avec la biomasse végétale. En 1982, le développement des macrophytes a été tel qu'il ne persistait pratiquement plus de zones d'eau libre. Cette prolifération, et les conditions physico-chimiques de l'eau qui en ont résulté (forte teneur en ammoniac), ont entraîné une importante mortalité piscicole au cours de l'été 1982. Ces phénomènes ne se sont pas reproduits en 1983 car la densité végétale, sérieusement affectée par les conditions thermiques et hydrologiques des mois d'avril et de mai, a été moindre.

II-3-2-2-1-2 Les sulfates

Les sulfates ont, au même titre que les autres ions, trois provenances :

- 1) le cours superficiel du fleuve,
- 2) son para-écoulement,
- 3) la nappe phréatique environnante.

Une origine supplémentaire, mal définie, a été perçue au cours de

l'année 1983, liée soit à une pollution des eaux, soit à des phénomènes biologiques d'oxydation.

Les apports de surface pendant les crues fluviales ($Q > 800 \text{ m}^3/\text{s}$) apparaissent nettement (figure 61) par rapport à ceux opérés par le biais des eaux souterraines.

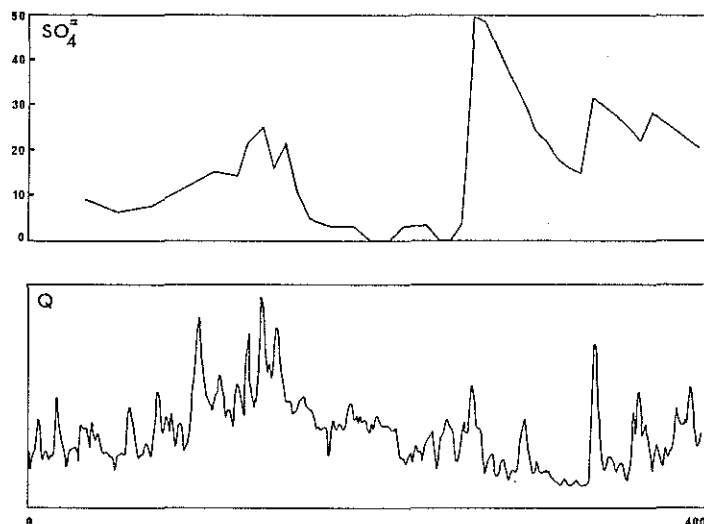


Figure 61 - Evolution des teneurs en sulfates dans la Morte du Sauget au cours de l'année 1983. Les teneurs sont exprimées en mg/l.

Dans le secteur d'étude, la vitesse d'écoulement des eaux souterraines étant nettement inférieure à celle connue en amont immédiat de l'agglomération lyonnaise, le renouvellement et les transformations physico-chimiques des eaux superficielles sont peu discernables au niveau des ions nutritifs. Les écoulements distincts provenant du para-écoulement du fleuve, des eaux infiltrées dans la terrasse alluviale perchée de la forêt d'Evieu (PELLETIER, 1982) et dans le karst du Bugey méridional constituent une circulation confuse, dépendante des précipitations et du débit du Rhône, qui conduit, en l'absence de pollution et d'activité métabolique intense, à l'obtention d'une valeur moyenne de 8 mg/l. Cette teneur augmente au cours des crues, s'effondre rapidement dès l'élévation de la température par suite de l'anaérobiose du milieu.

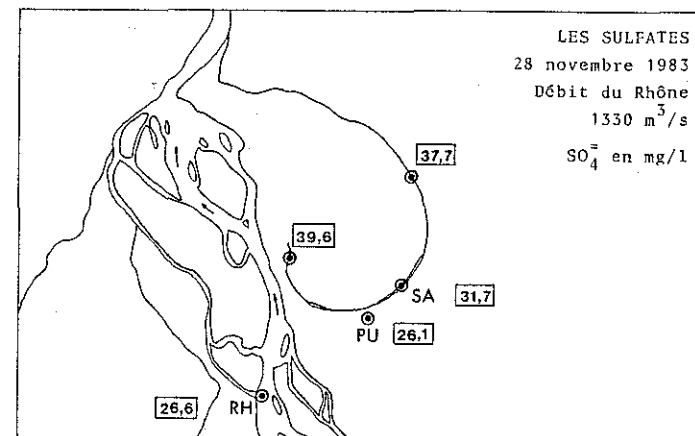


Figure 62 - Emplacements des différents points de mesure lors de la montée des eaux du 28 novembre 1983.

A la fin de l'été 1983, des valeurs anormalement élevées ont succédé aux crues automnales. En toute rigueur, la concentration des sulfates dans la lône ne devrait pas excéder celle du Rhône pendant une submersion (cas des crues de mai). Le 19 septembre 1983, alors que le méandre se vide après la crue des 16,17 et 18 septembre, la concentration des sulfates est de 49,5 mg/l, soit 28,2 mg/l de plus que dans le Rhône. Après une semaine, elle est encore de 48,6 mg/l; la teneur à l'exutoire du plan d'eau est de 109,7 mg/l. Une situation analogue se reproduit au cours de la crue du 28 novembre 1983. Trois prélèvements effectués pendant la phase de remplissage du méandre (figure 62) donnent respectivement d'amont en aval : 39,6 mg/l, 31,7 mg/l et 37,7 mg/l; la concentration dans le Rhône est de 26,6 mg/l.

La totalité de ces résultats laisse entrevoir l'existence d'apports dans les parties aval et amont du méandre.

Plusieurs hypothèses explicatives peuvent être avancées :

1) une contamination par les eaux du ruisseau de Saint Benoît qui conflue après l'exutoire du plan d'eau et dont on connaît la pollution par des effluents de laiterie.

2) un apport par un remblai de déchets de plâtre et de ciment

constitué au cours de l'été par les riverains,

3) une activité biologique d'oxydation des sulfures.

Le métabolisme anaérobie du sédiment est propice à une rapide réduction des sulfates provenant du fleuve et des eaux souterraines par les bactéries sulfato-réductrices strictement anaérobies. Le sulfure d'hydrogène et les sulfures produits par cette bioréduction sont facilement oxydés en milieu aérobie. On peut concevoir que ces formes réduites ont été dispersées dans les marais peu profonds qui occupent le méandre à la faveur des violentes crues du mois de mai, puis réoxydées pendant la période estivale. La remontée du plan d'eau dès les crues automnales aurait alors remis en circulation une importante quantité de sulfates d'origine biologique, entraînant ainsi une hausse anormale des teneurs.

II-3-2-2-1-3 L'azote nitrique

La teneur en azote nitrique des eaux de la Morte est faible, voire nulle. L'influence majeure reste celle des crues qui apportent un surplus momentané d'azote nitrique. Ce type d'apport est le plus perceptible et disparaît rapidement. L'impact des eaux souterraines est quasiment impossible à détecter, hormis peut-être en saison froide (figure 63). Mais les valeurs plus élevées de la fin du cycle d'observation apparaissent être le fait d'un enrichissement par les eaux fluviales, la disparition lente de l'azote nitrique est liée à une activité biologique réduite. Le colmatage considérable des sédiments dans le secteur d'étude atténue l'enrichissement en azote nitrique du plan d'eau. D'autre part, la masse organique et les conditions anoxiques du milieu favorisent la dénitrification. Il y a là une différence fondamentale avec les lônes du secteur de Jons (amont immédiat de Lyon) où la perméabilité du substrat est telle que les eaux superficielles sont renouvelées en permanence par les flux souterrains. Dans une étude du fonctionnement de la lône des Pêcheurs (secteur de Jons), Juget et coll. (1979) ont relevé une teneur de 4,1 mg/l de $N-NO_3^-$ dans la partie amont de cet ancien méandre soit environ 50 fois plus que dans la Morte du Sauget.

Dans le secteur de Saint Benoît, la teneur moyenne des eaux souterraines provenant du sous-écoulement du Rhône (station PU) est de 5,3 mg/l (S=1,2), donc suffisamment élevée pour fournir une importante quantité d'azote minéral au milieu prospecté. Ce flux d'azote nitrique n'est nullement appréhendé dans les eaux superficielles; il se traduit par contre par un enrichissement en azote ammoniacal des eaux proches du sédiment, et les teneurs peuvent alors être suffisantes, malgré la consommation par les végétaux, pour entraîner une mortalité des espèces piscicoles occupant la lône.

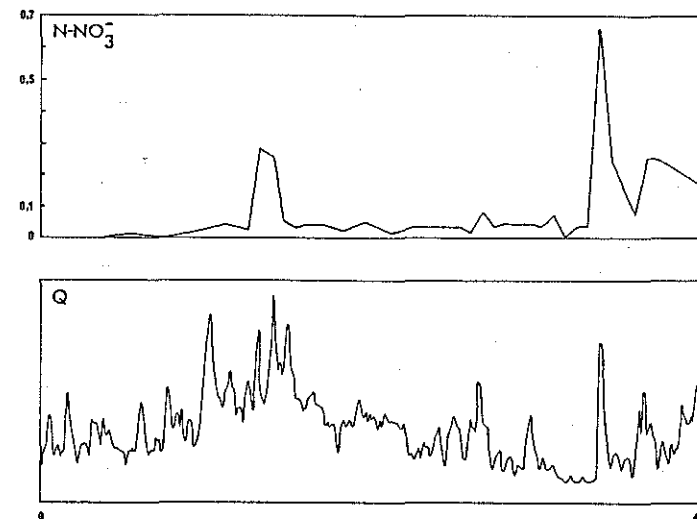


Figure 63 - Evolution des teneurs en azote nitrique dans la Morte du Sauget au cours de l'année 1983. Les teneurs sont exprimées en mg/l.

II-3-2-2-2 L'activité phytoplanctonique

La biomasse algale "pélagique" a été indirectement quantifiée par la mesure de la chlorophylle a. Cette biomasse ne représente d'ailleurs qu'une très faible proportion de celle produite dans la lône.

La teneur moyenne en chlorophylle a est 10 fois plus élevée que celle du Rhône.

L'oscillation des concentrations n'a aucun rapport avec les variations du régime hydrologique, hormis en cas de balayage par le fleuve (ex : crue maximale du mois de mai). Elles suivent le rythme observé classiquement dans les eaux stagnantes.

On trouve successivement un maximum printanier, une diminution sensible en été, puis un maximum d'automne. Les valeurs maximales ont été enregistrées au mois d'octobre : 115,6 mg/l le 18, 111,9 mg/l le 24 et 388,2 mg/l le 31 octobre. Les mauvaises conditions climatiques et hydrologiques des mois d'avril et mai ont probablement entraîné une atténuation du développement phytoplanctonique et une dispersion des algues génératrices du bloom printanier.

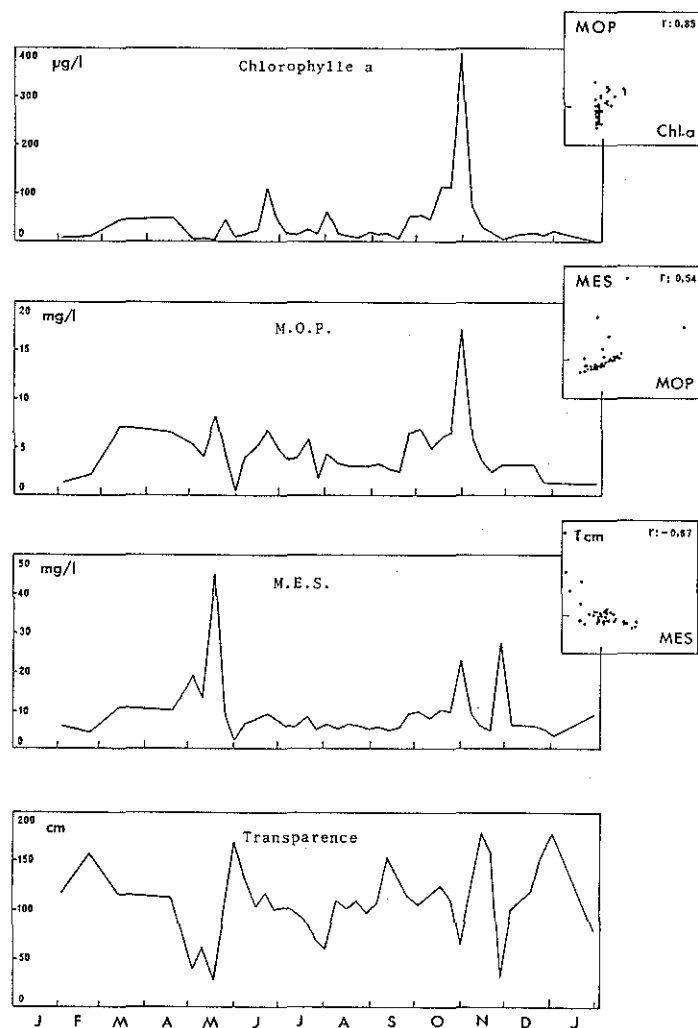


Figure 64 - Evolution de la chlorophylle a, des matières organiques particulières, des matières en suspension et de la transparence dans la Morte du Sauget. Les figures latérales donnent une représentation de la relation associant deux paramètres (variables centrées normées) ainsi que la valeur du coefficient de corrélation linéaire correspondant.

Bien que la mesure de chlorophylle a soit effectuée dans une zone d'eau libre, les macrophytes aquatiques, qui occupent la majeure partie de la lône et représentent une énorme biomasse végétale, constituent un facteur limitant pour le développement phytoplanctonique. Bien que le rôle exact tenu par les macrophytes (WETZEL, 1983, p.553) dans l'inhibition du phytoplancton ne soit pas clairement défini, il est malgré tout possible de penser que l'ombrage et la consommation de nutriments résultant de cette production végétale altère sensiblement le développement algal. La sénescence et la mort de ces macrophytes entraînent une redistribution massive des nutriments inorganiques, cet aspect peut constituer une explication partielle des fortes teneurs en chlorophylle a observées en octobre.

La productivité phytoplanctonique est responsable de l'accroissement des teneurs en matières organiques particulières. En l'absence de crues, la plus grande partie des matières en suspension est avant tout organique. En effet, les matières minérales proviennent principalement du fleuve pendant les crues, des eaux de pluie qui lessivent les terrains avoisinants et convergent vers la lône par les fossés de drainage. Ces apports ont un caractère épisodique; c'est pourquoi, contrairement à ce qui a été vu dans le fleuve, la chlorophylle a, les matières en suspension, les matières organiques et la transparence sont étroitement liées (figure 64).

II-3-3 CONCLUSIONS

La Morte du Sauget constitue une entité au sein de la vallée fluviale et ce, malgré les incursions épisodiques du fleuve et son peu d'indépendance hydrologique.

L'année 1983 a été marquée par des crues printanières à caractère exceptionnel (période de retour : 3,8 ans). Celles-ci ont perturbé le fonctionnement "normal" de la lône. Les crues sont à l'origine du maximum de variabilité observé en 1983 pour la totalité des paramètres, hormis la chlorophylle a. En l'absence de submersions, le niveau est fonction de l'écoulement souterrain, fortement dépendant du niveau fluvial. Les caractéristiques géochimiques de l'eau seront également dépendantes de cet écoulement.

L'hydrologie perd beaucoup de son influence lors de l'accélération des processus métaboliques du sédiment et de la végétation. Répondant à l'élévation de température, ils deviennent en fait les éléments déterminants des caractéristiques physico-chimiques de l'eau. Mais leurs impacts réels n'ont été perçus qu'à partir du mois de juin, postérieurement aux

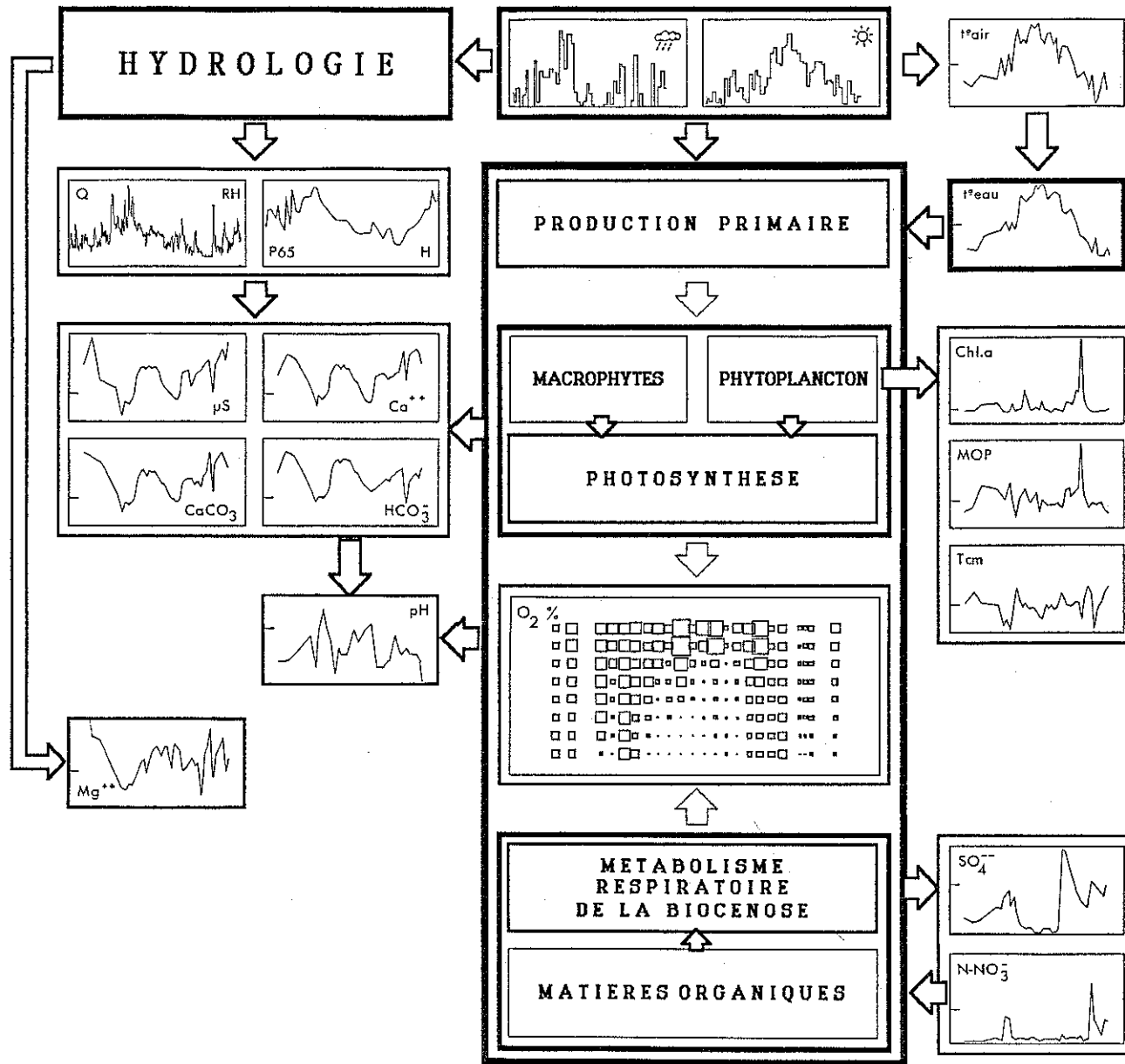


Figure 65 - Représentation schématique des principaux facteurs abiotiques et biotiques responsables des modifications physico-chimiques majeures observées dans la Morte du Sauguet au cours de l'année 1983.

inondations du mois de mai.

L'élévation de la température de l'air entraîne une stratification thermique puis chimique du milieu par le biais de l'activité biologique. Cette dernière génère une anoxie des couches profondes, la formation de dioxyde de carbone susceptible de remettre en solution le carbonate de calcium d'origine biogénique et favorise l'édifice bactérien strictement anaérobie responsable de la réduction des produits soufrés et azotés.

La figure 65 constitue un essai de regroupement des différentes influences et de leurs effets sur la physico-chimie des eaux.

Le nombre des paramètres étudiés dans cette station est relativement restreint en regard de la complexité des phénomènes entrevus. Ce travail reflète plus particulièrement l'impact des crues fluviales dans l'ancien chenal au détriment de l'activité métabolique des organismes vivants dont le rôle fondamental dans ce type de milieu est à étudier.

II-4 COMPARAISONS DES DIFFERENTS MILIEUX AQUATIQUES DE LA PLAINE ALLUVIALE.

Cette étude regroupe globalement une investigation portant sur 6 milieux aquatiques différents compris entre les ponts d'Evieu (amont) et de Groslée (aval). Ces milieux sont dépendants d'un seul hydrosystème: celui du Rhône, et ce, même si les annexes de la vallée fluviale ont des apports hydrologiques distincts du cours principal, à savoir le chenal.

Nous rappellerons succinctement les stations étudiées entre novembre 1980 et novembre 1984.

1) la station **RH** située sur le chenal, en zone hyperlotique, au niveau du hameau de l'Isle (Commune de Saint-Benoît - Ain),

2) la station **CH** située sur le premier tronçon de la lône des Grands Brotteaux (lône des Chèvres), les deux stations **3** et **4** placées sur les secteurs II et III de la lône des Grands Brotteaux (cf. figure 12),

4) les stations **5** et **6** correspondant aux cours inférieurs de l'Huert et de la Save, les deux affluents majeurs de ce secteur,

5) la station **SA** située au point médian de la Morte du Sauget, ancien méandre recoupé au XVII^{ème} siècle,

6) la station **PU**, l'un des puits du hameau de la Sauge placé à proximité du méandre du Sauget.

Seules les stations **RH**, **CH** et **SA** ont véritablement fait l'objet d'une étude suivie entre le 2 février 1983 et le 30 janvier 1984.

II-4-1 EVOLUTION COMPAREE DES PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES DANS LES TROIS PRINCIPALES STATIONS.

Une comparaison de l'évolution temporelle des variables physico-chimiques dans les trois stations **RH**, **CH** et **SA** est réalisée à partir d'une représentation graphique des données centrées et normées $(x - \bar{x} / \sigma)$ du tableau général des données (tableau XIII). Ce tableau regroupe 39 relevés x 15 paramètres x 3 stations.

Toutes les courbes sont rassemblées sur la figure 66.

Les stations du lit mineur (**RH** et **CH**) s'opposent totalement à celle du lit majeur (**SA**). Un seul paramètre évolue parallèlement dans les trois stations : la température de l'eau, mais les minimums et les maximums sont amplifiés dans la Morte du Sauget, milieu stagnant et peu profond, où l'absence d'un renouvellement actif des eaux favorise les extrêmes. L'inertie thermique caractéristique des grandes masses d'eau n'existe pas dans cette lône.

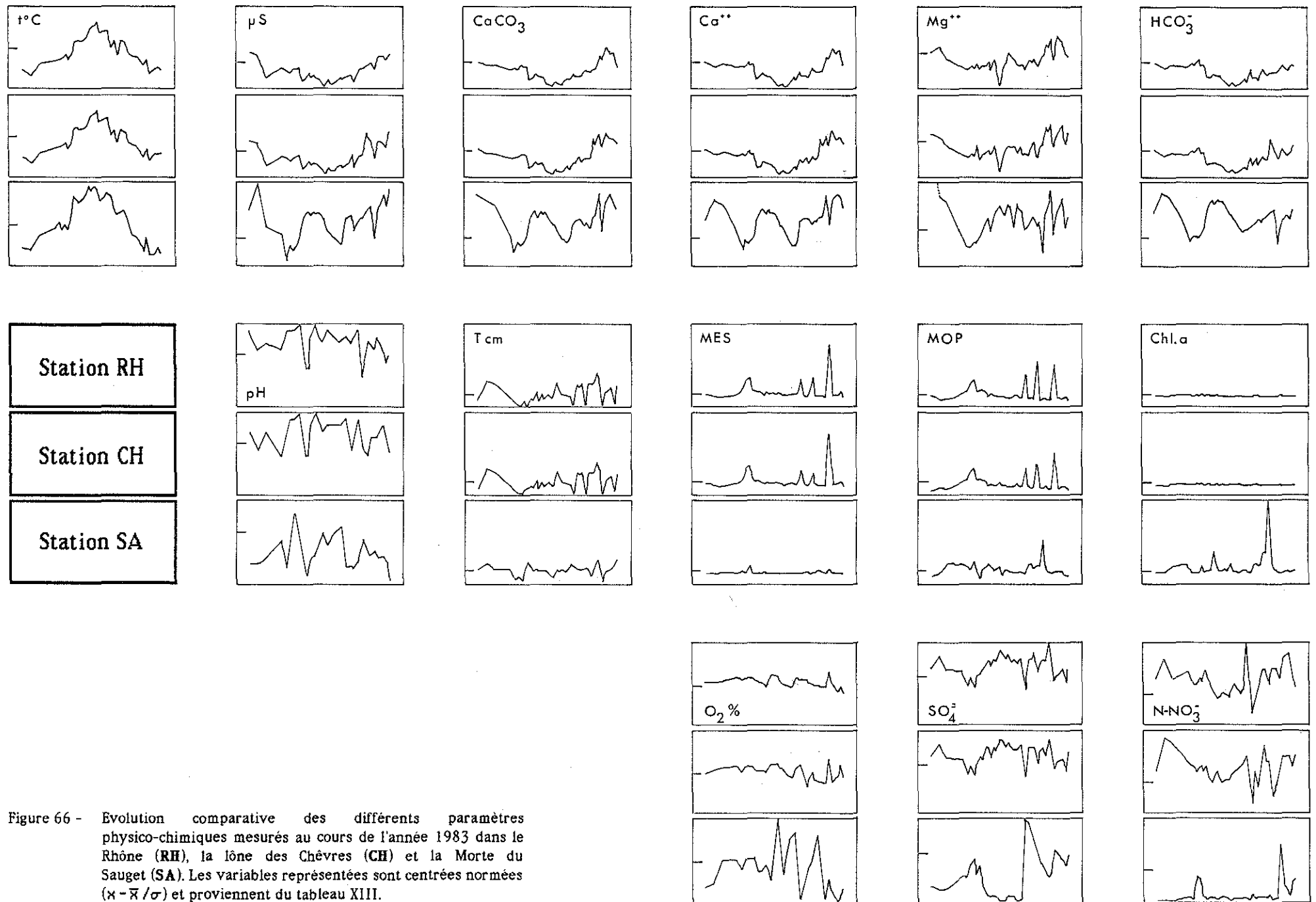


Figure 66 - Evolution comparative des différents paramètres physico-chimiques mesurés au cours de l'année 1983 dans le Rhône (RH), la lône des Chèvres (CH) et la Morte du Sauguet (SA). Les variables représentées sont centrées normées $(x - \bar{x}) / \sigma$ et proviennent du tableau XIII.

Les ions majeurs de l'équilibre calco-carbonique et la conductivité suivent un tracé saisonnier inverse du précédent. Cette "saisonnalité" est parfaitement inversée par rapport à la température de l'eau dans le lit mineur, et apparemment sans aucune relation avec la température de l'eau dans la Morte du Sauget. La notion de saison a une autre signification dans cette lône, la baisse observée est en premier lieu dépendante de l'activité photosynthétique des macrophytes. L'impact biologique est nettement supérieur à celui des processus physiques.

La teneur en Magnésium varie fortement dans la Morte du Sauget. On remarquera que les concentrations s'élèvent au cours de l'été et que toute augmentation importante du débit du Rhône entraîne immédiatement une diminution des teneurs. Cependant la valeur la plus basse enregistrée coïncide exactement avec le bloom phytoplanctonique de l'automne. La demande biochimique a été suffisamment importante pour provoquer un effondrement de la charge magnésienne. La hausse estivale peut être mise en relation avec un abaissement du niveau sous l'effet de l'évapo-transpiration avec concentration de la solution. Les composés magnésiens sont en effet beaucoup plus solubles que leurs homologues calciques, et l'utilisation biologique de l'ion Mg^{++} est minime en regard des teneurs existantes.

Le pH des eaux est plus élevé et plus stable en milieu lotique qu'en eaux stagnantes. Dans les trois stations prospectées, la tendance générale est une augmentation estivale du pH sous l'effet des activités biologiques. Dans le Rhône, cette hausse modérée est liée aux apports lémaniques prédominants, à l'activité phytoplanctonique des eaux du fleuve renforcée par l'existence des nombreuses retenues. La diminution du pH observée dans les différentes stations est le fait d'une augmentation des apports souterrains, ou pour le Rhône d'un changement des apports hydrologiques superficiels. Les élévations subites du pH dans la Morte du Sauget sont le fait des crues du Rhône avant d'être celles engendrées par la photosynthèse.

Les matières minérales en suspension, dont les teneurs sont fortement corrélées avec le débit dans le lit mineur, sont quasiment inexistantes dans la Morte du Sauget. Dans cette dernière, la charge en suspension est avant tout organique, représentée notamment par des organismes phytoplanctoniques. La chlorophylle a donne l'expression indirecte de cette biomasse.

Les sulfates constituent un descripteur de l'hydrologie fluviale ainsi qu'un révélateur des incursions du fleuve dans le méandre du Sauget. L'activité métabolique entraîne une rapide disparition de la charge

excédentaire. Les nitrates peuvent aussi être considérés comme révélateurs des arrivées d'eaux superficielles mais la "rémanence" de l'ion est trop brève pour qu'un relevé hebdomadaire puisse enregistrer l'effet "Rhône".

L'activité métabolique est le principal facteur modifiant le pourcentage de saturation en oxygène des eaux. Alors qu'il est peu fluctuant dans le Rhône et la lône des Chèvres, il varie dans des proportions considérables dans les eaux de surface de la Morte du Sauget. Les maximums ne dépendent plus d'échanges air-eau favorisés par le brassage, mais de la photosynthèse; quant aux minimums, ils sont induits par l'activité respiratoire de la biocénose et plus particulièrement du sédiment.

Cette étude montre que la capacité de renouvellement en eau d'un hydrosystème, ainsi que la rapidité des échanges, conditionnent singulièrement son évolution physico-chimique. L'impact du débit, très exprimé au niveau du Rhône et de la lône des Chèvres, s'estompe en milieu lentique ou stagnant au profit d'un facteur sous-jacent : le système biologique. L'évolution générale des caractéristiques d'une eau (indépendamment de la nature géochimique du bassin versant) est régie par les possibilités d'échanges hydrologiques existant entre les différents compartiments de la vallée fluviale.

II-4-2 DIFFERENCES ESSENTIELLES AU SEIN DE LA VALLEE FLUVIALE.

S'il n'existe pas de différences quant à la nature des ions majeurs dosés dans les 6 milieux présentés précédemment, leurs concentrations respectives, par contre, oscillent à des niveaux extrêmement différents. Le tableau ci-dessous indique les valeurs moyennes des principaux paramètres.

	μS	Ca	Mg	HCO_3	SO_4	N. NO_3	pH
Rhône (RH)	286,0	54,3	6,3	144,7	35,3	0,54	8,0
Chèvres (CH)	296,0	56,5	6,8	152,1	35,3	0,52	7,9
Sauget (SA)	381,0	78,2	8,7	254,2	14,2	0,07	7,5
Huert (5)	515,0	108,3	11,2	337,0	17,9	1,15	7,7
Save (6)	503,0	110,4	8,8	329,0	11,1	1,92	7,7
Puits (PU)	523,0	96,1	13,7	310,3	23,5	5,30	7,6

La cartographie des valeurs moyennes par carrés (figure 67) permet de visualiser les principales différences existant entre ces milieux aquatiques. Il est ainsi possible de reconnaître :

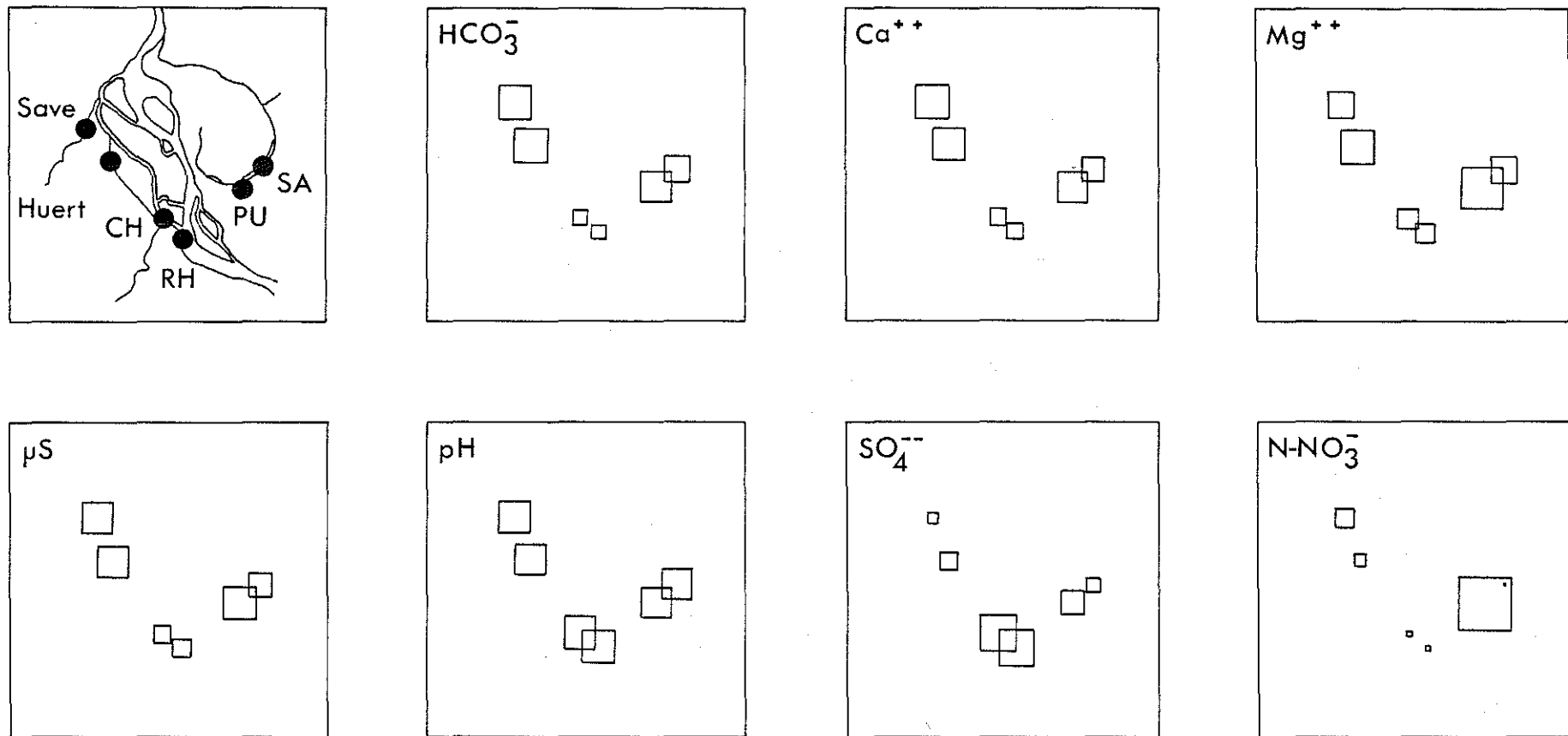


Figure 67 - Représentation des valeurs moyennes des principaux paramètres physico-chimiques, enregistrés dans six stations distinctes. Le côté des carrés est proportionnel à la valeur du paramètre.

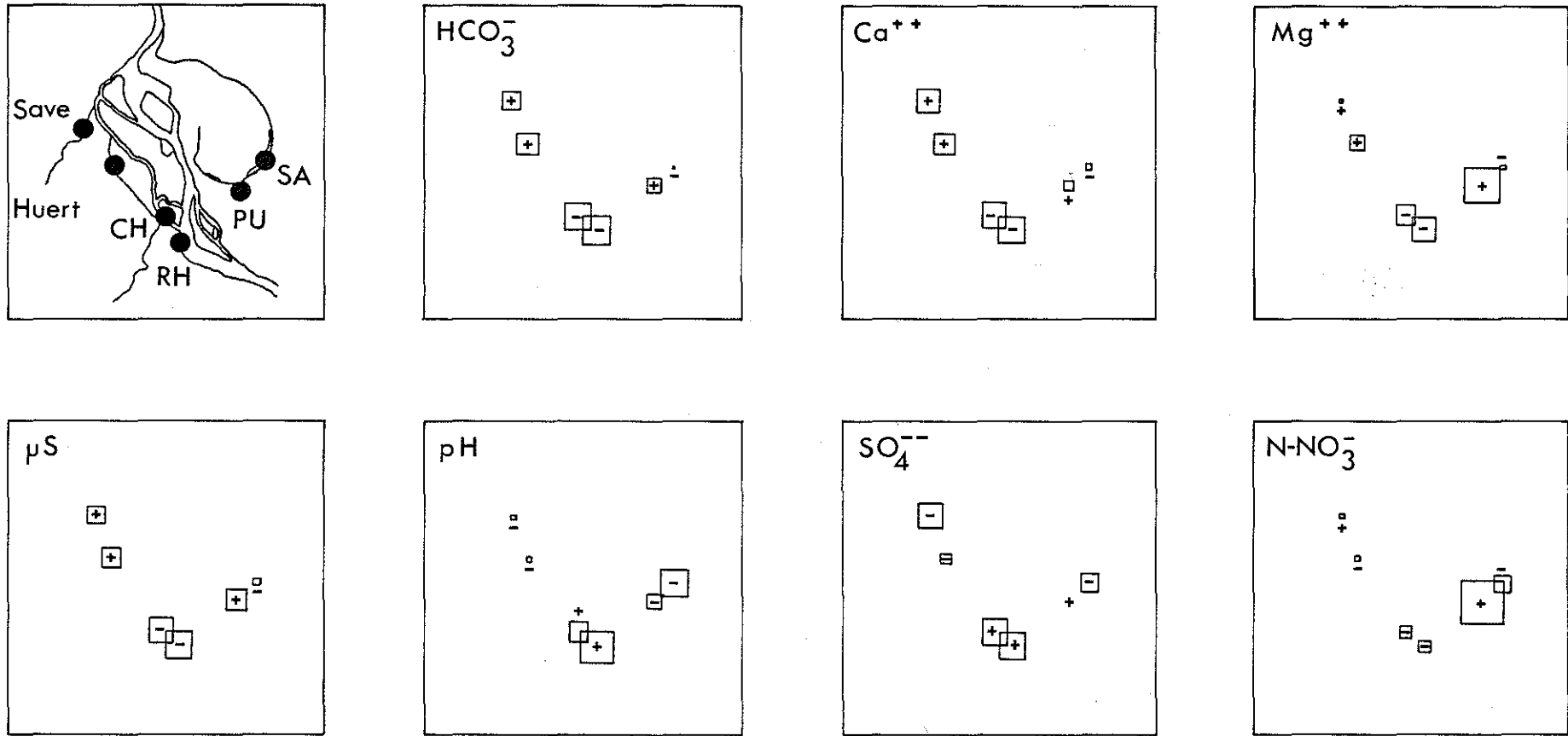


Figure 68 - Représentation des valeurs moyennes des principaux paramètres physico-chimiques. Les valeurs sont centrées normées selon $x - \bar{x}/\sigma$. Chaque carré est muni du signe résultant de la transformation.

1) l'existence de deux types d'eau, d'une part celle du chenal, ou directement liée à ce dernier (stations **RH** et **CH**), d'autre part celle à la périphérie du système axial (cours inférieurs des affluents, lône stagnante, para-écoulement); la distinction se fait essentiellement à partir de la minéralisation globale (conductivité) représentée par le système calco-carbonique (Ca^{++} et HCO_3^-),

2) une opposition nette de ces deux systèmes aquatiques en raison de l'antagonisme Sulfates-Bicarbonates,

3) l'existence de l'azote nitrique comme révélateur-type des eaux souterraines.

Si on admet que le cours inférieur des affluents draine partiellement les eaux souterraines issues du para-écoulement rhodanien, les sulfates montrent alors l'influence exercée par les eaux du chenal sur les milieux aquatiques environnants, par le biais des eaux souterraines. Ce gradient observé parallèlement au fleuve est certainement le meilleur reflet de l'interaction existant entre les masses d'eau d'origine fluviale (superficielles et souterraines) et celles n'ayant pas de relations directes avec le fleuve mais convergeant vers le drain principal de la plaine alluviale. Le point **SA** mérite toutefois d'être individualisé en raison des particularités observées au cours de l'année 1983.

Une description optimale est obtenue, par la transformation du tableau précédent en centrant puis en normalisant les valeurs selon $\frac{\sigma}{\bar{x}}$, et par une représentation identique à la précédente (figure 68).

Cette figure montre ainsi qu'une différence existe aussi au niveau du pH. Les eaux souterraines étant enrichies en CO_2 par la décomposition des substances organiques du sol, celles de la Morte du Sauguet par le métabolisme intense de la zone tropholytique, ces milieux aquatiques présentent un abaissement sensible du pH en regard des eaux fluviales superficielles dans un système pourtant fortement tamponné.

La transformation des données initiales valorise un autre descripteur des eaux souterraines : le magnésium, élément exprimé négativement dans les eaux fluviales. On remarquera que l'impact des eaux souterraines sur l'Huert est aussi visualisé par ce paramètre.

Les ions majeurs et les paramètres associés peuvent servir de base pour l'établissement d'une typologie des eaux permanentes de la vallée fluviale. La valeur moyenne et la variation des principaux paramètres ont ainsi été utilisées par le groupe PIREN-Rhône pour une cartographie du réseau fluvial (Rapport PIREN, 1982).

Le Rhône et la lône des Chèvres appartiennent à l'**eupotamon** dont les caractéristiques essentielles sont :

- un débit important,
- un flux unidirectionnel,
- une conductivité faible ($< 400 \mu\text{S}$) à forte variation ($\frac{\sigma}{\bar{x}} > 10\%$),
- une teneur élevée en sulfates ($> 20 \text{ mg/l}$).

Toutefois, il a été vu qu'au cours des étiages, la conductivité peut être beaucoup plus élevée dans les bras secondaires quand ceux-ci sont alimentés préférentiellement par les eaux du sous-écoulement. Le 15 novembre 1984, pour un débit de $120 \text{ m}^3/\text{s}$ à Sault-Brénaz, la conductivité atteint $450 \mu\text{S}$ dans la lône et $339 \mu\text{S}$ dans le Rhône. Ce phénomène à caractère purement épisodique est néanmoins observé à chaque étiage. La différence de conductivité est conditionnée par la profondeur et la durée de l'étiage. La lône se présente alors comme un **parapotamon** (ancien chenal isolé du fleuve à l'amont, soumis à un rythme de flux et de reflux), et ce jusqu'au rétablissement de l'écoulement à l'amont.

Les cours inférieurs de l'Huert et de la Save appartiennent au **pseudopotamon**, regroupant des milieux courants à flux unidirectionnel mais de faibles débits. L'enrichissement ionique de ces rivières par le para-écoulement fluvial est perçu notamment dans l'Huert par une élévation des teneurs en sulfates, lorsque l'étiage se généralise sur la totalité du réseau hydrographique.

La Morte du Sauguet constitue un milieu beaucoup plus difficile à classer en raison de ses nombreuses particularités. Si l'on considère seulement le fait des submersions pendant l'année 1983, cette lône sera placée hâtivement comme **plésiopotamon**, système dans lequel se situent les anciens chenaux appartenant au lit majeur, en cours d'atterrissement, soumis épisodiquement aux crues. Mais il a été vu que les perturbations majeures engendrées par les crues sont en fait de courte durée et qu'elles n'ont qu'un rôle minime dans l'évolution générale de la lône.

La comparaison des paramètres enregistrés sur dix prélèvements répartis entre le 23 mars et le 8 septembre 1982, pendant une période où aucune crue n'est venue perturber le fonctionnement "normal" de la lône, avec les résultats de l'année 1983 montre que la conductivité moyenne des eaux de surface et sa variation ne sont guère différentes d'une année à l'autre.

1982	374 μS	$\frac{\sigma}{\bar{x}} = 22,6 \%$	10 relevés
1983	390 μS	$\frac{\sigma}{\bar{x}} = 22,0 \%$	40 relevés

Le calcul des moyennes à partir des 23 profils verticaux établis en 1983 permet de mieux cerner la réalité par intégration des différents niveaux.

Surface	387 μ S	$\sigma / \bar{x} = 21,1 \%$
Fond	428 μ S	$\sigma / \bar{x} = 21,6 \%$
Moyenne	400 μ S	$\sigma / \bar{x} = 20,4 \%$

La baisse de conductivité engendrée par l'activité photosynthétique est aussi importante que celle provoquée par le passage d'une crue.

D'autre part, la faiblesse des teneurs en azote nitrique, en sulfates, et leurs variations importantes, liées à une conductivité moyenne proche de 400 μ S ($\sigma / \bar{x} > 10\%$) apparaissent comme autant de critères susceptibles de classer cette lône parmi le **paléopotamon**. Ce dernier rassemble les anciens lits du fleuve, isolés du lit majeur soit naturellement soit artificiellement par l'édification de digues.

Le paléopotamon est dit **colmaté** ou **non colmaté** selon que les sédiments interdisent ou non des apports d'eaux souterraines. Cette lône est munie de particularités lui conférant une position intermédiaire entre ces deux types paléopotamiques en raison d'apports hydrologiques à la fois superficiels et souterrains. On considérera que les crues du Rhône, malgré leurs effets spectaculaires, sont devenues un facteur d'évolution du milieu de peu d'importance vis à vis de celui constitué par la production végétale. Il est certain que l'extension considérable des marais dans les parties aval et amont du méandre, et la faible taille de l'exutoire affectent sérieusement les effets résultant d'une importante élévation du débit du Rhône.

-III-

**ETUDE
DES POPULATIONS D'ALEVINS**

III - ETUDE DES POPULATIONS D'ALEVINS

III-1 LA TERMINOLOGIE APPLIQUEE AUX JEUNES POISSONS

III-1-1 GENERALITES

En France, il est habituel et commode de regrouper sous le terme "alevins", les individus d'âge 0+ (première année de leur vie), quel que soit leur stade de développement. Toutefois, cette simplification extrême ne peut suffire et la nécessité d'une terminologie adaptée apparaît rapidement.

La profusion du vocabulaire scientifique se rapportant à ce sujet, la diversité et le nombre d'intervalles créés pour la description du développement, l'existence de nombreuses contradictions, rendent nécessaire et utile l'établissement d'une terminologie unique. Ce travail, proposé par SNYDER (1976), est encore loin de faire l'unanimité (PENAZ, com. pers.).

Dans cet énorme travail de synthèse, SNYDER (1976) ne cite pas moins de 70 termes, bien souvent synonymes, se rapportant uniquement à des intervalles postérieurs à l'éclosion, et trouvés parmi 360 références bibliographiques. Les principales subdivisions appliquées au développement des jeunes poissons, sont basées sur l'existence ou l'absence du sac vitellin, l'apparition d'une nutrition exogène, et/ou sur la différenciation des nageoires et des rayons. Parmi 15 terminologies décrites par SNYDER (dont les termes créés par les auteurs ont été définis), deux ont été retenues en raison de l'intérêt qu'elles présentent pour une étude des populations de jeunes poissons. Elles ont été proposées par BALON (1971 et 1975b) et par SNYDER (1976). La seconde admet les termes attribués par BALON aux périodes du développement.

Les terminologies établies par ces deux auteurs sont récentes et intègrent l'ensemble des informations données par d'autres chercheurs, ainsi que les termes qu'ils ont pu employer. Elles représentent sensiblement les deux tendances pouvant être trouvées dans ce domaine.

III-1-2 LA TERMINOLOGIE PROPOSEE PAR BALON (1975)

BALON distingue 5 périodes dans la vie d'un poisson: **embryonnaire, larvaire, juvénile, adulte et senescente.**

La **période embryonnaire (embryon)** commence à la

fertilisation du gamète femelle. La caractéristique essentielle de cette période est l'existence d'une nutrition **exclusivement endogène** à partir des réserves vitellines. Elle peut se poursuivre après l'éclosion.

La **période larvaire (larve)** débute lorsque la croissance de l'embryon ne peut se suffire du vitellus et que s'instaure une nutrition **exogène**. Elle se poursuit habituellement jusqu'à la formation ou l'ossification du squelette axial, la différenciation de la membrane natatoire et/ou sa disparition.

La **période juvénile (juvénile)** va de la différenciation totale des nageoires et du remplacement de la plupart des organes temporaires par des organes définitifs, jusqu'à la première maturation des gamètes.

La **période adulte (adulte)** est caractérisée par la capacité de reproduction et le comportement reproducteur de l'individu, souvent accompagnés de différenciations pigmentaires et morphologiques.

La **période sénescence (sénescence)** qualifie l'individu âgé dont la croissance est faible ou nulle et dont les potentialités de reproduction sont sérieusement altérées.

Chaque période a été subdivisée en phases.

La période embryonnaire en comprend trois : **clivage, embryonnaire et éléuthéro-embryonnaire.**

La phase de clivage s'arrête au début de l'organogénèse; la phase embryonnaire inclut l'organogénèse et se poursuit jusqu'à l'éclosion; la phase éléuthéro-embryonnaire (du grec: eleutheros = libre) se termine lorsque le poisson présente une nutrition exogène.

La période larvaire est divisée en deux phases : **protoptérygiolarvaire et ptérygiolarvaire.** La première débute avec la nutrition exogène et s'arrête lorsqu'apparaissent les premières ébauches mésenchymateuses des nageoires anales et dorsales au sein de la membrane natatoire embryonnaire. La seconde intègre la différenciation totale des nageoires et la disparition de la membrane natatoire.

Les autres périodes (juvénile et adulte) ne présentent, au moins pour les espèces étudiées au cours de ce travail, qu'une seule phase dont le nom est le même que celui attribué à la période.

III-1-3 LA TERMINOLOGIE PROPOSEE PAR SNYDER (1976)

SNYDER propose une nouvelle définition de la période larvaire et

sa subdivision en trois phases : **protolarvaire**, **mésolarvaire** et **métalarvaire**. Ces trois phases sont basées sur une ou plusieurs séquences de la morphogénèse de la membrane natatoire et des éléments de soutien des nageoires (épines et rayons). Les nageoires paires (pectorales et pelviennes) sont prises en compte dans la définition du dernier stade.

Selon cet auteur, la période **larvaire** des poissons osseux suit immédiatement l'éclosion. La transition avec la période juvénile est basée sur l'existence des trois critères suivants:

- 1) la membrane natatoire doit être résorbée et non visible;
- 2) la totalité des épines (actinotriches) et des rayons (lépidotriches) des nageoires trouvés chez l'adulte, y compris les rayons secondaires, doit être distincte dans toutes les nageoires;
- 3) la segmentation de quelques rayons doit être visible dans chaque nageoire munie de rayons segmentés chez l'adulte.

La phase **protolarvaire** (**protolarve**) est caractérisée par l'absence d'épines ou de rayons distincts aux emplacements des futures nageoires impaires (dorsale, anale et caudale). Elle débute à l'éclosion et se termine avec l'apparition d'au moins une épine ou d'un rayon dans les futures nageoires impaires. Les nageoires pectorales et pelviennes ou leurs ébauches peuvent ou non être présentes.

La phase **mésolarvaire** (**mésolarve**) est caractérisée par la morphogénèse des principaux rayons dans les nageoires impaires. La transition avec la phase suivante est basée sur les deux critères suivants, les deux devant être trouvés simultanément, hormis chez les espèces ne présentant pas de nageoires pelviennes à l'état adulte :

- 1) la totalité des principaux rayons mous doit être distincte dans chaque nageoire impaire;
- 2) les nageoires pelviennes ou leurs ébauches doivent être visibles.

La phase **métalarvaire** (**métalarve**) débute avec l'acquisition des caractéristiques marquant la fin de la phase mésolarvaire. La transition avec la période juvénile est donnée dans la définition de la période larvaire.

III-1-4 COMMENTAIRES

Pour l'écologiste, l'intérêt de la terminologie proposée par BALON réside essentiellement dans le choix d'un critère nutritionnel pour marquer la fin de la période embryonnaire. En effet, le développement embryonnaire se poursuit après l'éclosion et celle-ci ne constitue qu'un

caractère artificiel distinct au même titre que celui qui peut être attribué à une phase (BALON, 1975b). Les embryons d'une même espèce sont susceptibles d'éclore à des stades différents selon les conditions abiotiques auxquelles ont été soumis les oeufs; le facteur principal est la température, bien que d'autres puissent jouer le même rôle, par exemple l'oxygénation de l'eau et la composition physico-chimique de l'eau (CERNY, 1977). En général, le développement embryonnaire depuis la fertilisation jusqu'à l'éclosion est prolongé par des températures basses et accéléré par les hautes températures. La température d'incubation détermine l'évolution morphologique, le taux d'éclosion et le comportement de l'éléuthéro-embryon; ce facteur apparaît le plus important en raison des effets directs sur la chronologie des événements ontogénétiques (BAGENAL & BRAUM, 1978, p. 189).

Le sac vitellin confère à l'éléuthéro-embryon une indépendance vis à vis des sources nutritives exogènes au moins pendant les premiers jours. La plupart des éléuthéro-embryons présentent donc une période de relative passivité ponctuée par une activité locomotrice réduite.

De nombreuses espèces [*Esox lucius*, *Cyprinus carpio*, *Blicca bjoerkna*, *Scardinius erythrophthalmus*, *Tinca tinca*, *Cobitis taenia*... (BALON, 1975a), *Rutilus rutilus* (CERNY, 1977)] sont munies de glandes adhésives à l'éclosion leur permettant ainsi de se fixer à des supports divers.

En fin de phase éléuthéro-embryonnaire, l'accroissement de l'activité motrice pour le remplissage de la vessie natatoire coïncide avec celui relatif à la nutrition exogène.

Ces caractéristiques propres à l'éléuthéro-embryon expliquent sa quasi-absence dans les échantillons. La capture des jeunes poissons commence généralement avec l'activité motrice des larves, justifiée par la recherche de nourriture.

L'observation de proies dans le tube digestif constitue le critère déterminant du début de la période larvaire. Il pose malgré tout de nombreux problèmes car la petite taille et la digestion des proies, l'absence passagère de nourriture dans le tube digestif, sa régurgitation ou son élimination forcée lors de la capture ou de la fixation sont autant de difficultés pour l'application de cette terminologie.

Des problèmes existent également vis à vis de l'application des périodes pour certaines familles dont le meilleur exemple est celui de la famille des *Salmonidae* (PENAZ, 1981). BALON a été contraint de créer

d'autres subdivisions pour la période juvénile (alevin, smolt) en raison de l'absence (selon cet auteur) d'une période larvaire visible. La terminologie proposée par SNYDER (1976) ne présente pas, à cet égard, de limites de cet ordre.

La terminologie de SNYDER est standardisée, simple et précise, utilisable par quiconque. Les caractères définis sont facilement observables et retrouvés chez tous les poissons. Les intervalles choisis facilitent une description comparative des espèces et **l'établissement de clefs de détermination homogènes**. Il est bien entendu qu'elle ne suffit pas lors des descriptions du développement larvaire car la subdivision est trop large. D'autres subdivisions des phases sont alors employées; elles relèvent de l'embryologie (CERNY, 1977).

Les critères choisis par SNYDER sont basés sur l'évolution de structures ou de caractéristiques facilement observables avec un grossissement minime (inférieur à 30 X) et ne nécessitant pas de dissection, d'éclaircissement ou de coloration.

Cette terminologie évite les difficultés inhérentes à l'utilisation du passage d'une nutrition endogène à exogène en tant que limite de la période embryonnaire. Bien que ce critère ait une signification physiologique, écologique et comportementale autre que l'éclosion, SNYDER ne le considère pas assez rigoureux pour marquer un changement de période. De plus, si chez la plupart des poissons, la résorption vitelline est totale au cours de la phase protolarvaire, le vitellus peut encore être présent à la phase métalarvaire (exemples : les *Salmonidae* et les *Ictaluridae*). L'utilisation de l'évolution morphologique des rayons en tant que critères distinctifs permet alors la subdivision de la période larvaire sans problèmes.

Dans un travail sur les peuplements de poissons de l'année, la première approche effectuée sur le terrain permet de "cataloguer" les jeunes individus selon trois catégories :

1) des poissons à l'état embryonnaire caractérisés par leur immobilité, leur passivité vis à vis des éléments extérieurs; ils passent bien souvent inaperçus;

2) des poissons observables à l'oeil nu, peu mobiles, dont le placement dans le milieu est fonction de la situation de la frayère, fonction des sources de nourriture (plancton) et de l'existence ou non du courant;

3) des poissons mobiles, dotés d'une certaine "expérience", susceptibles de présenter des potentialités propices à la survie de l'espèce (fuite, utilisation d'un abri, recherche active de nourriture, nage efficace, etc...).

Ces catégories d'ordre anthropique (problèmes de l'échantillonnage) mais liées aux caractéristiques écologiques des espèces correspondent sensiblement aux périodes proposées par BALON (embryon, larve et juvénile).

Les problèmes d'identification concernent essentiellement la période larvaire; au cours de cette période, la rapidité des transformations morphologiques exige du systématicien des subdivisions faites à partir de critères fiables. La terminologie proposée par SNYDER constitue alors un excellent outil de travail.

Au cours de la présentation de nos résultats obtenus sur les peuplements de jeunes poissons, seules ont été conservées les périodes définies selon les critères de SNYDER, bien que la signification écologique de l'éclosion, critère choisi pour le début de la période larvaire soit discutable.

L'application de cette terminologie s'avère plus simple, adaptée à toutes les espèces.

On signalera toutefois que parmi 8488 individus capturés en 1983, une seule protolarve a été obtenue (éleuthéro-embryon selon BALON), les autres individus se regroupant parmi les larves et juvéniles, et ce, quelle que soit la terminologie employée.

Au cours de la discussion, le lecteur trouvera désormais les termes suivants :

- un terme général utilisé classiquement en France pour désigner les poissons de l'année sans tenir compte de la période : **alevin**,
- des termes plus précis se rapportant aux différentes périodes et phases du développement : **larve (protolarve, mésolarve, métalarve), juvénile et adulte** conformément aux indications de SNYDER.

La figure 69 regroupe l'illustration des deux terminologies discutées précédemment.

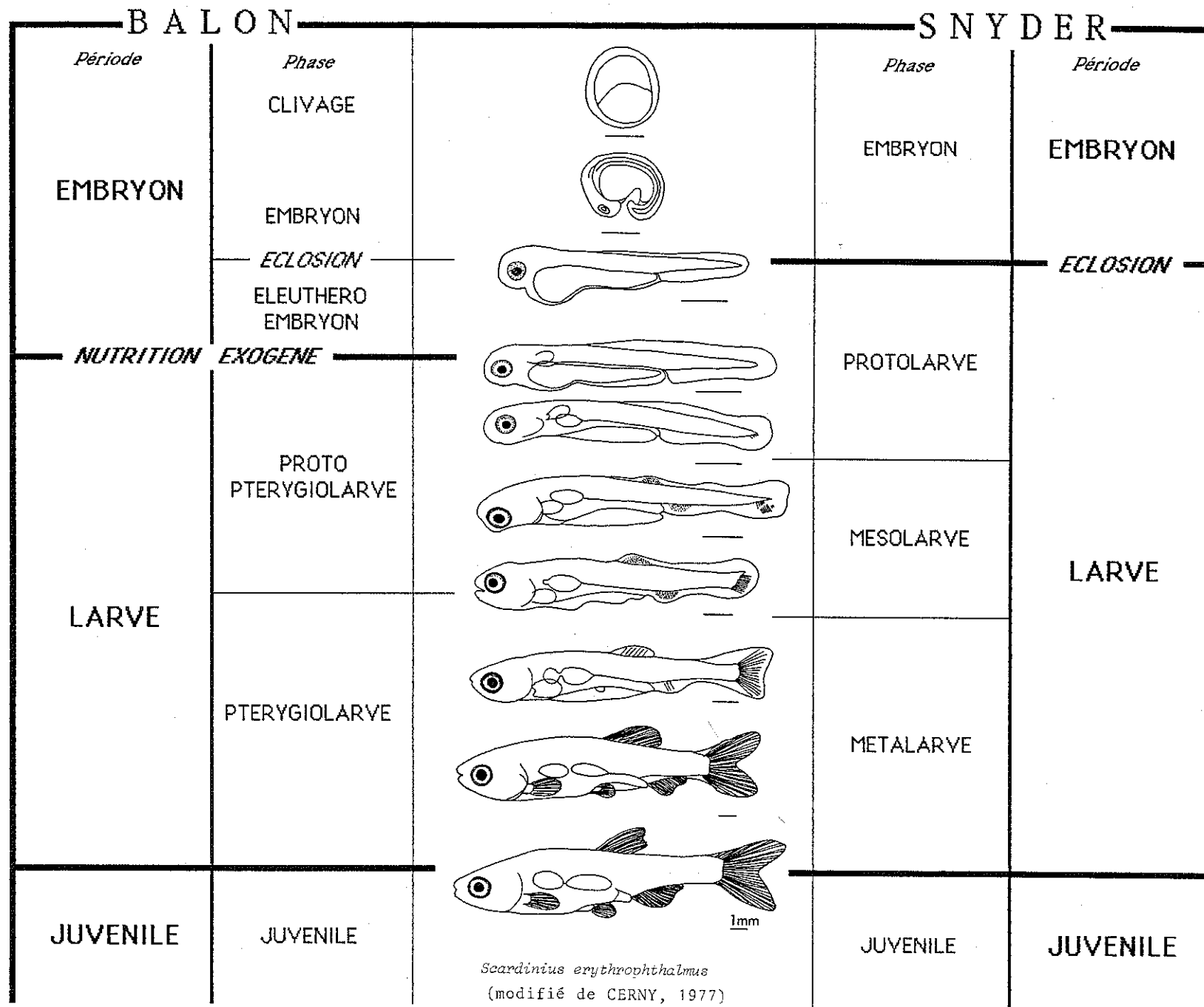


Figure 69 - Représentation schématique des deux principales terminologies proposées pour le développement des poissons.

III-2 TECHNIQUES D'ETUDE

Les trois principaux problèmes à résoudre lors d'une étude des alevins sont les suivants :

- 1) la nécessité, en raison de la taille des larves, de fixer et de conserver les poissons pour leur détermination,
- 2) l'identification à l'espèce des individus,
- 3) la réalisation d'un échantillonnage convenable du milieu prospecté en fonction des buts recherchés, en ayant parfaitement à l'esprit la contrainte imposée par la détermination, à savoir que **le retrait du milieu des individus capturés est irrémédiable et définitif.**

III-2-1 IDENTIFICATION DES LARVES

La plupart des problèmes d'identification sont rencontrés dans la famille des Cyprinidae dont 16 espèces environ sont susceptibles d'être présentes dans le secteur étudié.

Les autres familles ne sont généralement représentées que par une seule espèce (Esocidae, Ictaluridae, Gasterosteidae, Gadidae, Thymallidae, Blenniidae), ou par 2 ou 3 espèces dont un représentant de la famille est largement rencontré par rapport aux autres (Centrarchidae, Percidae, Cobitidae, Salmonidae); ce qui simplifie singulièrement la tâche.

De plus, l'apparition des espèces dans le temps est suffisamment asynchrone pour qu'à un moment donné, il n'y ait pas (ou peu) d'alevins d'espèces et de familles différentes à un même stade de développement.

L'évolution morphologique continue et rapide des jeunes individus conduit le systématien à établir plusieurs clefs successives pour la reconnaissance d'une même espèce. Un ouvrage de détermination parfait devrait comprendre au minimum une description des oeufs, protolarves, mésolarves, métalarves, juvéniles et adultes. On imagine aisément la complexité de l'ouvrage à réaliser.

Le nombre de livres d'identification des larves et juvéniles de poissons d'Europe est particulièrement restreint. Hormis la clef éditée par SPILLMAN (1961), reconstituée à partir des travaux de STANKOVITCH (1921) et LEGER (1925), on ne trouve guère que l'ouvrage (en russe) de KOBLITSKAIA (1981). D'autre part, l'absence de descriptions de certains poissons trouvés en Europe Occidentale nécessite l'utilisation de clefs d'identification américaines (WANG & KERNEHAN, 1979 - FUIMAN et al., 1983) ainsi que des monographies d'espèces.

La liste non exhaustive donnée en annexe (ANNEXE II) indique quelques travaux de référence pouvant simplifier la détermination.

Malgré l'existence de clefs d'identification, il est souvent difficile de reconnaître un individu isolé. L'identification exige souvent une comparaison avec des espèces voisines pour en garantir l'exactitude.

La détermination est largement simplifiée s'il est possible grâce à une longue série de prélèvements réalisée dans un même milieu, d'effectuer une observation sur le principe du "compte-à-rebours", c'est à dire en commençant par les individus les plus âgés pour finir avec les plus jeunes.

De plus, la succession temporelle des espèces évite d'avoir une abondance d'espèces différentes au même stade de développement et permet ainsi de distinguer les espèces grâce à ce critère supplémentaire.

Les principaux critères de détermination ne seront pas abordés dans ce travail. Nous renvoyons le lecteur intéressé à quelques articles généraux concernant les larves de poissons (BRAUM, 1978 - BAGENAL & BRAUM, 1978 - SNYDER, 1983 - FUIMAN et al., 1983), et aux clefs citées dans l'annexe II (KOBLITSKAIA, 1981 - WANG & KERNEHAN, 1979).

III-2-2 FIXATION ET PRESERVATION DES POISSONS

III-2-2-1 MANIPULATIONS

Les larves de poissons sont très fragiles et peuvent être facilement endommagées. Elles exigent par conséquent des manipulations soignées et en nombre restreint dès la capture.

Elles sont rapidement fixées **in situ** avec du formol à 5-10% et conservées dans des flacons d'une taille largement supérieure à celle des poissons pour éviter une courbure longitudinale des individus, notamment des plus grands. Il est d'ailleurs conseillé de ne pas stocker les flacons étroits verticalement au début de la fixation.

Le transfert des larves dans le flacon est effectué préférentiellement à l'aide d'un pinceau, d'une pince entomologique ou mieux par écoulement.

Dès le retour du terrain, ou dans les 24 heures suivantes, il est conseillé d'effectuer un tri grossier et de transvaser les individus dans une solution de formol à 4%. Ce travail permet d'éviter une conservation dans un fixateur qui a été fortement dilué pendant les manipulations de terrain et généralement souillé par des débris minéraux ou végétaux, dans un flacon contenant bien souvent trop de poissons en regard de sa contenance. Il permet aussi de contrôler l'étiquetage et de le modifier éventuellement pendant que les souvenirs sont encore bien ancrés dans la mémoire!

Avec ces quelques précautions, la conservation définitive des individus ne nécessite pas d'interventions complémentaires.

LONGUEURS

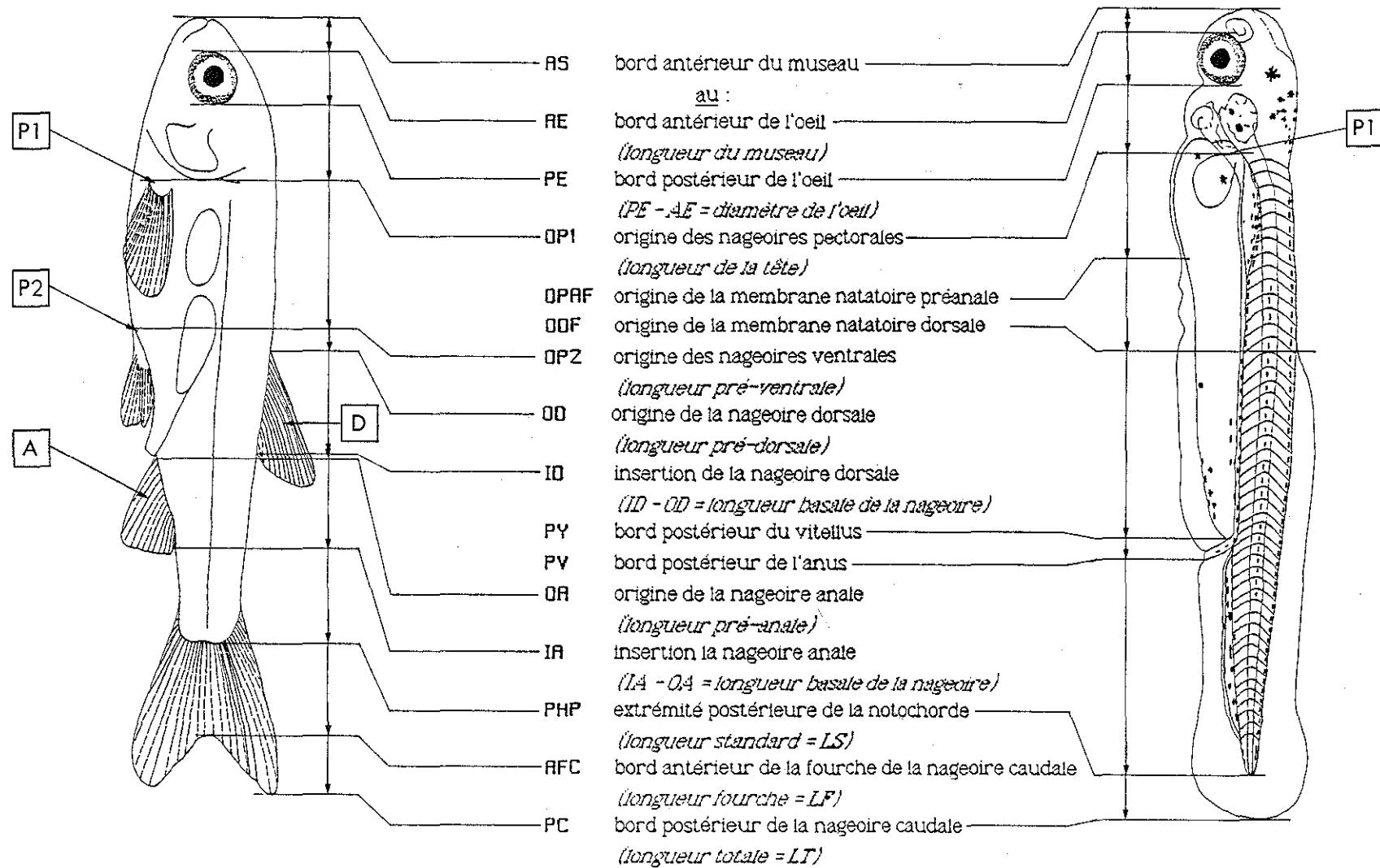


Figure 70 - Présentation des différentes mensurations effectuées sur les jeunes poissons (modifié de SNYDER, 1985) Les abréviations sont celles utilisées par SNYDER.

III-2-2-2 AVANTAGES ET INCONVENIENTS DE LA FIXATION PAR LE FORMOL.

La conservation dans le formol à 4 % est bonne vis à vis de certains autres fixateurs (alcool par exemple). Les larves ne sont pas rigidifiées. Le fixateur ne s'évapore pas rapidement.

Des inconvénients existent et doivent être connus.

1) La fixation entraîne la disparition de la plupart des pigments naturels. Seuls persistent les pigments bruns et noirs (mélanines) qui ne sont pas oxydés ou dissous au cours de la fixation initiale. Des essais de diverses solutions antioxydantes (SNYDER, 1983) n'ayant guère donné de résultats satisfaisants, la meilleure façon d'observer les pigments évanescents consiste en un examen des poissons vivants, avant fixation.

2) La fixation entraîne une opacification des tissus qui ne favorise pas le comptage des myomères (un des critères de détermination) et interdit l'observation de structures internes. Un séjour court et "surveillé" dans une solution très diluée de potasse peut permettre d'éclaircir les tissus, toutefois ce traitement provoque une détérioration des échantillons et sera, si possible, évité.

3) Un autre inconvénient, commun à tout fixateur, réside dans le fait que la méthode et la durée de conservation influent sur la longueur et le poids des individus collectés. Les effets de la fixation par le formol sur les poissons ont été suffisamment étudiés pour montrer que la longueur des poissons tend à décroître rapidement, puis à se stabiliser; que la masse s'accroît jusqu'à un maximum, puis diminue jusqu'à une valeur légèrement supérieure à celle de l'animal vivant (ANDERSON & GUTREUTER, 1983).

Ce dernier aspect pouvant être à l'origine de problèmes annexes dans diverses études expérimentales, nous donnerons ici les résultats d'un travail visant à quantifier les effets du formol 4% sur la longueur des larves.

III-2-2-3 MODIFICATION DE LA TAILLE DES LARVES PAR LA FIXATION EN SOLUTION FORMOLÉE A 4 %.

Ce travail porte sur 200 larves issues d'un prélèvement unique effectué dans le Rhône en amont de Lyon. Les individus appartiennent à deux espèces de la famille des Cyprinidae : le Hotu (*Chondrostoma nasus*) et la Vandoise (*Leuciscus leuciscus*), respectivement 88 et 112 larves.

Une seule mesure de taille est utilisée, il s'agit de la longueur standard (figure 70). L'utilisation de cette mesure de longueur des individus est imposée par le fait qu'elle est la seule véritablement fiable

lorsqu'on travaille sur de petits individus. Cinq séries de mesures ont été effectuées. La première a été faite sur des larves préalablement anesthésiées au phénoxyéthanol. Les autres ont été faites après un séjour de 12 heures, 36 heures, 108 heures et un mois dans le formol 4%. La totalité des mesures est donnée dans le tableau XIV. Les longueurs moyennes pré-fixation des deux lots sont les suivantes :

Hotus : $\bar{x} = 12,72$ mm $\sigma = 1,115$ N = 88

Vandoises : $\bar{x} = 11,99$ mm $\sigma = 0,985$ N = 112.

Les résultats se rapportant aux longueurs moyennes de chaque lot sont les suivants.

	HOTUS		VANDOISES	
	\bar{x}	σ	\bar{x}	σ
LS (vivants)	12,72	1,115	11,99	0,985
LS +12h	12,51	1,072	11,79	0,957
LS +36h	12,50	1,073	11,80	0,932
LS +108h	12,36	1,071	11,66	0,945
LS +1 mois	12,33	1,072	11,66	0,933

La représentation graphique de la perte de longueur standard, exprimée en pourcentage, (figure 71) montre qu'une stabilisation de cette dernière s'effectue rapidement (5 jours environ) et qu'elle atteint 3% environ. Les résultats sont similaires à ceux donnés par ANDERSON & GUTREUTER (1983), relatifs à des poissons fixés dans du formol 10% (les espèces et les tailles initiales ne sont pas spécifiées).

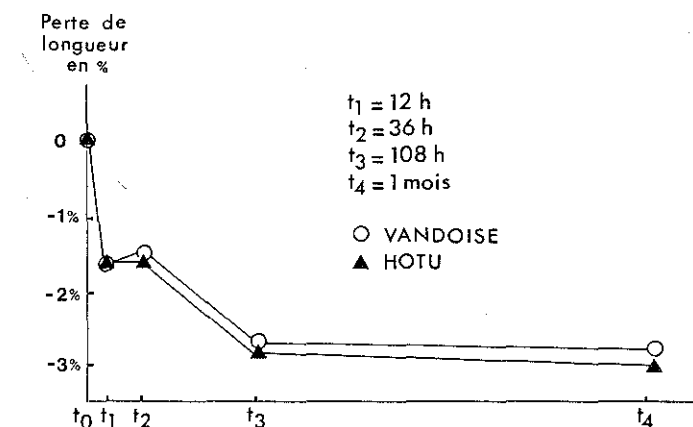


Figure 71 - Perte de longueur (exprimée en pourcentage) au cours de la fixation dans du formol à 4%.

III-2-3 CHOIX D'UNE METHODE D'ECHANTILLONNAGE

Les techniques d'échantillonnage ne sont pas présentées dans ce travail. De nombreuses publications traitent d'une ou plusieurs méthodes de collecte, aussi préférons-nous renvoyer le lecteur à des articles consacrés exclusivement à ces aspects techniques et aux méthodes utilisées dans les eaux douces. Une liste non exhaustive est donnée en annexe (ANNEXE III).

Seule sera présentée la technique utilisée pour l'étude de la croissance. Cette dernière est fonction de divers impératifs, liés d'une part au but de l'étude, d'autre part à l'ensemble des contraintes classiques dans ce type d'investigations (biotiques, abiotiques, matérielles et financières).

III-2-3-1 LES BUTS POURSUIVIS DANS CETTE ETUDE.

Cette étude fait figure de "première" dans le cadre des recherches piscicoles entreprises sur le Haut-Rhône français. En conséquence, indépendamment des techniques présentées précédemment, l'échantillonnage a d'abord eu pour but :

- de collecter les larves et juvéniles présents dans les milieux étudiés.
- d'appréhender par divers essais techniques les problèmes de capture rencontrés, problèmes liés d'une part aux milieux aquatiques, d'autre part aux alevins.

Après avoir choisi une technique de capture et en connaissant (partiellement) les limites de cette méthode, une investigation hebdomadaire a permis de suivre l'apparition printanière et estivale des larves des espèces dominantes, et de distinguer les cohortes successives pendant les premiers mois après l'éclosion.

Deux milieux ont été prospectés, d'une part la lône des Chèvres, d'autre part la Morte du Sauget, au cours des années 1982 et 1983. Les résultats trop fragmentaires de l'année 1982 ne seront pas développés, ils apportent toutefois des éléments appréciables dans l'interprétation des résultats de l'année 1983.

III-2-3-2 RESULTATS DES TRAVAUX PRELIMINAIRES

La présentation globale donnée ci-après résume l'ensemble des observations qui ont contribué au choix d'une méthode. Elle souligne aussi les principales difficultés rencontrées.

III-2-3-2-1 Les milieux aquatiques

Les deux lônes présentent des caractéristiques qui leur sont propres et qui conditionnent l'existence des espèces et leur occupation de l'espace. La présentation générale ayant été faite dans le chapitre I-2, seuls seront abordés ici les principaux éléments susceptibles d'influer sur l'échantillonnage et sur la répartition des poissons.

Ils seront présentés sous forme d'un tableau.

1) Principaux éléments conditionnant la facilité ou non d'utilisation du matériel de capture :

	LONE DES CHEVRES	MORTE DU SAUGET
ACCES :	par bateau ou à pied par basses eaux.	par bateau exclusivement
PROFONDEUR : (moyenne)	1,30 m (débit moyen)	1,50 m
SUBSTRAT :	graviers, limons, sables	vase
VEGETATION AQUATIQUE :	absente	dominante
TURBIDITE :	moyenne à forte	faible à moyenne
COULEUR DU FOND :	grisâtre	brune
	propice à l'utilisation de matériaux clairs	problème du choix de la couleur des matériaux
COURANT :	nul à fort	absent

2) Principaux éléments conditionnant l'installation et la mobilité des espèces dans l'espace aquatique :

	LONE DES CHEVRES	MORTE DU SAUGET
COURANT :	existant	absent
ABRIS :		
- type	blocs, branchages racines	macrophytes
- situation	riveraine	riveraine et eaux libres
OUVERTURE SUR LES MILIEUX AQUATIQUES ENVIRONNANTS	à l'amont, sur le chenal limitée par le barrage de l'Isle, à l'aval, sur la lône des Grands Brotteaux.	inexistante en l'absence de crues.

III-2-3-2-2 Les larves et juvéniles, remarques d'ordre éthologique.

La présence des larves d'une espèce est de courte durée (quelques semaines) et son étude nécessite des interventions rapprochées. Le choix d'un pas d'échantillonnage hebdomadaire apparaît comme optimal.

La plupart des espèces rencontrées dans les deux lônes ont un comportement grégaire très accentué. Les larves et juvéniles sont trouvés sous forme de bancs regroupant un très grand nombre d'individus.

Les protolarves et les mésolarves occupent un espace "bi-dimensionnel" car le banc est généralement étalé en nappe. Le banc apparaît être indifférent à l'existence ou non d'un abri à proximité. La présence d'un banc en un point est conditionnée par la proximité de la frayère et par l'**absence de courant**. Son déplacement est restreint et une perturbation au sein du banc provoque une fuite unidirectionnelle de tous les individus à l'opposé du stimulus.

Lorsque les poissons grandissent, ils acquièrent une "expérience" du milieu et la rapidité de déplacement s'accroît considérablement. Il y a occupation de la "troisième dimension"; le banc, dont l'effectif s'est sérieusement amenuisé, ne se présente plus sous la forme d'une nappe,

mais d'un volume restant proche de la surface de l'eau. Il se trouve souvent à proximité immédiate d'un abri (macrophytes ou branchages). Une perturbation du banc provoque une fuite multi-directionnelle, généralement orientée vers le fond. Un regroupement des individus s'opère ensuite, soit en un lieu différent du premier, soit dans l'abri proche du banc. Dans ce cas, après un temps relativement court, le banc occupe de nouveau l'espace initial.

Ces observations concernent les alevins d'espèces non benthiques rencontrées abondamment dans la lône des Chèvres [Gardon (*Rutilus rutilus*), Ablette (*Alburnus alburnus*), Spirilin (*Alburnoides bipunctatus*), Chevaine (*Leuciscus cephalus*), Vandoise (*Leuciscus leuciscus*), Hotu (*Chondrostoma nasus*)] ou la Morte du Sauget [Rotengle (*Scardinius erythrophthalmus*), Perche-soleil (*Lepomis gibbosus*)].

Le Goujon (*Gobio gobio*), abondant dans la lône des Chèvres, vit en bancs denses à proximité du substrat (sédiments fins : sables et limons). Contrairement aux autres espèces, il occupe rapidement la totalité des fonds lui convenant, indifférent à la vitesse du courant. Les individus s'orientent face au courant et sont très actifs.

Les caractéristiques abiotiques et biotiques du milieu aquatique sont responsables de l'implantation des larves et des juvéniles. Le courant apparaît comme une contrainte essentielle dans la lône des Chèvres. La stratification chimique des eaux de la Morte du Sauget est certainement l'élément déterminant de l'occupation superficielle de l'espace aquatique par les poissons.

Le courant oblige les alevins à se regrouper dans des secteurs à courant nul qui sont en faible nombre et de taille réduite. L'existence d'un flux dans le milieu et l'importance de celui-ci entraînent le regroupement d'individus de taille et d'espèces différentes en un même point. La répartition globale de ces individus reste malgré tout structurée car on trouve toujours des bancs homogènes (par classes de taille sensiblement identiques). Un échantillon effectué dans ce volume de faibles dimensions favorise la capture d'individus appartenant à plusieurs espèces et à plusieurs cohortes.

Dans les milieux aquatiques où il n'existe pas de contraintes spatiales, les bancs se dispersent beaucoup plus et un échantillon effectué en un point précis ne donne en général qu'une ou deux espèces, souvent regroupées au sein d'une même classe de taille.

Une représentation schématique sommaire de ces propos est donnée dans la figure 72.

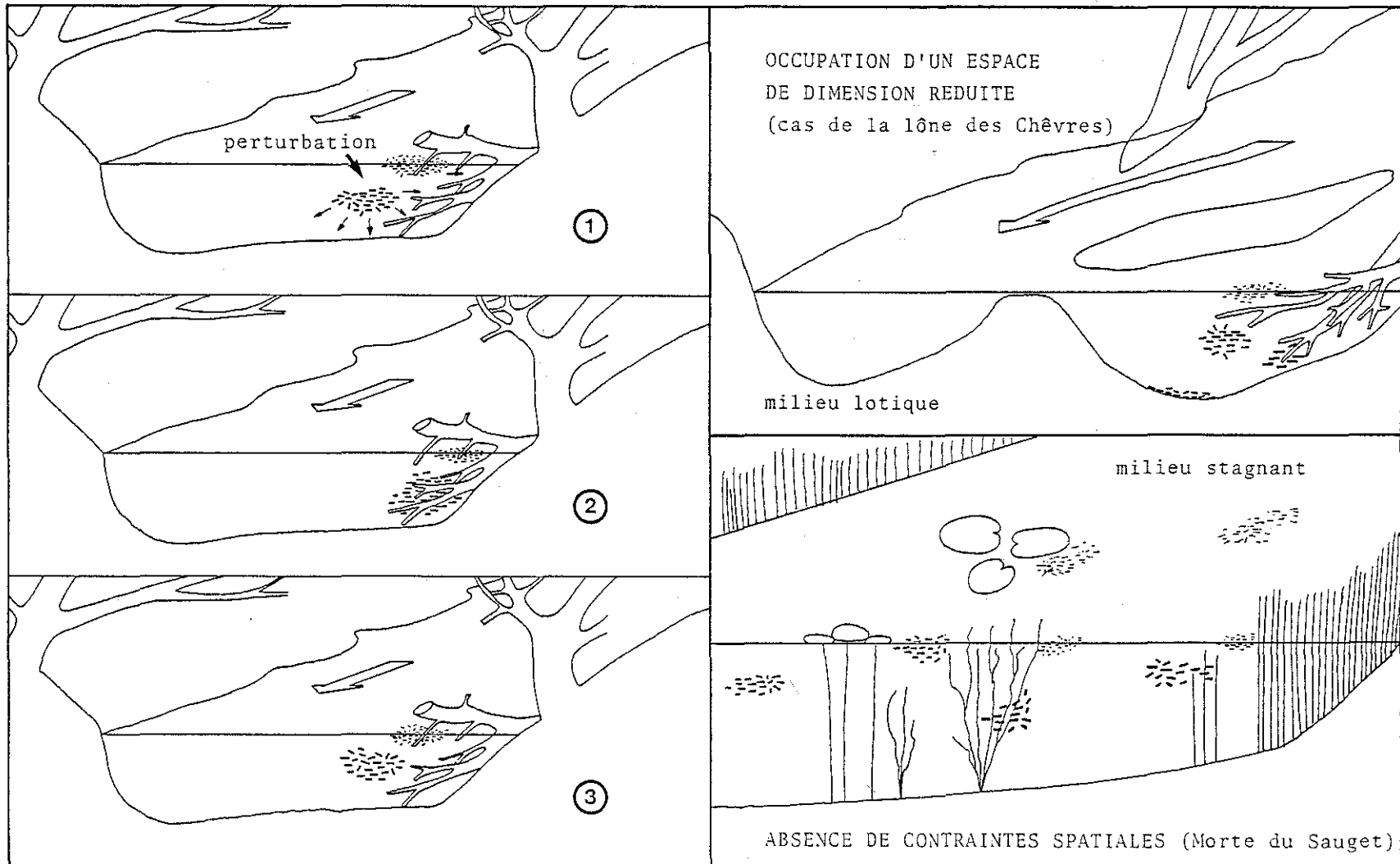


Figure 72 - Schéma récapitulatif de l'occupation de l'espace aquatique par les larves et juvéniles en milieu lotique et en milieu stagnant. Les dessins numérotés de 1 à 3 montrent une séquence de fuite, puis de réoccupation de l'espace initial lors d'une perturbation (pêcheur, embarcation, ...).

III-2-3-2-3 Autres contraintes

Le suivi des cohortes exige la capture d'un **nombre d'individus important** pour être représentatif des populations, d'autant plus qu'il n'est pas possible **in situ** de savoir si le nombre de représentants de chaque espèce est suffisant (problème de reconnaissance des poissons). Ce problème est nettement moins marqué dans la Morte du Sauguet où les deux espèces dominantes [Rotengle (*Scardinius erythrophthalmus*), Perche-soleil (*Lepomis gibbosus*)] sont distinctes à l'oeil nu, quelle que soit la taille des individus.

Au vu des indications précédentes, il apparaît judicieux d'échantillonner en plusieurs points afin d'éviter la capture d'un nombre restreint de cohortes.

Dans les milieux à fortes contraintes spatiales (ex : lône des Chèvres), le nombre de secteurs où se regroupent les alevins est faible; d'où l'obligation pour l'expérimentateur de revenir en un même lieu d'une date à l'autre. Si le milieu est "fermé", ce qui fut le cas pour cette lône pendant l'été 1983 car le Rhône n'a jamais submergé le barrage de l'Isle, des captures répétées pendant plusieurs mois sur un secteur limité posent le problème de la "prédation expérimentale". Le grand nombre de poissons donne l'impression de pouvoir prélever beaucoup d'individus sans affecter anormalement les stocks. On n'oubliera pas que les effectifs de larves de poissons diminuent rapidement du fait de la fragilité de ces animaux et de la prédation.

III-2-3-2-4 Conception et essais d'un matériel d'échantillonnage simple

Le nombre d'interventions pour l'étude dynamique des populations est relativement important. Il exige la présence sur le terrain d'au moins 2 personnes, à raison d'1 à 2 jours par semaine pendant la durée du suivi, soit dans le cas présent au minimum 5 mois. Afin de ne pas ajouter à cette contrainte de calendrier celle liée à l'utilisation d'un matériel complexe et lourd susceptible d'allonger sérieusement le temps de travail, il est apparu préférable de choisir un matériel expérimental de faible encombrement et de manipulation aisée, tout en sachant parfaitement qu'il présenterait des contraintes supplémentaires portant cette fois-ci sur la qualité des résultats.

De plus, la réalisation d'un travail pionnier dans un domaine de recherche demande de savoir modérer l'investissement financier qui à très court terme, pourrait s'avérer inconsidéré en regard des résultats.

Ces travaux préliminaires n'ont pas eu pour but d'établir une quantification des effectifs, mais de pouvoir suivre au mieux l'existence d'une cohorte d'une espèce et son devenir. Par conséquent, les techniques choisies se rapprochent de celles utilisées pour la prospection qualitative; elles sont de conception simple et non onéreuse, et le principe d'utilisation est universellement connu.

Les premiers essais ont porté sur la réalisation de pièges type "carafes à vairons", utilisés en très grand nombre sur une petite portion du milieu. Cette nasse de petites dimensions a été réalisée à partir de 2 bouteilles en plastique d'1 litre (eaux minérales) emboîtées l'une dans l'autre (figure 73).



Figure 73 - Nasse du type "carafe à vairon" réalisée à partir de 2 bouteilles d'eaux minérales, en plastique transparent.

Des essais in situ ont été entrepris par deux fois, en répartissant 50 à 60 pièges sur 500 mètres de rives pour une durée de 24 heures.

Ces nasses se sont révélées totalement inadaptées pour les milieux prospectés et d'une inefficacité totale, hormis pour quelques poissons benthiques de grande taille (goujons, loches), et pour les vairons!

Les raisons de cet échec peuvent être les suivantes :

1) ces carafes nécessitent une immersion suffisante pour ne pas les retrouver à sec après 24 heures, l'ouverture de celles-ci ne se trouve donc pas sur la trajectoire de surface des bancs; conçues flottantes, leurs perpétuels mouvements n'auraient guère amélioré le rendement,

2) l'entonnoir d'entrée formé par le goulot inversé de la bouteille ne constitue pas le "couloir d'accès idéal" à l'intérieur de la nasse; il ne vaut certainement pas celui trouvé sur les trappes construites par BREDER (1960), PENAZ (1976), ASSIE & LASSERRE (1977), FABER (1981), HAMMER (1983) et constitué par deux lames aménageant une fente verticale de faible largeur mais de hauteur appréciable.

Suite à cette déconvenue, le choix a été fixé sur des méthodes de capture active (carrelet et épuisette).

III-2-3-2-4-1 *Le carrelet*

Le carrelet est constitué d'un filet de section carrée, tendu par une structure quadrangulaire flexible le maintenant à chaque angle. Ce système est en général de grandes dimensions, fixé à l'extrémité d'un balancier. Après une immersion de durée variable, son retrait rapide permet de récupérer les poissons situés au dessus de la toile.

La taille du filet, sa souplesse, et la flexibilité des armatures sont les éléments qui garantissent le volume de la poche dans laquelle les poissons se trouvent emprisonnés (figure 74).

Dans un premier temps, un petit carrelet, adapté à la taille des individus recherchés, a été construit à partir d'une toile plastique à mailles carrées (1 mm x 1 mm) de dimension inférieure à 1m² (0,75 x 0,75 m), tendue sur une armature métallique. Cet engin n'a pas été fixé sur une perche, il a été utilisé maintenu à bout de bras.

Si les essais se sont avérés concluants dans la lône des Chèvres non encombrée par la végétation, il n'en a pas été de même dans la Morte du Saugét car l'étroitesse des espaces d'eaux libres ne permettait pas le passage de l'engin. De plus, du fait qu'il était manié comme une époussette sans manche, l'approche convenable des poissons n'était pas possible dans cette lône où le travail ne peut être accompli qu'à partir d'une embarcation.

Cet engin, très efficace pour une capture rapide des petits individus, présentait tout de même des inconvénients qui sont apparus lorsqu'il a fallu capturer des individus âgés dont la rapidité d'action dépassait largement celle de l'utilisateur.

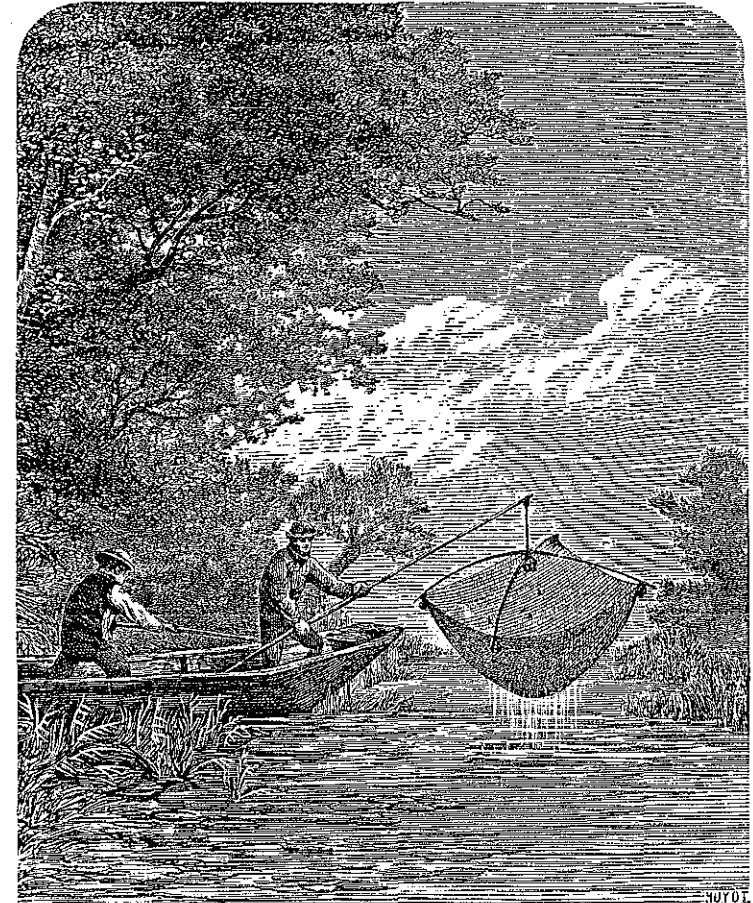
C'est donc en connaissant parfaitement ce problème que le carrelet a été conservé pour l'étude réalisée en 1983, en l'améliorant sensiblement.

Nous avons utilisé un carrelet commercialisé par les Etablissements MOTILLON (Paris), de plus grande dimension (1 m x 1 m), dont la flexibilité, la légèreté, ainsi que les possibilités de rangement ont été appréciées. Le filet initial, d'une maille trop importante (8 mm x 8 mm) a été conservé en tant que support d'un autre filet souple (maille de 1 mm x 1 mm) de dimensions inférieures (0,60 x 0,60 m). Cette toile souple et imputrescible d'une maille convenable, dont l'utilisation réelle n'a aucun rapport avec des travaux piscicoles, est commercialisée par les Etablissements BOLDEDUC à Villeurbanne (référence du filet : N° 7250).

L'existence du filet initial sur le pourtour du petit filet augmente la vitesse de retrait du carrelet. Il y a ainsi diminution du freinage par l'eau

BLANCHARD, *Les Poissons*.

Pl. XXIV, p. 536.



Paris, J.-B. Baillière et Fils, édit.

Corbeil, Créte, imp.

LA PÊCHE A L'ÉCHIQUIER

APRÈS LES PÊCHEURS TRAVAILLANT AVEC BATEAUX ET FILETS.

et de la violence des courants périphériques qui sont autant de facteurs favorisant la fuite des poissons. De plus, le filet à larges mailles sur le pourtour stoppe partiellement les plus gros individus.

III-2-3-2-4-2 *L'épuisette* (figure 74)

Suite aux inconvénients cités pour une bonne utilisation du carrelet dans la Morte du Sauget, l'épuisette a été choisie pour remplacer cet instrument. Il s'agit d'un filet conique accroché sur un cercle métallique, lui-même fixé à un manche en bois. La distance d'utilisation de l'épuisette est nettement supérieure à celle du carrelet tel qu'il est utilisé, mais le volume d'eau filtrée est moindre. Elle peut être rapidement relevée, même si des plantes aquatiques en gênent l'utilisation. Elle permet un accès au sein des macrophytes sans inconvénients majeurs.

La poche de l'épuisette a été réalisée à l'aide du tissu synthétique décrit précédemment dont l'intérieur a été doublé d'un voile Tergal (rideaux). La profondeur de la poche a été accentuée par rapport aux épuisettes classiques.

Les dimensions de l'épuisette sont les suivantes :

- longueur du manche : 1,70 m,
- diamètre de la poche : 0,50 m
- profondeur de la poche : 0,50 m

III-2-3-2-4-3 *Inconvénients propres à ces deux engins*

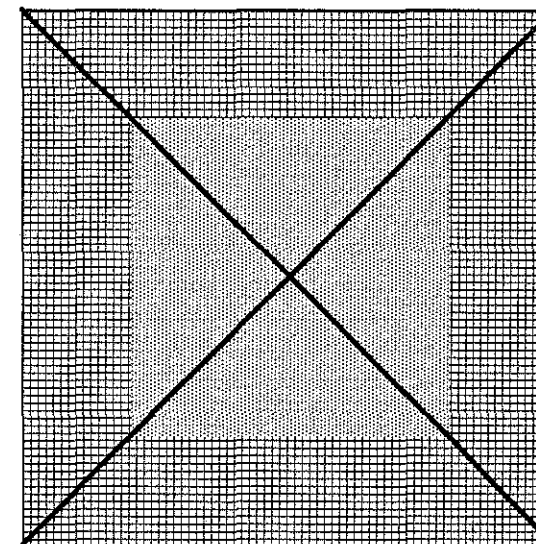
Ils ont été réalisés avec un filet **blanc** impossible à teindre. Cette couleur n'a guère d'importance dans la lône des Chèvres, elle est par contre ennuyeuse pour une utilisation dans des milieux dont le fond est sombre (Morte du Sauget).

Ils ne permettent pas la capture d'individus âgés, si ce n'est par le pur hasard, en raison de la capacité d'évitement des individus. La limite de taille de capture pour les Cyprinidae est d'environ 50 mm.

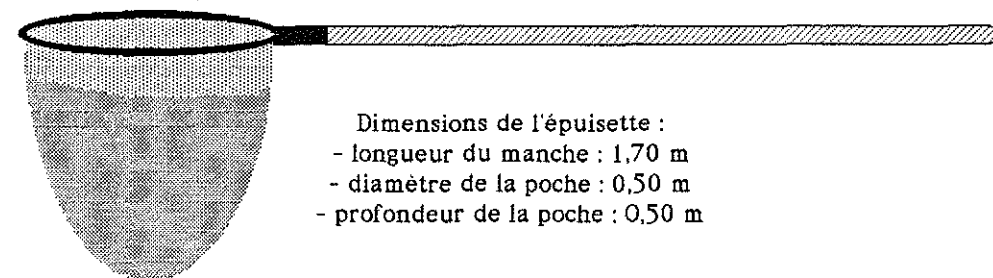
Ils ne sont pas utilisables pour une étude des poissons benthiques [Goujons (*Gobio gobio*), Loches (F. des *Cobitidae*)]. Leur utilisation se limite donc à des poissons essentiellement grégaires, vivant à proximité de la surface ou dans le premier mètre d'eau (maximum d'immersion du carrelet tel qu'il est utilisé).

III-2-3-2-5 *Méthode de travail définitive.*

Le carrelet a été utilisé pour l'étude des populations d'alevins de la



Taille du carrelet : 1 m x 1 m - maille du pourtour : 8 mm
 Taille du filet intérieur : 0,6 m x 0,6 m - maille de 1 mm

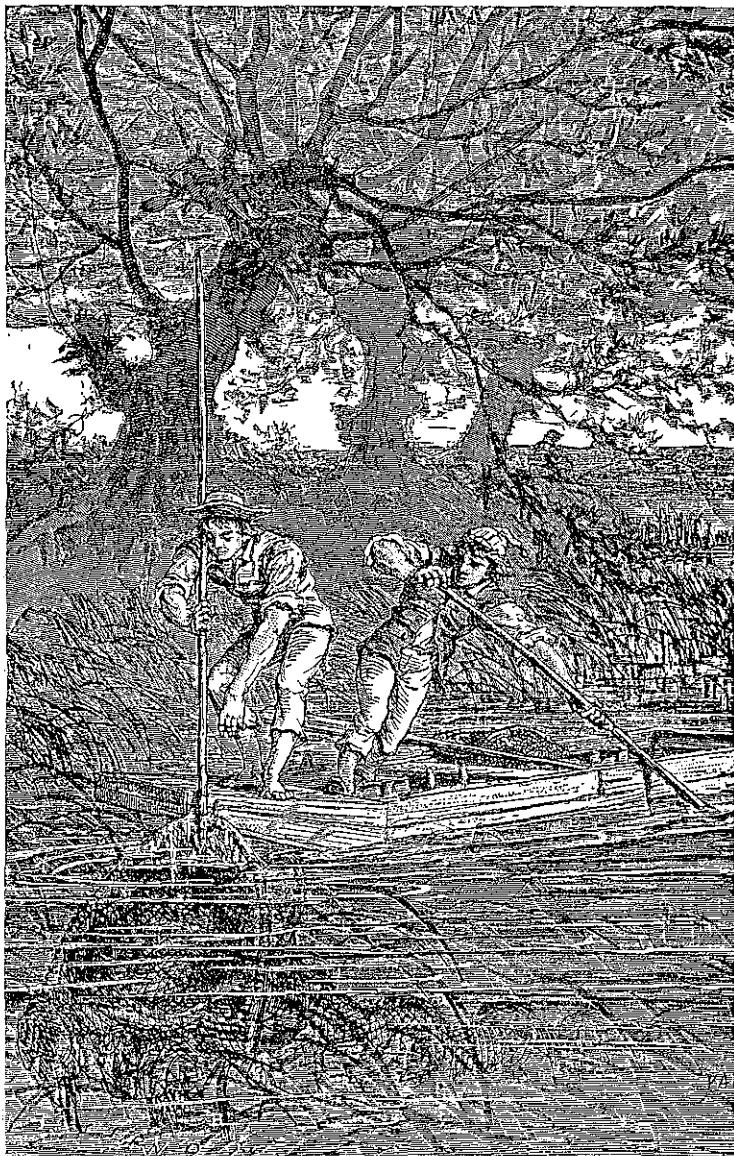


Dimensions de l'épuisette :
 - longueur du manche : 1,70 m
 - diamètre de la poche : 0,50 m
 - profondeur de la poche : 0,50 m

Figure 74 - Carrelet et épuisette utilisés pour la capture des alevins

BLANCHARD, Les Poissons.

Pl. V, p. 285.



Paris, J.-B. Baillière et Fils, édit.

Corbett, Créteil, imp.

LA PÊCHE A LA NASSE

LES PÊCHEURS PROFITENT SOUVENT DE L'OCCASION POUR LA PRENDRE (LA LOCHE)
AVEC DES NASSES.

lône des Chèvres, l'épuisette dans la Morte du Sauget. Ces deux engins n'ont été immergés qu'en présence d'alevins. Il s'agit là d'une **chasse à vue** et non au hasard. Les points de prélèvements sont de faibles dimensions (2 m² environ). Le nombre de coups de filet dans chaque point est variable, fonction de l'efficacité de la capture. Le nombre de points d'échantillonnage est augmenté en fonction du nombre de bancs observés afin de prélever des individus dans des secteurs ayant des caractéristiques abiotiques différentes.

Les observations hebdomadaires dans chaque lône ont commencé en avril 1983 avec surveillance de la totalité de l'espace aquatique.

Remarque : Elles ont malheureusement été perturbées par les crues du mois de mai qui ont interdit l'accès de la lône des Chèvres.

Les premières captures de larves ont été faites le 7 juin 1983 dans la lône des Chèvres et le 16 juin 1983 dans la Morte du Sauget. L'échantillonnage a été arrêté le 30 août 1983 en raison des difficultés de capture évoquées précédemment.

III-3 ETUDE DE LA CROISSANCE

Les poissons capturés ont été mesurés sous loupe binoculaire à l'aide d'un micromètre.

La longueur standard (LS) sera seule utilisée pour l'interprétation des résultats qui sera essentiellement basée sur un suivi des cohortes de chaque espèce. Nous rappelons que la **cohorte** regroupe les individus d'une même espèce nés à la même date. Le suivi des cohortes des espèces les plus abondantes a été réalisé à partir des distributions hebdomadaires de la fréquence des longueurs. Ces histogrammes de fréquences relatives ont été tracés après regroupement des individus par classes de taille de 1 mm. Les périodes larvaires et juvéniles ont été différenciées.

Chaque espèce est traitée individuellement, par dates et par points de prélèvement. Lorsque l'effectif de l'espèce considérée est, dans un point, inférieur à 10 individus, ce prélèvement est éliminé de la distribution car peu représentatif de la cohorte ou des cohortes échantillonnées. La croissance d'une espèce est étudiée par le suivi du déplacement des classes modales.

Pour le Rotengle, un seul individu appartenant à la classe 4 (4,00 mm \leq LS \leq 4,99 mm) a été capturé et regroupé avec la classe 5 (5,00 mm \leq LS \leq 5,99 mm). La même procédure a été utilisée pour la classe 35 (35 \leq LS \leq 35,99), également peu représentée chez la plupart des espèces. Elle a été regroupée avec la classe immédiatement inférieure (34).

III-3-1 LES POPULATIONS DE LA MORTE DU SAUGET

Parmi les 10 espèces capturées dans la Morte du Sauget (Tableau XV) au cours de 12 dates d'échantillonnage, soit un total de 58 points de prélèvement, seules deux espèces largement dominantes sont étudiées:

- le Rotengle (*Scardinius erythrophthalmus*), famille des Cyprinidae,

- la Perche-soleil (*Lepomis gibbosus*), famille des Centrarchidae.

Sur 58 points de prélèvement, ces deux espèces ont été échantillonnées respectivement 54 fois pour le Rotengle (93,1%) et 34 fois pour la Perche-soleil (58,6%). La relative régularité de leur capture, ainsi que leurs effectifs, permettent d'effectuer un suivi aisé et correct des cohortes.

III-3-1-1 LE ROTENGLÉ

III-3-1-1-1 Généralités

Le Rotengle est une espèce européenne caractéristique des lacs et des étangs. Elle est rarement trouvée en eaux courantes [(0,1 à 0,8% des espèces capturées sur le Haut-Rhône), données ARALEBPB, 1981, 1982, 1983 et 1984].

La classification écologique des espèces piscicoles selon les caractéristiques de la reproduction et du développement embryonnaire place le rotengle au sein des espèces **phytophiles** [KRYZHANOVSKY (1949), BALON (1975)]. Il s'agit là d'un regroupement de poissons dont les oeufs ont des membranes adhésives leur permettant de rester collés sur les plantes aquatiques immergées. Ces espèces ne déposent jamais leurs oeufs sur le fond. Elles sont adaptées à une survie dans des habitats végétaux denses sur fonds vaseux, milieux à très basses teneurs en oxygène. Les larves fraîchement écloses sont munies de glandes cémentaires sur la tête qui leur permettent de rester attachées aux plantes avant de pouvoir nager efficacement en direction des eaux superficielles et d'éviter ainsi les conditions anoxiques du fond.

La ponte du Rotengle intervient en mai-juin et à des températures assez basses, 13°C selon CERNY (1977). Une femelle libère 100 000 à 200 000 oeufs (MUUS & DAHLSTROM, 1981) en plusieurs fois (CERNY, 1977). Les oeufs du Rotengle sont très petits (diamètre = 1,7 mm, CERNY, 1977). L'éclosion a lieu 7 à 8 jours après la ponte (pour une température de 14-15°C) et la taille (LS) des larves est alors de 4,5 à 5,4 mm (CERNY, 1977). L'activité de ces larves est intense après une quinzaine de jours et c'est alors qu'il est possible de les observer en surface (LS = 6 mm environ). La période juvénile débute après 71 à 100 jours (CERNY, 1977), la longueur (LS) des individus se situe alors entre 15 et 21 mm.

III-3-1-1-2 Résultats et discussion.

La figure 75 présente les distributions hebdomadaires de la fréquence des longueurs standard (LS) pour chaque point de prélèvement dans lequel l'effectif de l'espèce est \geq 10 individus. La transition période larvaire - période juvénile est matérialisée par un changement de trame dans les histogrammes. Le nombre de prélèvements conservés est de 46 sur les 54 initiaux (tableau XVI).

Cette figure regroupe les informations indiquées ci-dessous.

1) Indépendamment des résultats obtenus les 16 et 22 juin 1983

III-3 ETUDE DE LA CROISSANCE

Les poissons capturés ont été mesurés sous loupe binoculaire à l'aide d'un micromètre.

La longueur standard (LS) sera seule utilisée pour l'interprétation des résultats qui sera essentiellement basée sur un suivi des cohortes de chaque espèce. Nous rappelons que la **cohorte** regroupe les individus d'une même espèce nés à la même date. Le suivi des cohortes des espèces les plus abondantes a été réalisé à partir des distributions hebdomadaires de la fréquence des longueurs. Ces histogrammes de fréquences relatives ont été tracés après regroupement des individus par classes de taille de 1 mm. Les périodes larvaires et juvéniles ont été différenciées.

Chaque espèce est traitée individuellement, par dates et par points de prélèvement. Lorsque l'effectif de l'espèce considérée est, dans un point, inférieur à 10 individus, ce prélèvement est éliminé de la distribution car peu représentatif de la cohorte ou des cohortes échantillonnées. La croissance d'une espèce est étudiée par le suivi du déplacement des classes modales.

Pour le Rotengle, un seul individu appartenant à la classe 4 (4,00 mm \leq LS \leq 4,99 mm) a été capturé et regroupé avec la classe 5 (5,00 mm \leq LS \leq 5,99 mm). La même procédure a été utilisée pour la classe 35 (35 \leq LS \leq 35,99), également peu représentée chez la plupart des espèces. Elle a été regroupée avec la classe immédiatement inférieure (34).

III-3-1 LES POPULATIONS DE LA MORTE DU SAUGET

Parmi les 10 espèces capturées dans la Morte du Sauget (Tableau XV) au cours de 12 dates d'échantillonnage, soit un total de 58 points de prélèvement, seules deux espèces largement dominantes sont étudiées:

- le Rotengle (*Scardinius erythrophthalmus*), famille des Cyprinidae,
- la Perche-soleil (*Lepomis gibbosus*), famille des Centrarchidae.

Sur 58 points de prélèvement, ces deux espèces ont été échantillonnées respectivement 54 fois pour le Rotengle (93,1%) et 34 fois pour la Perche-soleil (58,6%). La relative régularité de leur capture, ainsi que leurs effectifs, permettent d'effectuer un suivi aisé et correct des cohortes.

III-3-1-1 LE ROTENGLÉ

III-3-1-1-1 Généralités

Le Rotengle est une espèce européenne caractéristique des lacs et des étangs. Elle est rarement trouvée en eaux courantes [(0,1 à 0,8% des espèces capturées sur le Haut-Rhône), données ARALEBPB, 1981, 1982, 1983 et 1984].

La classification écologique des espèces piscicoles selon les caractéristiques de la reproduction et du développement embryonnaire place le rotengle au sein des espèces **phytophiles** [KRYZHANOVSKY (1949), BALON (1975)]. Il s'agit là d'un regroupement de poissons dont les oeufs ont des membranes adhésives leur permettant de rester collés sur les plantes aquatiques immergées. Ces espèces ne déposent jamais leurs oeufs sur le fond. Elles sont adaptées à une survie dans des habitats végétaux denses sur fonds vaseux, milieux à très basses teneurs en oxygène. Les larves fraîchement écloses sont munies de glandes cémentaires sur la tête qui leur permettent de rester attachées aux plantes avant de pouvoir nager efficacement en direction des eaux superficielles et d'éviter ainsi les conditions anoxiques du fond.

La ponte du Rotengle intervient en mai-juin et à des températures assez basses, 13°C selon CERNY (1977). Une femelle libère 100 000 à 200 000 oeufs (MUUS & DAHLSTROM, 1981) en plusieurs fois (CERNY, 1977). Les oeufs du Rotengle sont très petits (diamètre = 1,7 mm, CERNY, 1977). L'éclosion a lieu 7 à 8 jours après la ponte (pour une température de 14-15°C) et la taille (LS) des larves est alors de 4,5 à 5,4 mm (CERNY, 1977). L'activité de ces larves est intense après une quinzaine de jours et c'est alors qu'il est possible de les observer en surface (LS = 6 mm environ). La période juvénile débute après 71 à 100 jours (CERNY, 1977), la longueur (LS) des individus se situe alors entre 15 et 21 mm.

III-3-1-1-2 Résultats et discussion.

La figure 75 présente les distributions hebdomadaires de la fréquence des longueurs standard (LS) pour chaque point de prélèvement dans lequel l'effectif de l'espèce est \geq 10 individus. La transition période larvaire - période juvénile est matérialisée par un changement de trame dans les histogrammes. Le nombre de prélèvements conservés est de 46 sur les 54 initiaux (tableau XVI).

Cette figure regroupe les informations indiquées ci-dessous.

1) Indépendamment des résultats obtenus les 16 et 22 juin 1983

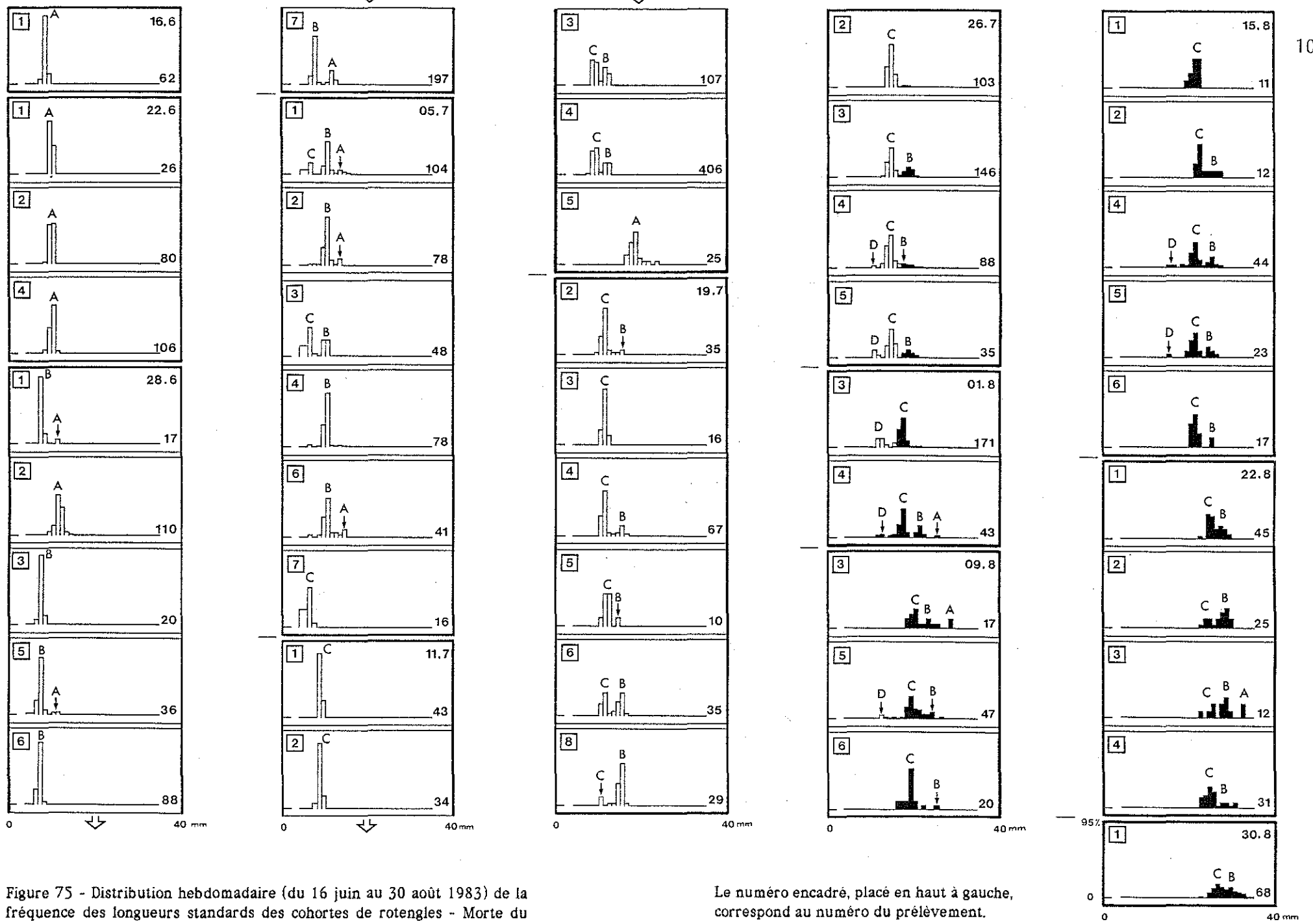


Figure 75 - Distribution hebdomadaire (du 16 juin au 30 août 1983) de la fréquence des longueurs standards des cohortes de rotengles - Morte du Sauguet. Les longueurs individuelles sont regroupées en classes par intervalle de 1 mm.

Le numéro encadré, placé en haut à gauche, correspond au numéro du prélèvement.
 En haut, à droite, la date.
 En bas, à droite, l'effectif.
 En noir, les juvéniles.

qui ne permettent de distinguer qu'une seule cohorte dans le milieu, les autres prélèvements montrent qu'un secteur donné de la lône est en général occupé par un seul banc. Celui-ci est constitué par des individus groupés autour d'une seule classe modale. Lorsque plusieurs cohortes existent en un même point, l'une d'entre elles domine largement les autres.

La capture simultanée de plusieurs cohortes en un point de pêche est liée à une "stratification" des bancs sur la colonne d'eau prospectée. Il est en effet courant d'observer simultanément trois ou quatre bancs d'individus appartenant à des cohortes et/ou des espèces différentes évoluant sur plusieurs niveaux dans un espace restreint. Ce contexte est particulièrement manifeste lorsque le nombre de cohortes est maximal et que leurs effectifs respectifs sont considérables.

2) Les pics modaux fortement tranchés lorsque les individus sont de petite taille s'aplatissent progressivement avec la croissance des individus. Ils tendent à se télescoper, et cette tendance observable en fin de saison conduit progressivement à une distribution unique qui sera la représentation des individus de l'année 1983. Cependant, dans le cas des rotengles, l'espace existant entre les différentes classes modales est suffisant pour éviter des confusions entre cohortes pendant les trois mois d'observation.

3) Le suivi des classes modales permet de distinguer dans cette lône la succession de quatre cohortes. La première est observée le 16 juin (cohorte A), la seconde le 28 juin (B), la troisième le 5 juillet (C), la quatrième le 26 juillet (D).

4) On remarquera que l'obtention du "statut" juvénile s'acquiert de plus en plus tôt au cours de la saison. De même, la capture des plus jeunes individus de chaque cohorte s'effectue pour des tailles de plus en plus réduites (A : 8,5 mm, B : 7,5 mm, C : 6,5 mm).

La cohorte D, en raison de sa faible abondance, n'a certainement pas été capturée dès son apparition à la surface de l'eau (taille de 1ère capture : 10,5 mm).

L'étude de la croissance des cohortes est effectuée par un suivi des classes modales au cours du temps. La figure 76 et le tableau XVII donnent la croissance des cohortes en fonction du nombre de degrés-jours, comptabilisés à partir de la date de première capture. Les températures utilisées sont des valeurs moyennes journalières calculées à partir d'enregistrements en continu dans la Morte du Saugat.

La croissance de chaque cohorte est régulière, et l'ensemble des courbes révèle une grande homogénéité au sein de la population. Une étude

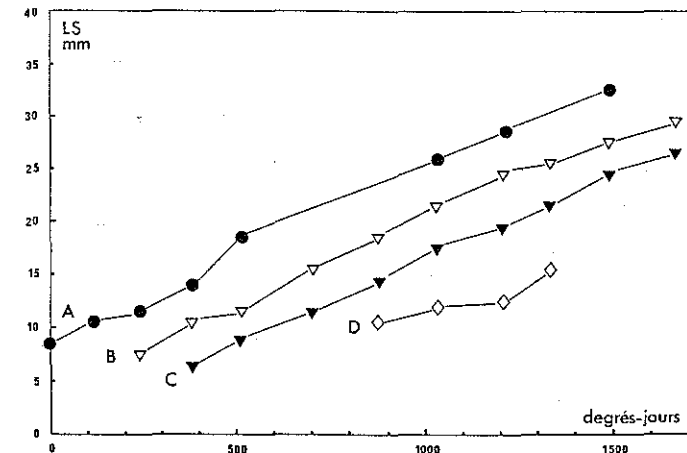


Figure 76 - Croissance des cohortes de rotengles en fonction du nombre de degrés-jours comptés à partir du 16 juin 1983, date de première capture.

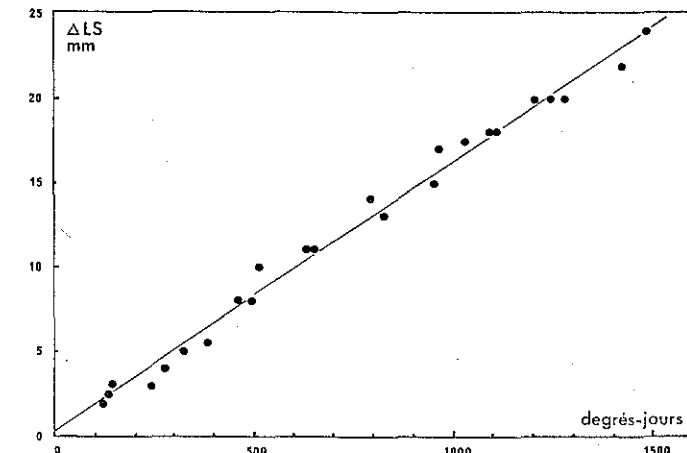


Figure 77 - Croissance relative de l'ensemble des cohortes de rotengles entre la date de première capture et les dates ultérieures, en fonction du nombre de degrés-jours.

$$\Delta LS = 0,016 (\text{degrés-jours}) + 0,306 \quad N = 24 \quad r = 0,995$$

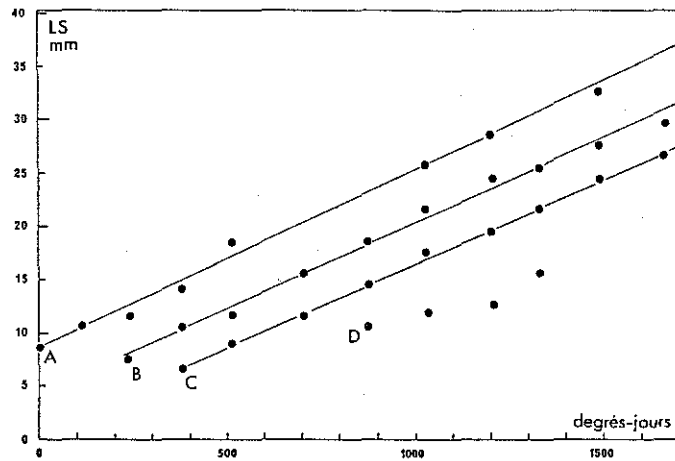


Figure 78 - Ajustement linéaire effectué pour chaque cohorte de rotengles, permettant par extrapolation et en fonction des données de la littérature de calculer les dates supposées de ponte et d'éclosion.

de la croissance relative de chaque cohorte entre la date de première capture et les dates ultérieures (figure 77) confirme cette croissance uniforme au sein des trois cohortes principales A, B et C (la cohorte D n'a pas été prise en compte en raison de sa faible représentation).

La température constitue le facteur de contrôle de la croissance des rotengles. Il ne paraît pas y avoir d'autres contraintes (telle qu'une compétition alimentaire inter ou intra-spécifique), susceptibles d'interférer sur cette croissance.

Un ajustement linéaire est appliqué à chaque cohorte (figure 78) et permet d'obtenir, par extrapolation et en fonction des données de la littérature (CERNY, 1977), des informations complémentaires quant aux dates supposées d'éclosion et de ponte.

CERNY (1977) indique une longueur standard à l'éclosion oscillant entre 4,54 et 5,43 mm. Ces deux valeurs seront donc utilisées pour déterminer le nombre de degrés-jours séparant la date de première capture des individus d'une cohorte donnée de la date d'éclosion. A partir de cette estimation, le nombre de jours est calculé en additionnant les

températures moyennes des jours précédant la capture, ce, jusqu'à obtention de la valeur calculée.

Ce même auteur donne le nombre de jours et la température de l'eau nécessaires pour l'éclosion depuis la fécondation, soit 7 à 9 jours pour une température d'incubation à 14-15°C. En procédant de la même façon que précédemment, il est possible d'estimer le nombre de jours séparant la fécondation de l'éclosion.

Les relations utilisées pour les estimations sont les suivantes :

Cohorte A : $LS = 0,0166 (\text{degrés-jours}) + 8,444$
 $N = 8 \quad r = 0,996$

Cohorte B : $LS = 0,0158 (\text{degrés-jours}) + 4,237$
 $N = 10 \quad r = 0,996$

Cohorte C : $LS = 0,0157 (\text{degrés-jours}) + 0,744$
 $N = 9 \quad r = 0,999$

Ces estimations sont indiquées ci-dessous.

COHORTE	PONTE	ECLOSION	JUVENILE *
A	30 mai au 4 juin	6 au 8 juin	46 à 51 jours
B	12 au 17 juin	18 au 21 juin	40 à 45 jours
C	23 au 27 juin	29 au 1er juillet	36 à 40 jours
D	?	?	?

* Nombre de jours comptés depuis la ponte jusqu'à la période juvénile.

TAILLE DES JUVENILES

	Minimale	Moyenne
A	17 mm	20,5 mm
B	16 mm	18,5 mm
C	15 mm	17,5 mm
D	11 mm	12,5 mm

La première ponte coïncide avec le réchauffement des eaux qui a suivi les crues du mois de mai. La température est passée de 11,5 à 20°C en

une dizaine de jours à cette époque; cette hausse apparaît à l'origine de la reproduction des rotengles.

Il est possible de considérer que la ponte des rotengles s'est effectuée en 1983 pour une température de 13-15°C.

III-3-1-2 LA PERCHE-SOLEIL

III-3-1-2-1 Généralités

Commune dans les eaux américaines du Nord-Est, cette espèce fait partie des six représentants de la famille des Centrarchidae acclimatés dans les eaux européennes. La perche-soleil est une espèce de petite taille (8 à 15 cm environ) trouvée couramment dans les eaux peu profondes des lacs, envahies par la végétation, les étangs et les cours d'eau lents. Sur le Haut-Rhône, elle est peu abondante (<1%), hormis dans les lônes fermées ou semi-fermées (milieux para, plésio et paléopotamiques).

Cette espèce pond dans un nid construit par le mâle et ce dernier garde les oeufs, puis les larves après l'éclosion. La perche-soleil ne choisissant pas particulièrement la nature et les matériaux de confection du nid, elle a été placée, selon la classification éco-éthologique de BALON (1975), parmi les espèces **polyphiles**.

La ponte s'étale du début du mois de mai jusqu'à la fin août dans des eaux de 15 à 30°C. Une même femelle peut pondre en plusieurs fois; le nombre d'oeufs est de 600 à 5000 oeufs/femelle (MAITLAND, 1977). Les oeufs sont sphériques, de petites dimensions (0,9 à 1,2 mm de diamètre), démersaux et adhésifs (WANG & KERNEHAN, 1979) et déposés dans un nid creusé par le mâle en eau peu profonde. Le mâle garde les oeufs et les larves pendant la résorption de la vésicule vitelline (3 à 4 jours) avant que ces larves ne se dispersent en pleine eau. Il y a progressivement apparition d'un comportement grégaire. Lorsque les poissons atteignent 20 à 35 mm, un retour s'effectue parmi la végétation avec cohabitation en bancs. Les juvéniles de plus grande taille (50 à 75 mm) habitent individuellement ou en petites communautés dans lesquelles les individus présentent une relative indépendance (FABER, 1984).

L'éclosion s'effectue approximativement en 3 jours à 22°C et la longueur totale des larves est alors de 2,4 à 2,9 mm (WANG & KERNEHAN, 1979).

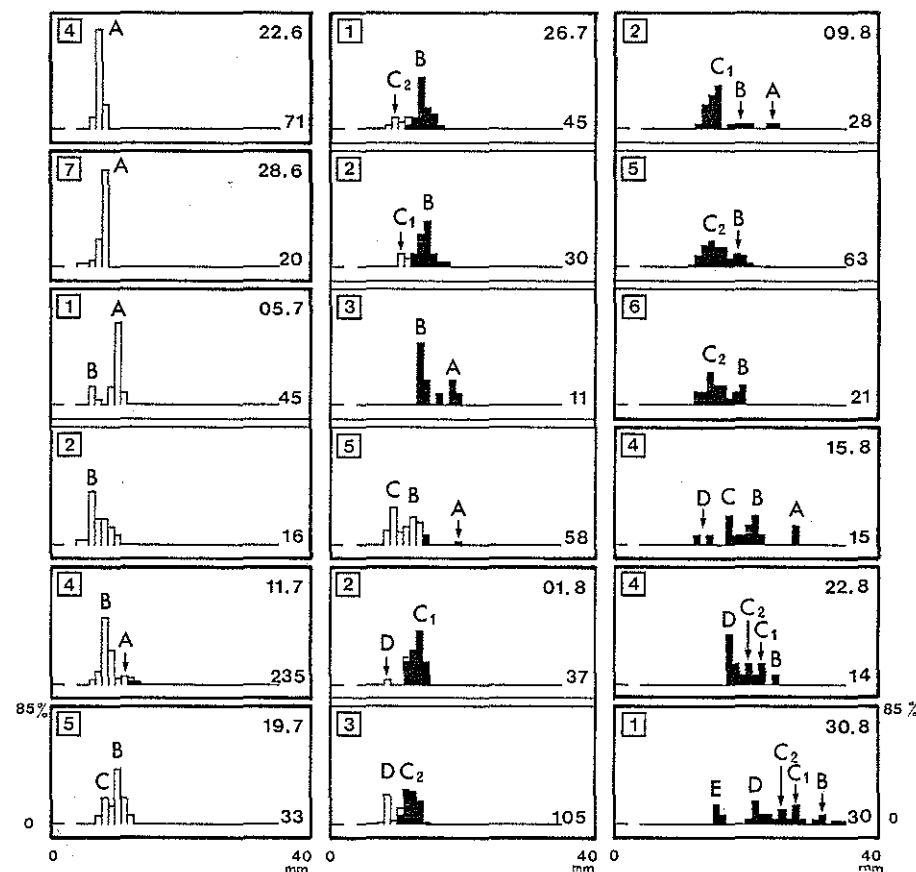


Figure 79 - Distribution hebdomadaire (du 22 juin au 30 août 1983) de la fréquence des longueurs standards des cohortes de perches-soleil - Morte de Sauguet. Les longueurs individuelles sont regroupées en classes par intervalle de 1 mm.

Le numéro encadré, placé en haut à gauche, correspond au numéro du prélèvement.

En haut, à droite, la date.

En bas, à droite, l'effectif.

En noir, les juvéniles.

III-3-1-2-2 Résultats et discussion.

L'exploitation des résultats est similaire à celle utilisée précédemment.

18 échantillons sont conservés (effectifs ≥ 10) parmi les 34 existants (tableau XVIII). La figure 79 regroupe l'ensemble des distributions par classes de taille pour les prélèvements conservés.

Il est possible de distinguer 5 cohortes, perçues respectivement le 22 juin (cohorte A), le 5 juillet (cohorte B), le 19 juillet (cohorte C), le 1er août (cohorte D) et le 30 août (cohorte E).

Une certaine complexité existe au niveau de la cohorte C qui présente un décalage de la classe modale d'un échantillon à l'autre au cours de plusieurs dates (26 juillet, 1er août, 9 août, 22 août et 30 août). Il est donc possible de séparer 2 "sous-cohortes" C1 et C2 suffisamment proches l'une de l'autre pour entraîner une confusion.

La cohorte B apparaît elle-même composite puisqu'à la date du 26 juillet, on ne trouve pas moins de 3 classes modales différentes (12,5, 13,5 et 14,5 mm). Le prélèvement N°2 du 5 juillet révélait déjà l'existence d'une distribution étalée en regard de la cohorte A. Toutefois, il ne sera pas fait de dissociation au sein de cette cohorte car la distinction n'a pu être faite qu'une seule fois.

Au même titre que les rotengles, la période juvénile commence pour une taille de moins en moins importante, mais cet aspect est moins tranché que dans l'espèce précédente.

La croissance relative (ΔLS) des individus de chaque cohorte en fonction du nombre de degrés-jours séparant 2 dates [$\Delta(\text{degrés-jours})$] s'avère être totalement différente de celle vue pour le rotengle (figure 80). On notera d'une part l'augmentation de la vitesse de croissance d'une cohorte à l'autre, d'autre part l'accélération de la croissance des individus avec l'âge. Les premières cohortes (A et B) grandissent beaucoup plus lentement que les autres (B, C1, C2 et D).

La croissance n'est plus dépendante du seul facteur thermique, il existe un autre facteur, probablement biotique, susceptible de l'affecter sensiblement.

La croissance des cohortes est représentée sur la figure 81. L'accélération sensible de la croissance s'effectue au delà de 15 mm.

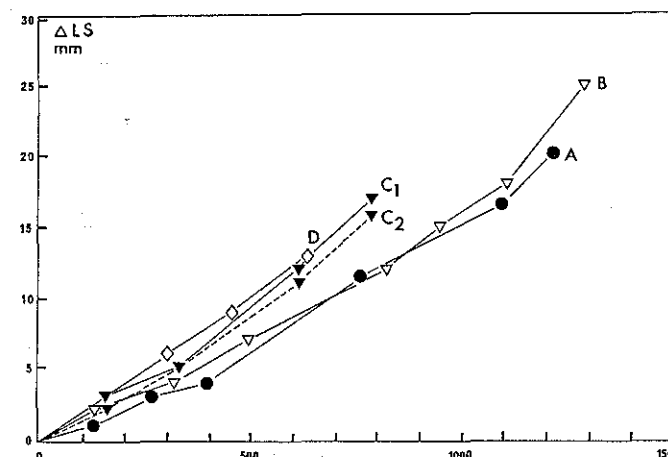


Figure 80 - Croissance relative de chaque cohorte de perches-soleil entre la date de première capture et les dates ultérieures, en fonction du nombre de degrés-jours.

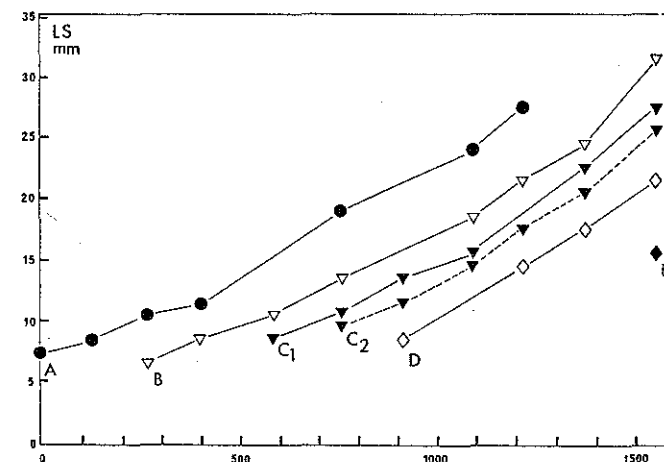


Figure 81 - Croissance des cohortes de perches-soleil en fonction du nombre de degrés-jours comptés à partir du 22 juin 1983, date de première capture des perches-soleil

III- Les populations d'alevins

Les dates de ponte et d'éclosion sont calculées à partir d'ajustements linéaires établis sur les premiers points qui suivent un modèle linéaire. Cette méthode admet que la croissance des individus **antérieurement** à leur première observation répond effectivement à ce modèle. Les données chiffrées nécessaires à l'estimation des dates sont empruntées à WANG & KERNEHAN (1979), à savoir une durée d'incubation de 3 jours à 22°C et une longueur totale à l'éclosion de 2,4 mm à 2,9 mm.

Remarque : La longueur standard peut, dans le cas des protolarves de cette espèce, être considérée comme non différente de la longueur totale.

Les dates de ponte et d'éclosion sont calculées à partir des relations suivantes :

Cohorte A : $LS = 0,0105 \text{ (degrés-jours)} + 7,427$
 $N = 4 \quad r = 0,993$

Cohorte B : $LS = 0,0145 \text{ (degrés-jours)} + 2,528$
 $N = 5 \quad r = 0,998$

Cohorte C1 : $LS = 0,0143 \text{ (degrés-jours)} + 0,037$
 $N = 4 \quad r = 0,994$

Cohorte C2 : $LS = 0,0183 \text{ (degrés-jours)} - 4,867$
 $N = 5 \quad r = 0,995$

Cohorte D : $LS = 0,0204 \text{ (degrés-jours)} - 10,226$
 $N = 4 \quad r = 0,999$

Les estimations sont regroupées dans le tableau ci-dessous.

COHORTES	PONTES	ECLOSIONS	JUVENILES *
A	24 mai au 27 mai	30 mai au 1 juin	43 - 46 jours
B	18 au 20 juin	22 au 24 juin	37 - 39 jours
C1	27 au 29 juin	1 au 3 juillet	32 - 34 jours
C2	9-10 juillet	12-13 juillet	23 - 24 jours
D	18-19 juillet	21-22 juillet	22 - 23 jours
E	?	?	?

* Nombre de jours comptés depuis la ponte jusqu'à la période juvénile.

TAILLE DES JUVENILES

	Minimale	Moyenne
A	12 mm	----?----
B	11 mm	13,5 mm
C1	11 mm	13,5 mm
C2	10 mm	11,5 mm
D	10 mm	11,5 mm

La première ponte a eu lieu fin mai pour une température moyenne de 12 °C, plus basse que celle trouvée pour les rotengles. La ponte se poursuit pendant deux mois environ (juin-juillet).

Alors que les rotengles sont observés en surface une semaine environ après l'éclosion, il faut compter, pour les perches-soleil, deux à quatre semaines entre la date d'éclosion et les premières captures. Ce délai correspond à la période pendant laquelle les larves vivent en eaux profondes et développent un comportement grégaire (FABER, 1984). Cet auteur signale que les perches-soleil reviennent dans les herbiers des eaux peu profondes pour une taille de 20 à 35 mm et y vivent en bancs jusqu'à la taille de 50 à 75 mm. Au vu des résultats, il est possible de parler d'un comportement grégaire accusé pour une taille nettement moindre (LS = 6,5 mm).

Les perches-soleil sont capturées en même temps que les rotengles avec lesquels elles forment parfois un seul banc; dans ce cas, la taille des individus des deux espèces s'identifie autour d'une classe modale unique.

Alors que les deux espèces occupent un même espace pendant la période larvaire et le début de la période juvénile, elles occupent par la suite des milieux différents. Les perches-soleil s'installent en petits bancs dans la végétation tandis que les rotengles progressent en bancs importants à la périphérie des herbiers.

Il est fort possible que l'accélération de la croissance des perches-soleil (taille ≥ 15 mm) soit en relation avec le comportement de l'espèce et ce changement de niche écologique.

III-3-2 LES POPULATIONS DE LA LÔNE DES CHEVRES

Parmi 13 espèces récoltées dans cette lône, quatre ont été capturées régulièrement et en nombre suffisant pour en étudier la croissance. Il s'agit du Gardon (*Rutilus rutilus*), de l'Ablette (*Alburnus alburnus*), du Spirilin (*Alburnoides bipunctatus*) et du Chevaine (*Leuciscus cephalus*).

Sur un total de 54 points de prélèvement, ces 4 représentants de la famille des Cyprinidae sont observés respectivement dans 88,9%, 63%, 68,5% et 64,8% des échantillons (tableau XX).

En raison de leur appartenance à une même famille, ces espèces seront traitées globalement.

L'exploitation des résultats reprend les principes énoncés précédemment. Toutefois, un certain nombre de difficultés supplémentaires apparaissent dans l'interprétation, liées en grande partie aux contraintes abiotiques imposées aux populations d'alevins dans ce système lotique.

III-3-2-1 OCCUPATION DU MILIEU PAR LES LARVES ET JUVENILES.

L'occupation de l'espace aquatique est fortement dépendante du **courant**. Il contraint les jeunes individus à une cohabitation dans des secteurs restreints, dont le nombre est fonction des caractéristiques morphologiques et hydrologiques de la lône. Ce facteur revêt un caractère fondamental car il conduit irrémédiablement l'expérimentateur à une prospection répétée aux mêmes endroits d'une date à l'autre.

L'étude dynamique de la croissance supposant l'obtention d'effectifs respectables, des prélèvements conséquents et répétés en un point donné peuvent entraîner la disparition définitive d'une ou plusieurs cohortes. Plusieurs populations risquent d'être affectées par le prélèvement car la restriction de l'espace vital favorise la capture de plusieurs bancs distincts, apparemment monospécifiques, mais regroupant en réalité des espèces différentes appartenant aux mêmes classes de taille.

Contrairement à la Morte du Sauget où l'absence de courant s'avère favorable à la dispersion générale des bancs, les poissons vont occuper préférentiellement les abords immédiats des rives, sur une largeur approximative d'un mètre, ainsi que les pools créés par des embâcles quelconques (souches, branches, pierres, voire même des biens de "consommation" : véhicules automobiles, réfrigérateurs, etc...!).

Le chenal de la lône est inoccupé par les jeunes individus, hormis par les espèces benthiques (le goujon par exemple). Le maintien des poissons en un lieu donné est en rapport étroit avec la stabilité des conditions hydrologiques. Une augmentation de la vitesse du courant produite par une hausse ou une baisse du niveau d'eau provoque soit un déplacement latéral du banc vers la rive, soit une dérive vers un secteur plus favorable.

La figure 82 indique les secteurs régulièrement occupés par les alevins.

Remarque : Pendant la durée de l'échantillonnage (du 7 juin au 30 août 1983), aucune crue n'a perturbé le milieu. Il n'y a donc pas eu au cours de l'été de modifications des stocks par le biais d'apports ou de dérive autres que celles dépendantes de la biologie des espèces ou du "prédateur scientifique".

III-3-2-2 CROISSANCE DES ESPECES

III-3-2-2-1 Généralités

Le Gardon, l'Ablette, le Chevaine et le Spirilin sont des espèces grégaires, bien représentées dans les eaux fluviales. Leurs abondances relatives dans le Haut-Rhône sont indiquées ci-dessous (données empruntées aux rapports A.R.A.L.E.P.B.P., 1979, 1981, 1982, 1983 et 1984).

PERIODE	1979-80	1981-82	1982-83	1983-84
Chevaine	13,5 %	13,7 %	8,9 %	14,5 %
Spirilin	5,2 %	8,9 %	8,9 %	24,6 %
Gardon	9,6 %	6,1 %	24,8 %	2,7 %
Ablette	7,6 %	4,9 %	2,8 %	0,2 %

Les abondances relatives de ces mêmes espèces dans la lône des Grands Brotteaux (CARREL, 1981) sont les suivantes :

PERIODE	1980-81
Chevaine	6,8 %
Spirilin	4,0 %
Gardon	24,2 %
Ablette	14,8 %

Ces quelques chiffres montrent que la lône abrite plus

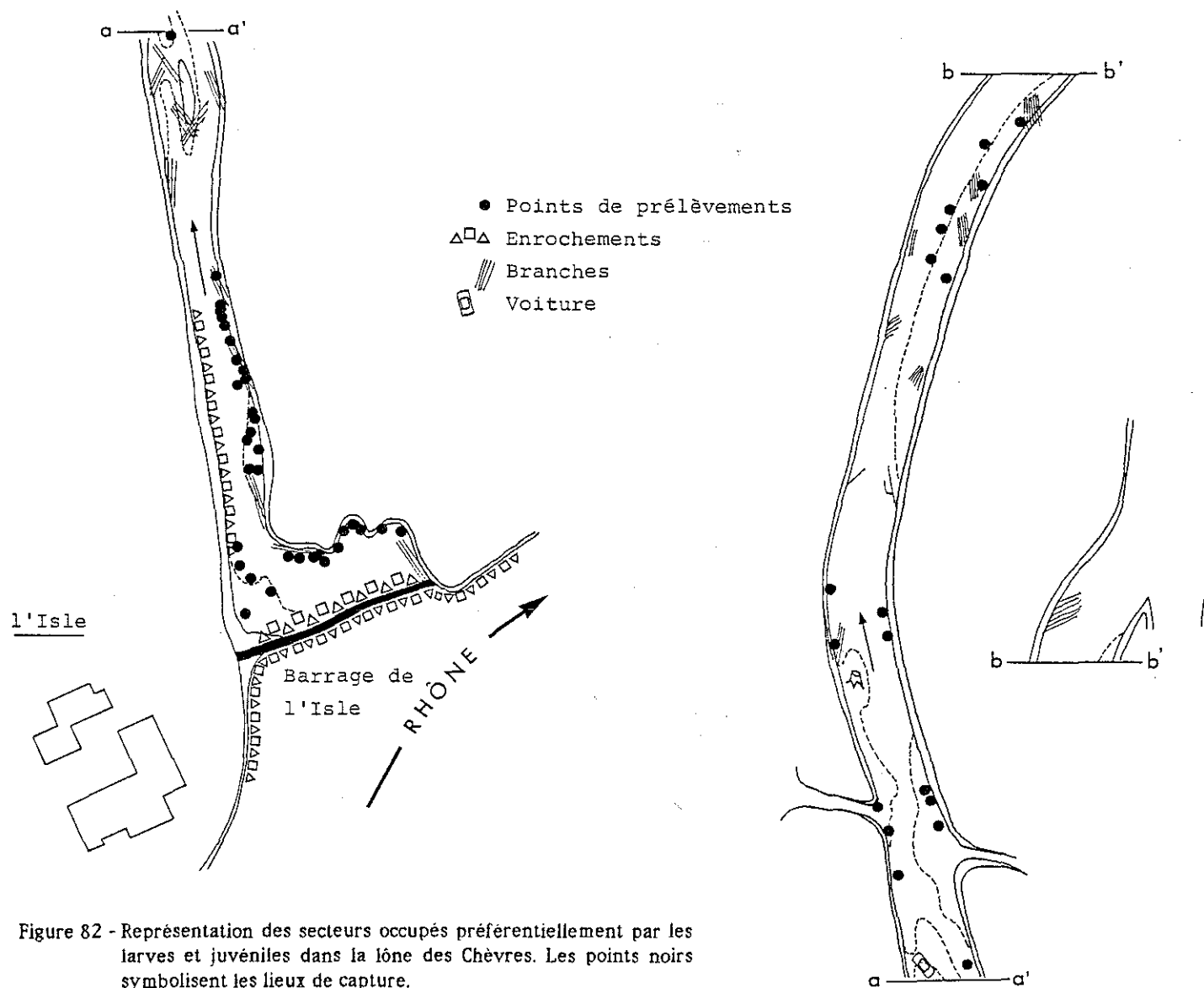


Figure 82 - Représentation des secteurs occupés préférentiellement par les larves et juvéniles dans la lône des Chèvres. Les points noirs symbolisent les lieux de capture.

III- Les populations d'alevins

particulièrement des espèces limnophiles (Gardon, Ablette).

L'étude piscicole réalisée en 1980-81 avait révélé l'aspect attractif de ce milieu, notamment de la partie amont, pour les jeunes individus (1⁺) de ces différentes espèces, montrant ainsi le rôle tenu par les annexes fluviales comme site préférentiel de frai, et d'habitat pour les juvéniles.

La coexistence dans ce milieu d'espèces rhéophiles et limnophiles est essentiellement due à l'existence du barrage semi-perméable de l'Isle qui conditionne la morphologie du milieu (pools profonds à eaux lentes ou stagnantes, radiers peu profonds où l'eau circule rapidement).

De plus, en raison de sa position dans l'axe du chenal, la lône constitue un tracé préférentiel pour les eaux lors des crues. Celles-ci y déposent de nombreuses embacles (troncs, branches), particulièrement dans la lône des Chèvres, qui constituent autant d'abris supplémentaires convenant aux poissons.

III-3-2-2-2 Quelques données relatives aux espèces

III-3-2-2-2-1 *Le Gardon*

Espèce grégaire et limnophile, le Gardon trouve dans la lône des Chèvres une zone de frayère peu profonde. KRYZHANOVSKY (1949) a placé cette espèce parmi les **phytophiles** (espèces dont la ponte s'effectue sur des macrophytes et existence de glandes adhésives permettant à la larve nouvellement éclosue de se maintenir sur le support). Toutefois, des observations complémentaires ayant permis de constater une ponte sur d'autres substrats, notamment du gravier et des blocs, ont conduit BALON (1975a) à classer cette espèce parmi les **phyto-lithophiles**.

La fécondité de l'espèce est importante : 150 000 à 200 000 ovules par kg (PHILIPPART & VRANKEN, 1985). Les oeufs, d'une taille comprise entre 1,9 et 2,5 mm (CERNY, 1977), sont très adhésifs. L'éclosion a lieu en 2 à 5 jours ; la larve mesure alors 5 à 5,5 mm (LS). Après 15 jours à 19-22 °C, elle recherche activement sa nourriture (LS = 6,9 à 7,8 mm). La période juvénile commence après 70 jours environ, la longueur des individus est alors de 16,5 à 17,5 mm (CERNY, 1977).

III-3-2-2-2-2 *L'Ablette*

L'Ablette est une espèce **phyto-lithophile**, grégaire et pélagique, vivant en eau faiblement courante.

Une migration sur les frayères précède la ponte. Les oeufs, déposés de nuit sur des substrats quelconques situés à faible profondeur, ont un diamètre de 1,4 à 1,5 mm (KRYZHANOVSKY, 1949). La femelle présente une ponte échelonnée au cours du temps et libère 5000 à 7000 ovules (PHILIPPART & VRANKEN, 1985). L'éclosion a lieu après 15 à 20 jours ; les larves mesurent 4,5 à 5,5 mm. On les trouve en surface pour une taille de 6 à 6,5 mm. Les premiers juvéniles mesurent entre 15 et 20 mm (KOBELTSKAIA, 1981).

III-3-2-2-3 *Le Chevaine*

Le Chevaine est un poisson rhéophile et oxyphile, appartenant au groupe des **lithophiles** (BALON, 1975a). La fécondité est de 57 000 ovules/kg soit 39 000 pour une femelle de 35 cm (PHILIPPART & VRANKEN, 1985). Les adultes migrent depuis le chenal vers des micro-habitats favorables puis frayent sur les fonds graveleux ou sableux d'une zone courante. Le diamètre des oeufs est de 2,3 à 2,5 mm (CERNY, 1977). L'éclosion se produit après une incubation de 60 à 80 degrés-jours (PHILIPPART & VRANKEN, 1985) et les larves ont alors 5,5 mm environ. La nutrition exogène débute chez les individus de 8,9 à 9,4 mm et la période juvénile au delà de 17,3 à 18,1 mm (PROKES & PENAZ, 1980).

III-3-2-2-4 *Le Spirlin*

Cette espèce grégaire de petite taille (15 cm au maximum) préfère des eaux courantes et bien oxygénées. PHILIPPART & VRANKEN (1985) signalent le maintien de cette espèce à l'aval immédiat des barrages-écluses dans les rivières et fleuves chenalisés.

La ponte du spirin est échelonnée; elle s'effectue en plein courant sur des graviers ou du sable (espèce **lithophile**). La fécondité est assez faible : 1000 à 2000 ovules par femelle; l'incubation des oeufs nécessite 80 à 100 degrés-jours (PHILIPPART & VRANKEN, 1985). A l'éclosion, la taille des larves est de 6,8 à 8 mm et la nutrition exogène est observée chez les individus de 8,5 mm environ (PENAZ, 1976).

III-3-2-2-3 Croissance des espèces

III-3-2-2-3-1 *Généralités*

La croissance est étudiée selon les méthodes décrites précédemment à partir du suivi des classes modales (tableaux XXI, XXII, XXIII, XXIV).

Les premières captures ont débuté plus tôt dans cette lône (7 juin 1983) que dans la Morte du Sauget, mais il est important de signaler l'absence totale de capture au cours des journées du 22 et 28 juin 1983 malgré une prospection de la totalité de la lône. Ce manque d'information non expliqué si ce n'est par la pauvreté des effectifs des premières éclosions complique le suivi des cohortes de deux espèces : le Gardon et le Chevaîne.

Les restrictions opérées lors des captures afin d'éviter un dépeuplement artificiel de la lône, ainsi qu'un nombre d'espèces "capturables" nettement plus élevé dans ce milieu, ont entraîné une réduction du nombre de prélèvements significatifs (conservation du prélèvement lorsque l'effectif de l'espèce choisie est supérieur ou égal à 10 individus). En conséquence, on ne s'étonnera pas de trouver ici un petit nombre d'histogrammes "utiles" par espèce, en regard du Rotengle ou de la Perche-soleil.

Les nombres d'échantillons conservés sont indiqués ci-dessous.

Gardon	34 échantillons (effectifs ≥ 10) sur 48 - (figure 83)
Ablette	18 échantillons (effectifs ≥ 10) sur 34 - (figure 84)
Spirilin	18 échantillons (effectifs ≥ 10) sur 37 - (figure 85)
Chevaîne	13 échantillons (effectifs ≥ 10) sur 35 - (figure 86)

Le choix d'un effectif minimal appliqué au point de prélèvement conduit à une ignorance "artificielle" des classes modales; pouvant aller, dans le cas du Chevaîne, jusqu'à évincer la quasi-totalité des observations faites au cours de plusieurs dates d'échantillonnages. C'est ainsi que les enregistrements réalisés les 16 juin, 5 juillet, 1er, 9, 16 et 22 août 1983 sont éliminés des représentations graphiques.

Une entorse à cette règle a donc été faite pour un suivi correct des cohortes de chevaîne en considérant la somme des effectifs des échantillons réalisés les 16 et 22 août 1983, soit respectivement 23 et 11 individus, comme représentatifs de la croissance des diverses cohortes de cette espèce.

La croissance des 4 espèces est considérée en fonction du nombre de degrés-jours comptés à partir du 7 juin 1983. Il est possible, à partir des résultats obtenus de distinguer une succession de cohortes dont le nombre oscille entre 4 à 7.

Les cohortes, les dates de première capture et les tailles moyennes sont indiquées ci-après.

ESPECE	COHORTE	DATE	CLASSE MODALE
Gardon	A	7 juin 1983	11,5 mm
	B	16 juin 1983	11,0 mm
	C	11 juillet 1983	14,5 mm
	D	16 juin 1983	8,5 mm
	E	1er août 1983	11,5 mm
Ablette	A	11 juillet 1983	13,5 mm
	B	11 juillet 1983	9,5 mm
	C	26 juillet 1983	9,5 mm
	D	22 août 1983	12,5 mm
Spirilin	A	5 juillet 1983	13,5 mm
	B	5 juillet 1983	10,0 mm
	C	11 juillet 1983	11,5 mm
	D	19 juillet 1983	11,5 mm
	E	1er août 1983	11,5 mm
	F	1er août 1983	10,0 mm
	G	22 août 1983	14,5 mm
Chevaîne	A	19 juillet 1983	20,5 mm
	B	19 juillet 1983	17,5 mm
	C	19 juillet 1983	15,5 mm
	D	11 juillet 1983	11,5 mm
	E	11 juillet 1983	9,5 mm
	F	11 juillet 1983	7,5 mm

Ces premiers résultats appellent déjà quelques commentaires.

Au même titre que dans la Morte du Sauget, le nombre de cohortes est particulièrement élevé.

Cet aspect a déjà été discuté par divers auteurs, notamment par PENAZ et PROKES de l'Institut de Zoologie des Vertébrés de BRNO (Tchécoslovaquie). PENAZ et al. (1978) ont observé en 1976, au cours d'une étude sur la rivière Jihlava, 2 pontes successives chez le Gardon et le Hotu, 3 chez le Spirilin et le Chevaîne, 4 chez le Goujon. D'autre part, une étude parallèle effectuée la même année sur la rivière Rokytna (affluent de la Jihlava) a montré 4 pontes successives pour le Chevaîne (PROKES & PENAZ, 1980).

Nous en déduisons que le nombre de cohortes est fonction des conditions météorologiques et hydrologiques; il diffère d'une année et d'un milieu aquatique à l'autre.

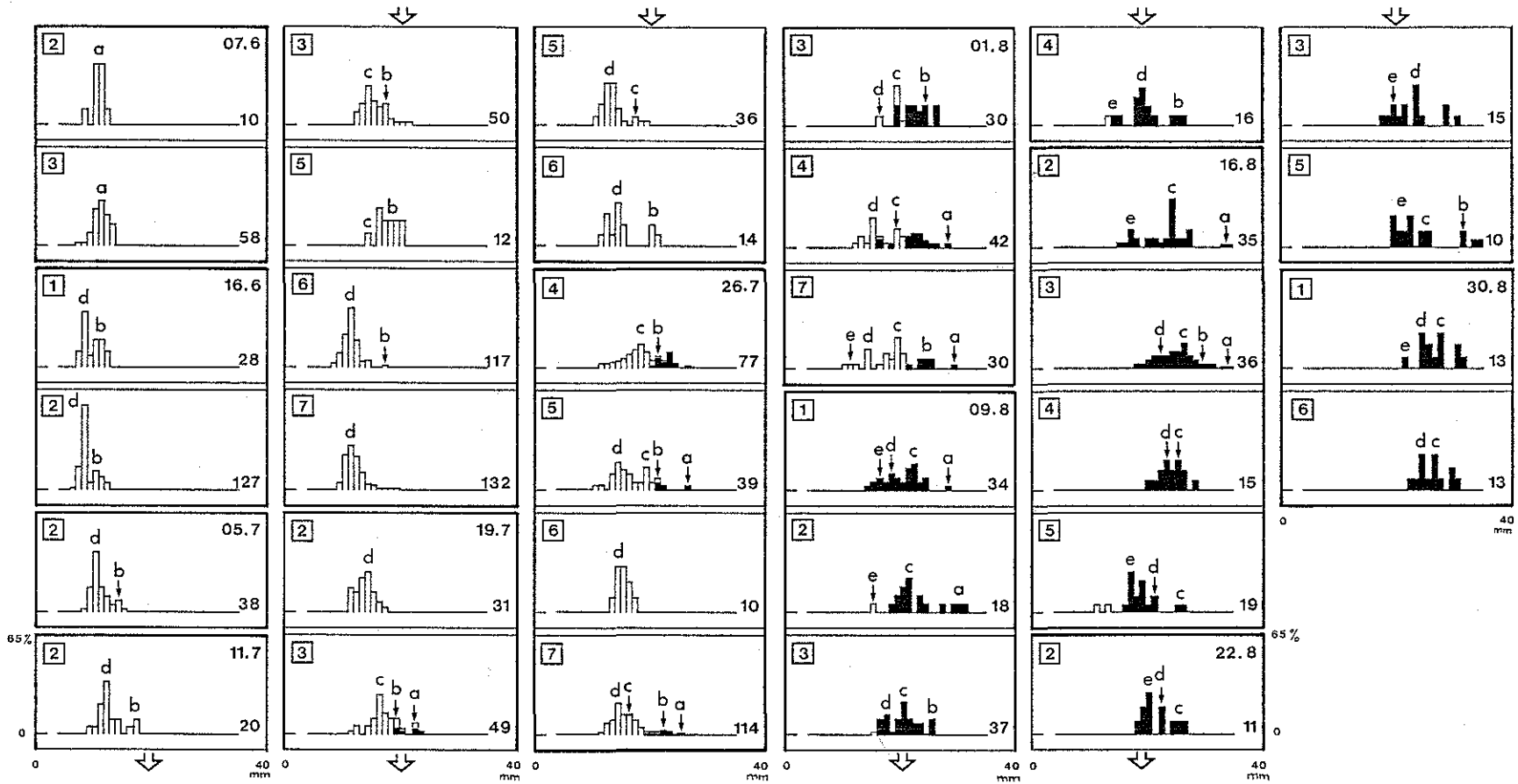


Figure 83 - Distribution hebdomadaire (du 7 juin au 30 août 1983) de la fréquence des longueurs standards des cohortes de gardons - Lône des Chèvres. Les longueurs individuelles sont regroupées en classes par intervalle de 1 mm.

Le numéro encadré, placé en haut à gauche, correspond au numéro du prélèvement.
 En haut, à droite, la date.
 En bas, à droite, l'effectif.
 En noir, les juvéniles.

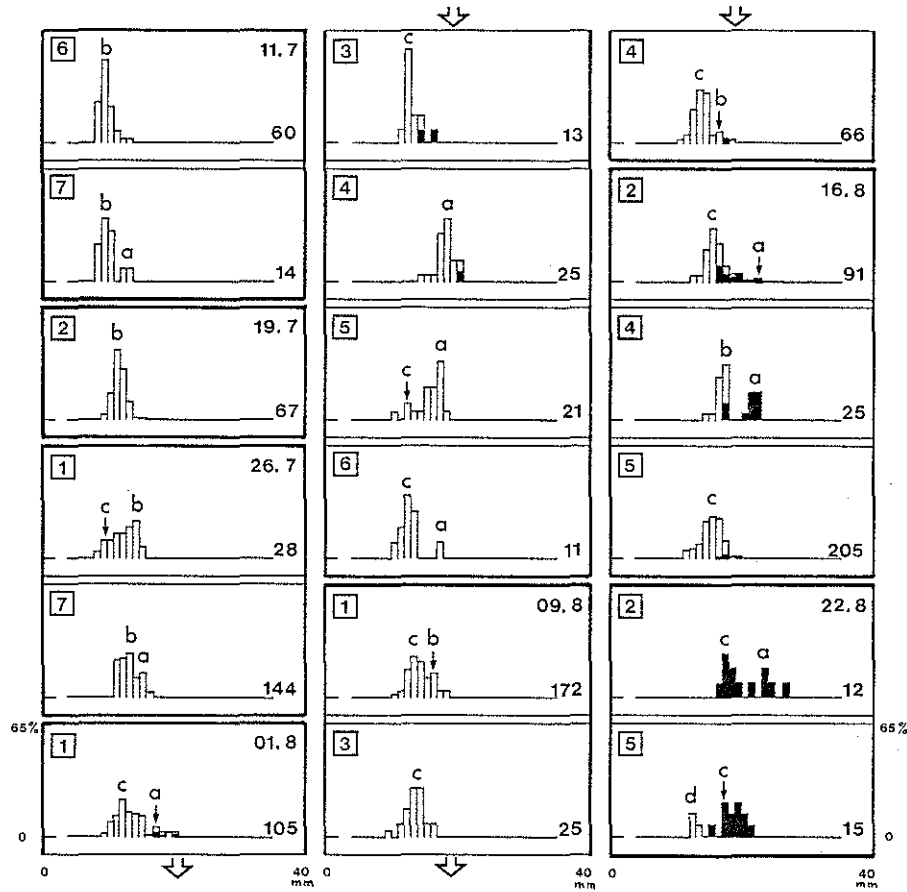


Figure 84 - Distribution hebdomadaire (du 11 juillet au 22 août 1983) de la fréquence des longueurs standards des cohortes de ablettes - Lône des Chèvres. Les longueurs individuelles sont regroupées en classes par intervalle de 1 mm.

Le numéro encadré, placé en haut à gauche, correspond au numéro du prélèvement.
 En haut, à droite, la date.
 En bas, à droite, l'effectif.
 En noir, les juvéniles.

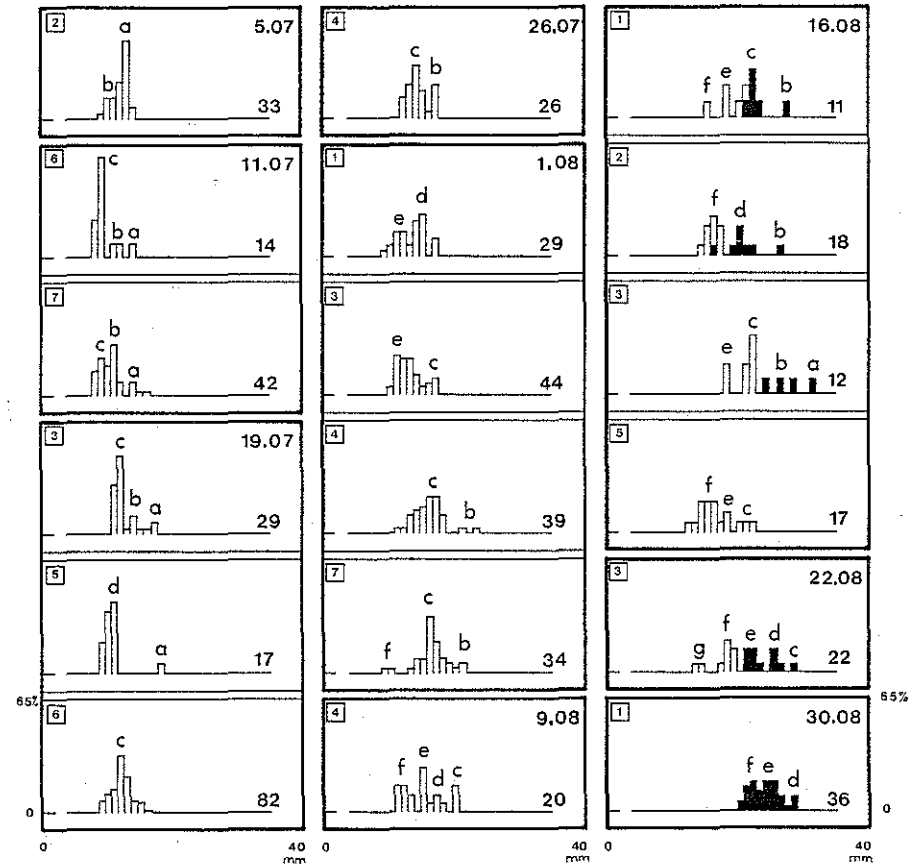


Figure 85 - Distribution hebdomadaire (du 5 juillet au 30 août 1983) de la fréquence des longueurs standards des cohortes de spirin - Lône des Chèvres. Les longueurs individuelles sont regroupées en classes par intervalle de 1 mm.

Le numéro encadré, placé en haut à gauche, correspond au numéro du prélèvement.
 En haut, à droite, la date.
 En bas, à droite, l'effectif.
 En noir, les juvéniles.

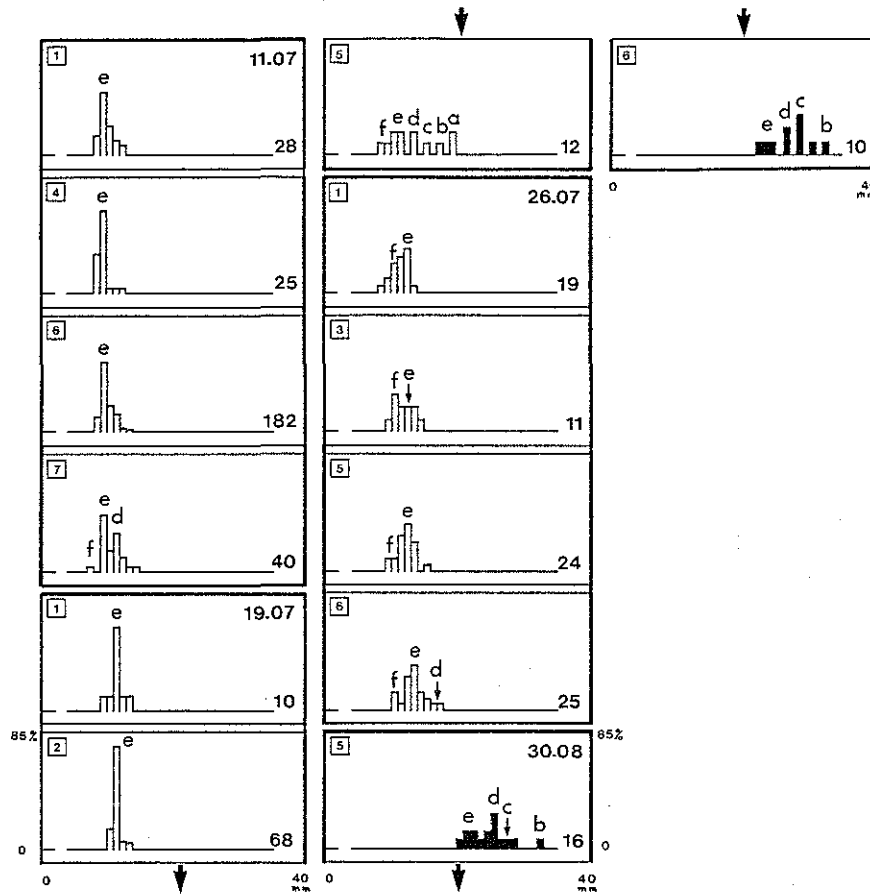


Figure 86 - Distribution hebdomadaire (du 16 juin au 30 août 1983) de la fréquence des longueurs standards des cohortes de chevaines - Lône des Chèvres. Les longueurs individuelles sont regroupées en classes par intervalle de 1 mm.

Le numéro encadré, placé en haut à gauche, correspond au numéro du prélèvement.
 En haut, à droite, la date.
 En bas, à droite, l'effectif.
 En noir, les juvéniles.

Contrairement à la Morte du Sauguet où la perception par l'échantillonnage des différentes cohortes s'est effectuée parallèlement à leur apparition dans le milieu, les différentes cohortes des espèces occupant la lône des Chèvres n'ont pas toujours été observées selon une chronologie "normale". Les individus de certaines pontes tardives ont parfois été capturés pour la première fois,

- avant ceux issus des pontes précédentes (cas du gardon et du chevine),
- ou en même temps que les individus provenant des premières pontes.

La méthode d'échantillonnage apparaît comme l'élément explicatif de ces résultats car la capture des individus s'effectue à vue. S'il n'y a pas observation de poissons, l'engin de pêche n'est pas immergé.

Les difficultés de perception visuelle sont plus importantes dans la lône des Chèvres que dans la Morte du Sauguet en raison d'une forte turbidité des eaux.

D'autre part, la meilleure vision d'un banc est possible si l'observateur se situe à l'aplomb des individus. Or, cette observation "verticale" n'est généralement pas applicable dans cette lône car de nombreux arbres surplombent les eaux et compliquent l'approche des rives avec une embarcation.

III-3-2-2-3-2 *Croissance et estimations des dates de ponte et d'éclosion*

Ces estimations ne sont possibles qu'après étude des courbes de croissance de ces quatre Cyprinidae.

Les figures 87a et b montrent :

1) que la croissance des quatre espèces (pour la période considérée, soit du 7 juin au 30 août 1983) suit sensiblement un modèle linéaire similaire à celui du Rotengle,

2) qu'il n'existe pas comme il l'a été vu chez le rotengle d'homogénéité de la croissance entre les diverses cohortes,

3) que la vitesse de croissance tend à diminuer au cours du temps avant de réaugmenter en fin de saison (le cas le plus explicite étant celui du gardon).

Les explications les plus vraisemblables répondant à cette dernière observation, sachant que le critère thermique n'entre pas en ligne de compte dans le cas de cette représentation, peuvent être les suivantes :

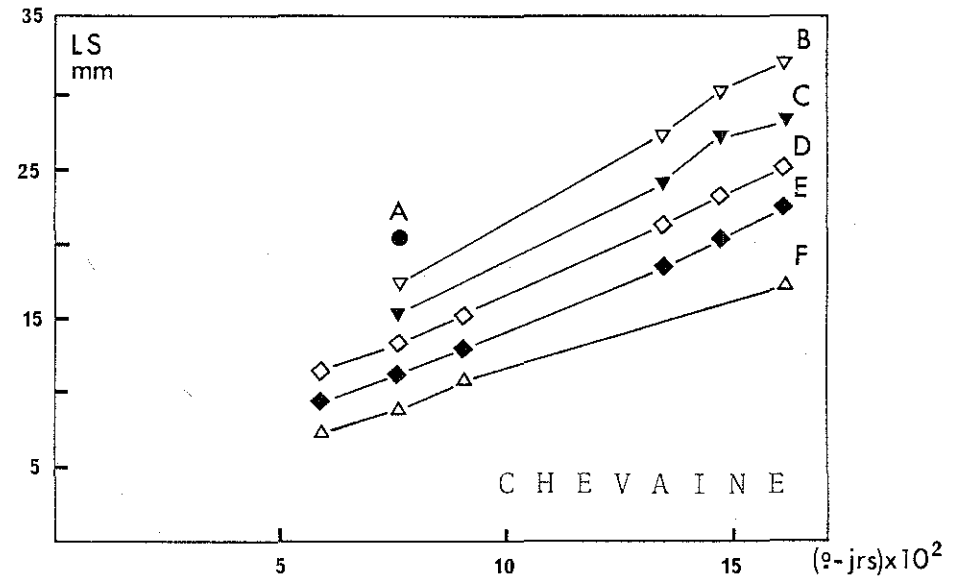
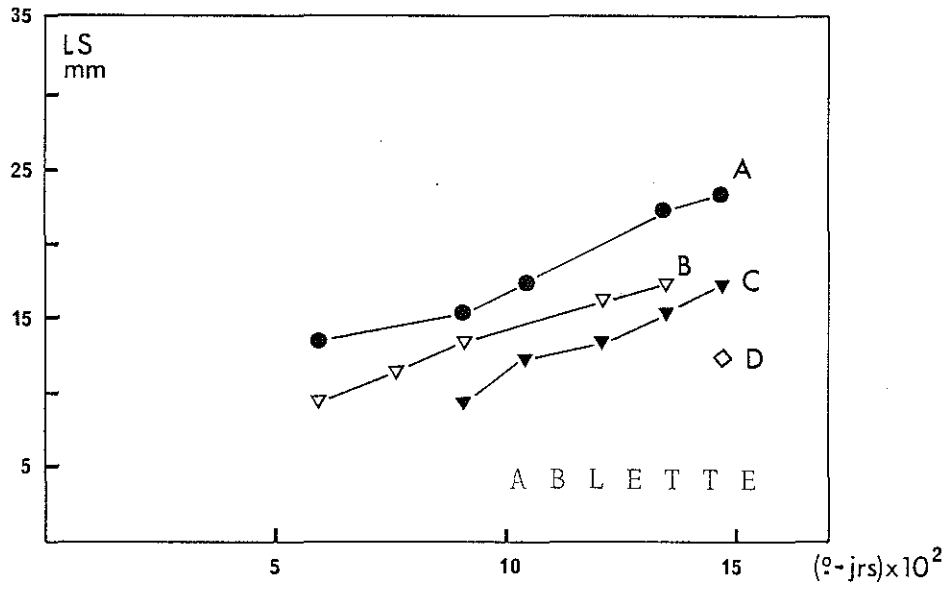
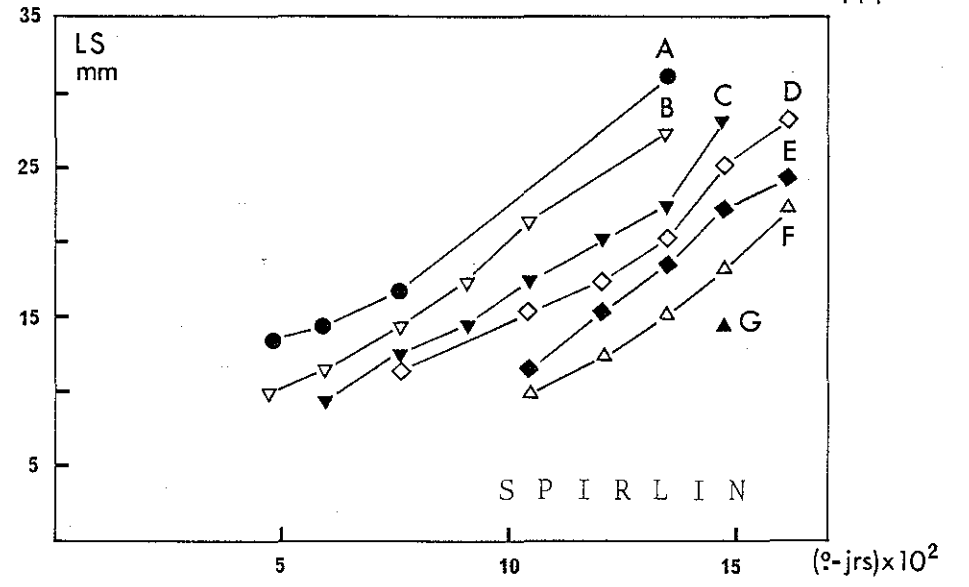
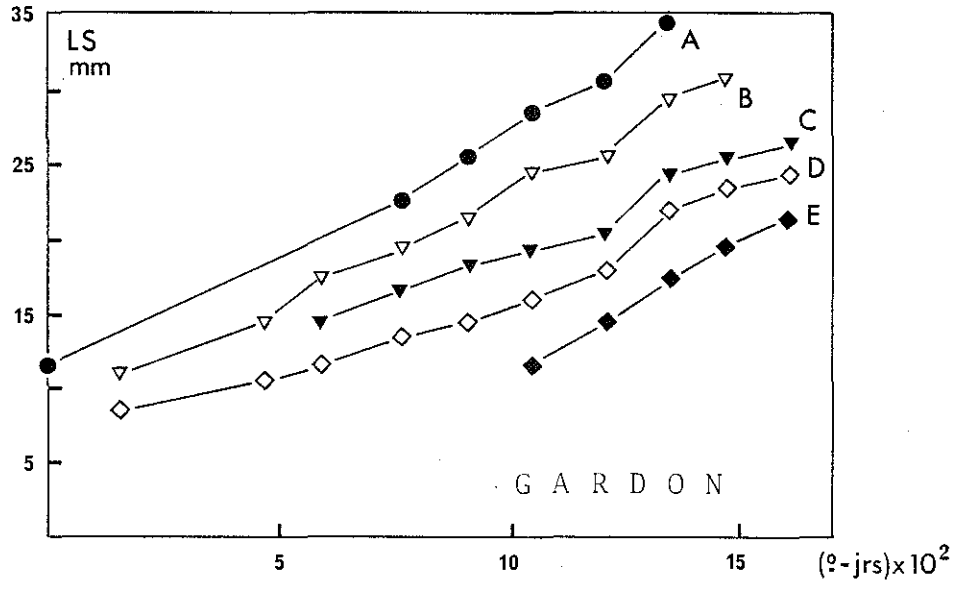


Figure 87a - Croissance des cohortes des 4 espèces de Cyprinidae.

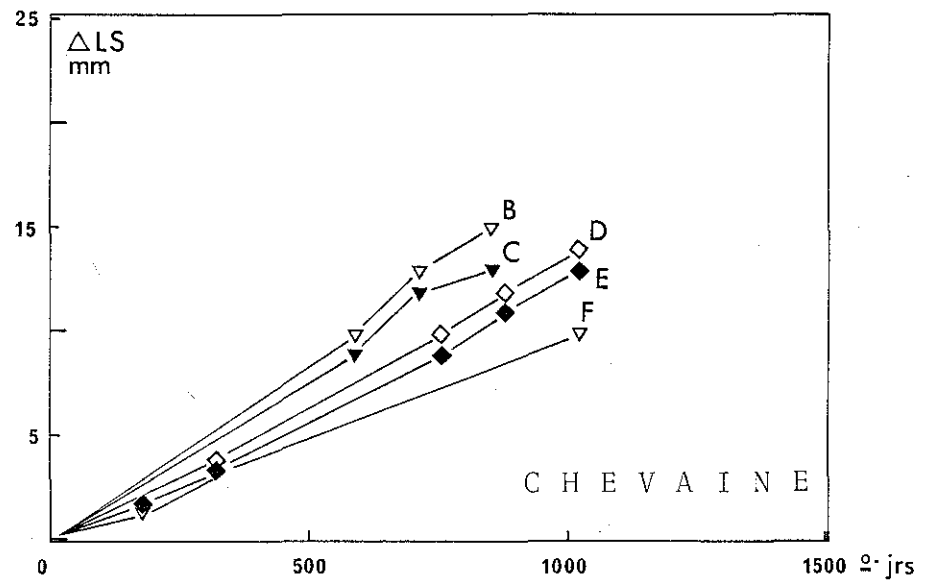
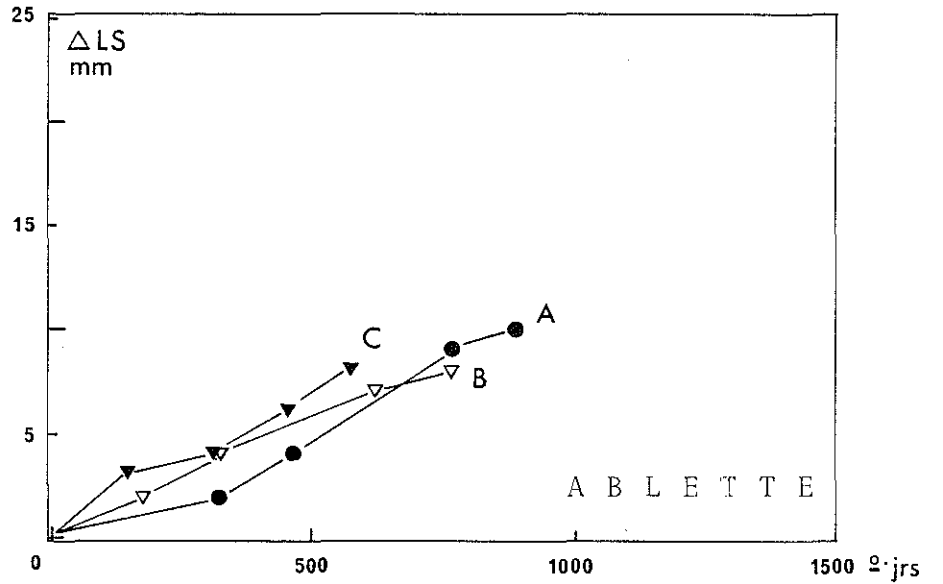
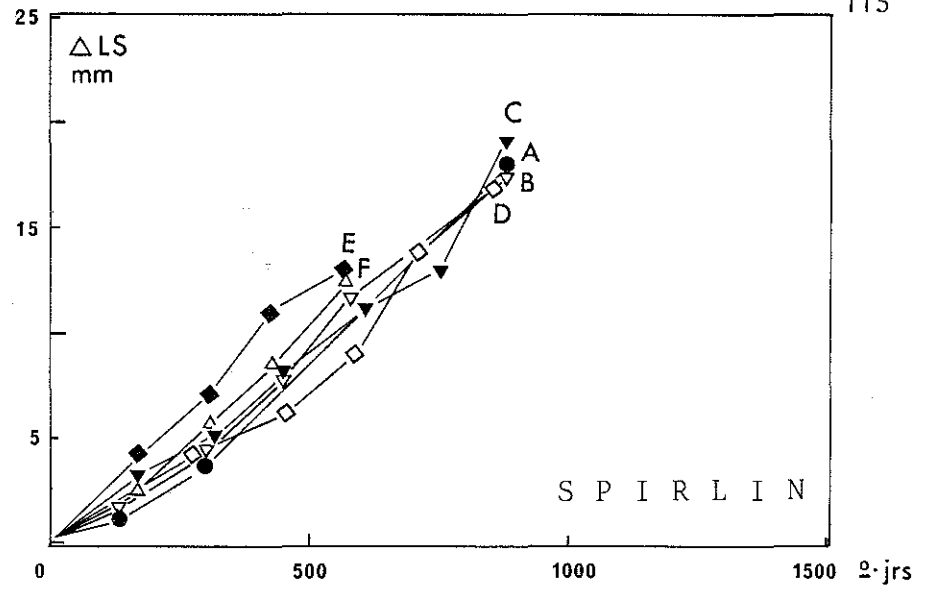
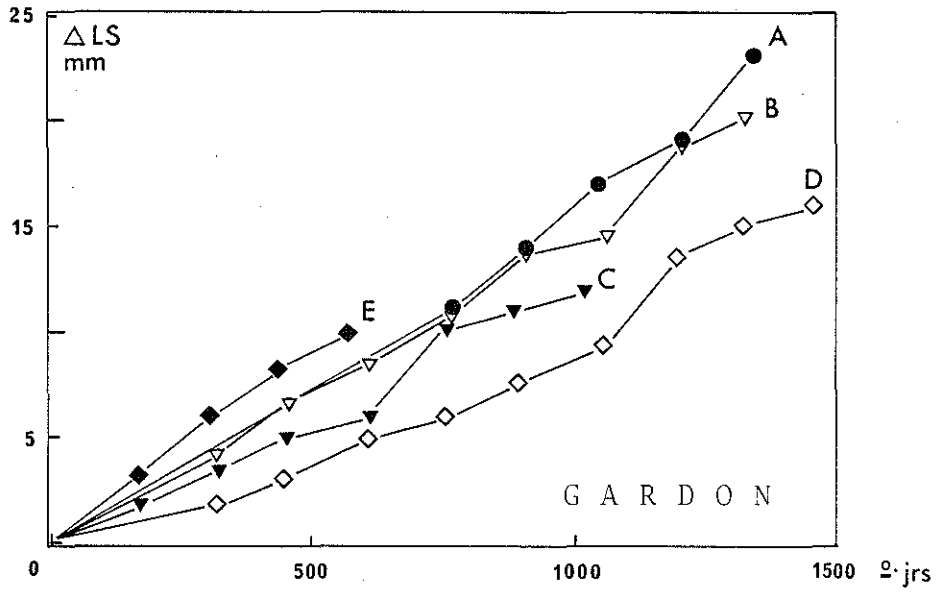


Figure 87b - Croissance relative des cohortes des 4 espèces de Cyprinidae.

1) Le nombre de jeunes, appartenant à plusieurs espèces, occupant à un moment donné un site favorable à leur survie, est particulièrement important dans un espace restreint ; on peut donc concevoir l'existence d'une compétition intra- et inter-spécifique marquée, relative à la disponibilité de nourriture et de place.

2) Cette compétition semble disparaître chez des cohortes dont l'apparition est tardive (cas de la cohorte E pour le gardon, C pour l'ablette); ces cohortes retrouvent des conditions plus favorables à leur croissance suite à une libération de la niche écologique par leurs homologues âgés.

Un ajustement linéaire appliqué aux diverses cohortes permet par extrapolation et à partir des données de la littérature de calculer des dates de ponte et d'éclosion probables pour les différentes espèces.

Le Gardon

Les équations utilisées pour ces estimations sont les suivantes :

Cohorte A : $LS = 0,0166 \text{ (degrés-jours)} + 10,875$
 $N = 6 \quad r = 0,995$

Cohorte B : $LS = 0,0154 \text{ (degrés-jours)} + 8,022$
 $N = 9 \quad r = 0,995$

Cohorte C : $LS = 0,0121 \text{ (degrés-jours)} + 7,150$
 $N = 8 \quad r = 0,988$

Cohorte D : $LS = 0,0117 \text{ (degrés-jours)} + 5,038$
 $N = 10 \quad r = 0,980$

Cohorte E : $LS = 0,0178 \text{ (degrés-jours)} - 6,910$
 $N = 5 \quad r = 0,997$

Les données concernant la longueur standard de la larve à l'éclosion (5 à 5,5 mm) et la durée de l'incubation (9 jours à 13,7°C) sont empruntées à CERNY (1977).

COHORTE	PONTE	ECLOSION	JUVENILE *
A	23 au 25 avril	6 au 9 mai	78 à 80 jours
B	9 au 12 mai	21 au 24 mai	69 à 72 jours
C	9 au 13 mai	21 au 25 mai	91 à 95 jours
D	28 au 30 mai	6 au 9 juin	72 à 74 jours
E	7 au 9 juillet	14 au 15 juillet	39 à 41 jours

* Nombre de jours comptés depuis la ponte jusqu'à la période juvénile.

TAILLE DES PREMIERS JUVENILES

	Minimale	Moyenne	Taille estimée au 31.08.83
A	19 mm	22,5 mm	38,1 mm
B	19 mm	22,5 mm	33,2 mm
C	16 mm	22,5 mm	27,0 mm
D	14 mm	16,5 mm	24,2 mm
E	14 mm	16,5 mm	22,3 mm

L'Ablette

Les équations utilisées pour les estimations sont les suivantes :

Cohorte A : $LS = 0,0122 \text{ (degrés-jours)} + 5,366$
 $N = 5 \quad r = 0,983$

Cohorte B : $LS = 0,0107 \text{ (degrés-jours)} + 3,351$
 $N = 5 \quad r = 0,996$

Cohorte C : $LS = 0,0132 \text{ (degrés-jours)} - 2,102$
 $N = 5 \quad r = 0,986$

Cohorte D : ?

Les informations que nous possédons sur l'Ablette se limitent à la longueur standard à l'éclosion (4,5 à 5,5 mm : KOBELTSKAIA, 1981) et ne permettent donc pas une évaluation des dates de ponte.

COHORTE	PONTE	ECLOSION	JUVENILE *
A	?	31 mai au 6 juin	56 à 63 jours
B	?	12 au 18 juin	52 à 63 jours
C	?	5 au 9 juillet	44 à 48 jours

* Nombre de jours comptés depuis l'éclosion jusqu'à la période juvénile.

TAILLE DES PREMIERS JUVENILES

	Minimale	Moyenne	Taille estimée au 31.08.83
A	14 mm	/	25,4 mm
B	16 mm	19,5 mm	20,9 mm
C	15 mm	17,5 mm	19,6 mm

Le Chevaine

Les équations relatives aux estimations sont les suivantes :

Cohorte A : ?

Cohorte B : $LS = 0,0178$ (degrés-jours) + 3,906
N = 4 r = 0,999

Cohorte C : $LS = 0,0157$ (degrés-jours) + 3,543
N = 4 r = 0,996

Cohorte D : $LS = 0,0138$ (degrés-jours) + 3,067
N = 6 r = 0,999

Cohorte E : $LS = 0,0127$ (degrés-jours) + 1,743
N = 6 r = 0,999

Cohorte F : $LS = 0,0098$ (degrés-jours) + 1,731
N = 4 r = 0,998

Les données nécessaires au calcul sont empruntées à PROKES & PENAZ (1980) : incubation en degrés-jours = 65; LS à l'éclosion = 5,5 mm.

COHORTE	PONTE	ECLOSION
A	?	
B	7 juin	11 juin
C	9 juin	13 juin
D	12 juin	16 juin
E	18 juin	23 juin
F	25 juin	29 juin

L'absence de capture les 1er et 9 août ne permet pas d'indiquer le nombre moyen de jours nécessaires aux individus des différentes cohortes pour passer de la période larvaire à la période juvénile.

Les seules informations possibles concernent la cohorte E :

- durée moyenne : 60 jours,
- taille moyenne des premiers juvéniles : 18,5 mm.

Une estimation de la taille moyenne des individus de chaque cohorte à la date du 31 août 1983 nous permet d'indiquer les résultats suivants :

A	?
B	33,1 mm
C	29,3 mm
D	25,7 mm
E	22,6 mm
F	17,8 mm

Le Spirilin

Les équations impliquées dans les calculs sont les suivantes :

Cohorte A : $LS = 0,0213$ (degrés-jours) + 2,195
N = 4 r = 0,989

Cohorte B : $LS = 0,0205$ (degrés-jours) - 0,474
N = 6 r = 0,995

Cohorte C : $LS = 0,0201$ (degrés-jours) - 3,192
N = 7 r = 0,985

Cohorte D : $LS = 0,0201$ (degrés-jours) - 5,186
N = 6 r = 0,977

Cohorte E : LS = 0,0234 (degrés-jours) - 12,858
N = 5 r = 0,995

Cohorte F : LS = 0,0219 (degrés-jours) - 13,555
N = 5 r = 0,993

Cohorte G : ?

PENAZ (1976) donne les indications suivantes :
- incubation en degrés-jours : 80 à 100,
- taille à l'éclosion : 6,8 à 8,0 mm.

COHORTE	PONTE	ECLOSION	JUVENILE *
A	14 au 18 juin	20 au 23 juin	----- ? -----
B	22 au 25 juin	28 au 1er juillet	----- ? -----
C	29 juin au 3 juillet	5 au 8 juillet	45 à 49 jours
D	6 au 9 juillet	11 au 14 juillet	39 à 42 jours
E	21 au 25 juillet	26 au 29 juillet	29 à 33 jours
F	17 au 22 juillet	22 au 25 juillet	40 à 45 jours

* Nombre de jours comptés depuis la ponte jusqu'à la période juvénile.

L'acquisition des critères morphologiques propres aux juvéniles s'effectue lorsque les individus atteignent les tailles indiquées ci-dessous.

	minimale	moyenne
C	21,0 mm	22,5 mm
D	19,0 mm	20,5 mm
E	21,0 mm	22,5 mm
F	20,0 mm	22,5 mm

Au 31 août 1983, les individus de chaque cohorte ont une taille moyenne estimée (à partir des équations indiquées) de :

A	37,2 mm,
B	33,2 mm,
C	29,8 mm,
D	27,8 mm,
E	25,6 mm.

III-3-2-2-3-3 Discussions de ces résultats

Au même titre que pour le Rotengle et la Perche-soleil, la taille minimale des juvéniles diminue au cours du temps. Toutefois, cette différence de taille à un stade de développement équivalent est nettement plus marquée chez le Rotengle que chez les *Cyprinidae* de la lône des Chèvres. Le Gardon, espèce largement dominante dont la ponte s'est étalée entre la fin avril et la mi-juillet, constitue le meilleur exemple de ces modifications de taille observée dans la lône des Chèvres.

Chronologie des cohortes

* La première concerne les cohortes B et C du gardon. Les dates de ponte et d'éclosion calculées de ces deux cohortes bien individualisées au cours du suivi des classes modales sont identiques. Sachant que ces deux cohortes ont été capturées ensemble dans un même micro-habitat, il n'est pas envisageable de considérer que les vitesses de croissance distinctes de ces deux groupes d'individus nés en même temps soient liées à des conditions de vie favorables pour l'un, défavorables pour l'autre. On peut émettre une autre hypothèse, à savoir que ces deux cohortes proviennent des pontes synchrones de femelles appartenant à deux classes d'âge dont les ovules sont de tailles sensiblement différentes. Cependant, sachant que ces résultats sont issus d'estimations, on préférera supposer que les deux cohortes se sont succédées rapidement, et que l'intervalle de temps qui les sépare correspond à celui existant entre les deux bornes des intervalles calculés, soit 4 à 5 jours.

* Une deuxième particularité est observée au niveau des dates calculées pour le spirilin. La chronologie (A, B, C, ...) établie à partir des classes modales visualisées sur histogrammes, peut s'avérer fautive et nécessiter un réarrangement postérieur aux calculs. Il en est ainsi pour les cohortes E et F, la dernière (F) est en réalité apparue dans le milieu avant l'autre (E). Seule la recherche des dates de ponte et d'éclosion par ajustement linéaire a permis de déceler cette "anomalie".

Analyse globale des résultats

* Une représentation (figure 88) des estimations et observations est faite pour ces quatre espèces par superposition sur les courbes de température de l'eau (température moyenne journalière à Sault-Brénaz) et les débits du Rhône (débits moyens journaliers à Sault-Brénaz).

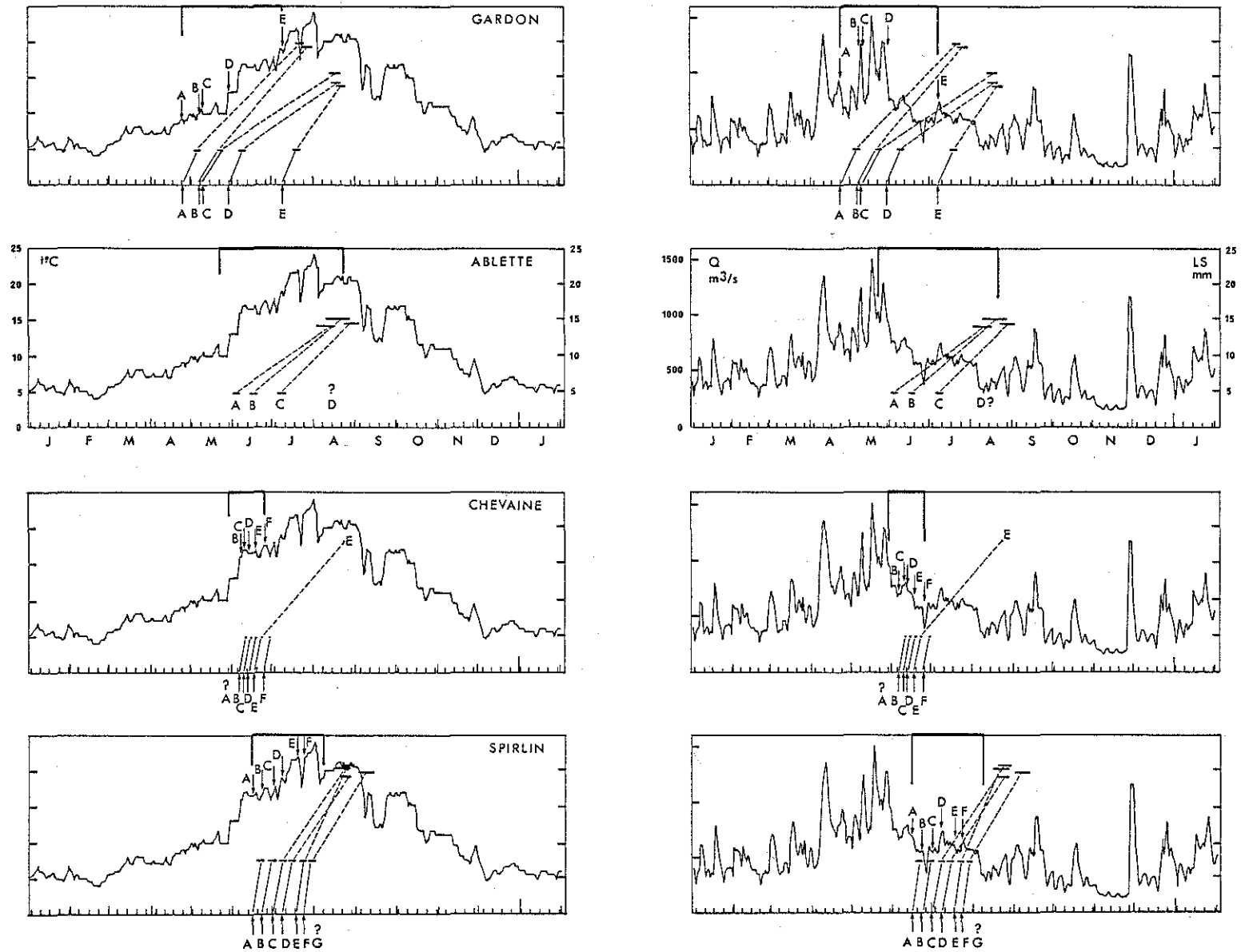


Figure 88 - Superposition des estimations (dates de ponte et d'éclosion) et des observations (taille minimale des premiers juvéniles de chaque cohorte) sur les tracés de température et de débit du Rhône à Sault-Brenaz.

En abscisse : le temps.

En ordonnées (gauche) : les températures et les débits.

En ordonnées (droite) : la taille des individus en mm

- à l'éclosion (données de la littérature),

- au début de la période juvénile (taille minimale observée pour chaque cohorte).

L'ordre chronologique d'apparition des espèces est le suivant :

- 1 - le Gardon,
- 2 - l'Ablette,
- 3 - le Chevaîne,
- 4 - le Spirilin.

Le laps de temps séparant la première et la dernière ponte de chaque espèce est très variable. Alors que la reproduction des gardons et des ablettes est très étalée (3 mois environ), celle des chevaines ne dure qu'un mois.

La ponte des espèces lotiques (Chevaîne et Spirilin) s'effectue rapidement et pourrait être liée directement au fait que ces poissons migrent depuis le chenal vers des micro-habitats plus favorables à leur reproduction. La ponte débute avec l'élévation de température en juin. Celle du Chevaîne s'observe entre 16,0°C et 19,0°C, correspondant aux températures optimales de développement (PROKES & PENAZ, 1980). La reproduction du Spirilin est observée pour des températures comprises entre 16,5°C et 22,0°C.

Les espèces lénitiques (Gardon et Ablette), dont la présence dans la lône est connue en dehors des périodes de reproduction, présentent des pontes particulièrement échelonnées au cours du temps. Le Gardon se reproduit dès la fin avril à des températures relativement basses (9,0°C) et l'apparition de larves se poursuit jusqu'à la mi-juillet (19,0°). Ces écarts de température sont à l'origine des différences de taille notables observées chez les juvéniles de cette espèce. La taille minimale des individus atteignant la période juvénile diminue progressivement de 19 mm à 14 mm. La température a une influence déterminante sur l'incubation ainsi que sur la durée des stades larvaires. Une température plus élevée pendant la croissance des larves se traduit par l'obtention de larves plus petites à un stade de développement équivalent (CERNY, 1980 - PROKES & PENAZ, 1980). La reproduction des ablettes est observée entre 10°C et 18°C.

L'intervention de la température permet à la plupart des poissons des différentes cohortes (hormis les deux premières du gardons) de passer de la période larvaire à la période juvénile en même temps (août), indépendamment de leurs tailles respectives. Cette accélération du développement permet ainsi aux plus jeunes individus d'acquérir le niveau de développement de leurs aînés.

Bien que la plupart des pontes soient en rapport étroit avec les élévations de température, il est intéressant de constater le parallélisme existant entre les hausses de niveau du fleuve et les pontes des gardons.

Faut-il établir une relation entre la reproduction de l'espèce et des facteurs abiotiques conjoints (température + variations du débit) ?

LELEK (1981) suggère pour les gardons l'existence d'un rôle attractif tenu par les lônes du Rhin lorsque la température de ces milieux est plus élevée que celle du chenal (printemps). En effet, la température de l'eau dans les lônes est sujette à des variations rapides en fonction des conditions météorologiques locales. La quasi-absence d'inertie thermique de ces milieux induit l'existence d'eaux plus froides pendant l'hiver, mais qui par contre se réchauffent rapidement au printemps. A cette saison, les écarts thermiques entre le cours principal et les annexes fluviales peuvent être suffisants pour offrir des conditions favorables à la reproduction des espèces. A la faveur d'une crue, puis du retrait des eaux, l'écoulement des eaux plus chaudes de ces annexes vers le chenal paraît attirer les individus matures. Ces courants chauds servent ainsi de fils directeurs pour conduire les poissons vers des eaux lénitiques peu profondes où s'effectuera le frai. Mais on peut également penser que suite à l'élévation du niveau et à l'augmentation de la vitesse du courant dans l'eupotamon, les gardons ont recherché des secteurs plus abrités pour la ponte pendant ces périodes de conditions hydrologiques sévères.

III-3-3 LA CROISSANCE DES JEUNES POISSONS : CONCLUSIONS

Cette étude porte sur 6 espèces grégaires, appartenant respectivement à deux familles.

- * F. des Cyprinidae
 - le Rotengle (*Scardinius erythrophthalmus*)
 - le Gardon (*Rutilus rutilus*)
 - l'Ablette (*Alburnus alburnus*)
 - le Chevaîne (*Leuciscus cephalus*)
 - le Spirilin (*Alburnoides bipunctatus*)

- * F. des Centrarchidae
 - la Perche-soleil (*Lepomis gibbosus*)

La croissance a été étudiée sur une courte période (3 mois) car les méthodes de capture utilisées ne permettent pas :

- 1) d'obtenir les individus nouvellement éclos avant qu'ils se déplacent activement dans le milieu pélagique,
- 2) d'échantillonner les individus juvéniles dont la taille (LS : longueur standard) excède 40 mm environ.

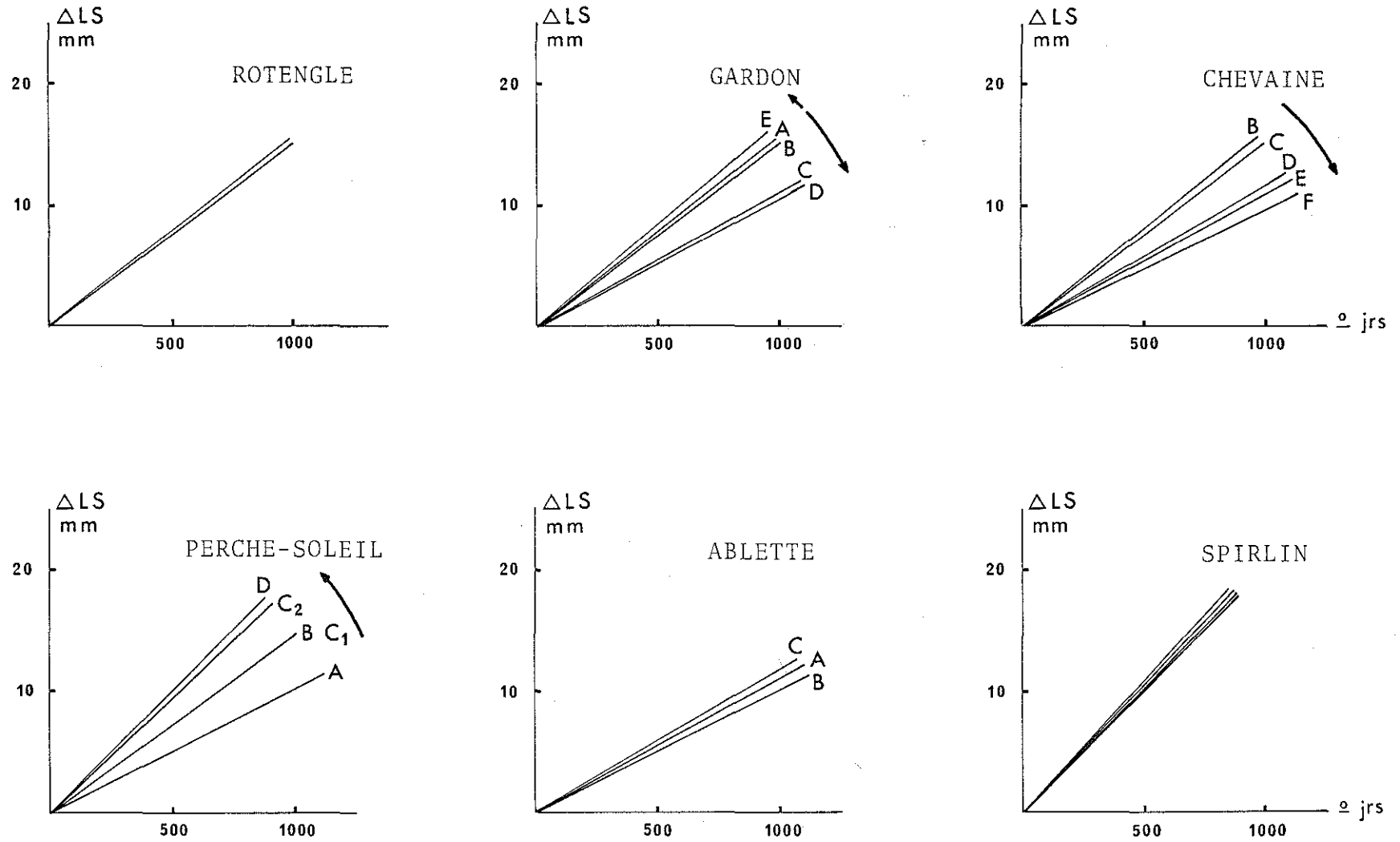


Figure 89 - Représentation simplifiée de la croissance relative des cohortes des 6 espèces étudiées.

III- Les populations d'alevins

Le suivi de la croissance réalisé par le biais des classes modales commence lorsque les poissons commencent à se nourrir, jusqu'au début de la période juvénile. Nous ne possédons pas d'observations immédiatement après l'éclosion, or ce laps de temps dure entre 4 à 8 jours chez les Cyprinidae, 10 à 20 jours pour la perche-soleil. Toutefois, ce type de données ne peut guère être obtenu en dehors d'expérimentations (élevages) qui ne refléteront que rarement une image de la croissance in situ.

La génération annuelle des poissons étudiés est constituée par une succession de cohortes dont le nombre peut être important (3 à 7). L'apparition de ces cohortes, dépendant principalement des conditions thermiques du milieu aquatique, est très fluctuante au cours du temps.

Comment expliquer cette succession de cohortes ?

Issues de pontes distinctes, faut-il considérer qu'elles proviennent:

- 1) de pontes successives des mêmes femelles ?
- 2) de pontes de femelles d'âges différents, s'effectuant de manière asynchrone ?
- 3) de pontes de femelles provenant de milieux aquatiques distincts, et frayant à des époques différentes ?

La taille des oeufs pondus diminuant lorsque la température augmente, on peut se demander si cet aspect contribue aux décalages temporels trouvés entre les pontes. Il y a là une multitude de questions qui soulèvent à elles seules de nombreux sujets de réflexions et de recherches.

Si la croissance des diverses cohortes suit, pour la période considérée, un modèle linéaire; il n'en demeure pas moins de grandes différences quant à la vitesse de croissance, indépendamment du seul critère thermique. Il est possible par la seule représentation des droites calculées pour la croissance relative des différentes cohortes de visualiser l'existence de facteurs abiotiques et biotiques susceptibles d'influencer la croissance des jeunes poissons (figure 89).

La vitesse de croissance des rotengles est très homogène. Dans la Morte du Sauguet, l'absence de contraintes spatiales créées par le courant, la grande disponibilité de nourriture en milieu eutrophe, l'existence de nombreux abris (macrophytes), sont autant de facteurs favorables à la régularité de la croissance.

Il n'en va pas de même pour la Perche-soleil, qui semble être nettement défavorisée par la forte densité de rotengles. La Perche-soleil est un poisson relativement lent dans ses déplacements par rapport au

Rotengle. Il est probable que la compétition interspécifique relative à la nourriture soit à l'origine des différences de vitesse de croissance observées entre cohortes. La vitesse s'est accrue au cours du temps. Les premières cohortes (A, B, C₁), dont l'apparition dans le milieu s'effectue parallèlement à celles du Rotengle, auraient été affectées par une compétition interspécifique marquée. Chez les suivantes (C₂, D), elle disparaîtrait en l'absence de nouvelles vagues de rotengles.

Dans la lône des Chèvres, où les espaces vitaux sont réduits par l'existence du courant, une nette compétition à la fois intra- et interspécifique entraîne une diminution de la vitesse de croissance chez les gardons et les chevaines. Cet élément défavorable s'estompe lors de l'apparition de la cohorte E (Gardon), qui en raison de son arrivée tardive, trouve des conditions optimales pour son développement. Il est probable que les conditions hydrologiques des mois d'avril et de mai 1983 ont contribué à la diminution de la vitesse de croissance observée chez les gardons.

Les autres espèces ne semblent pas affectées par les contraintes citées ci-dessus.

III-4 IMPACT D'UNE VIDANGE DE BARRAGES SUR LES POPULATIONS D'ALEVINS - APPROCHE PRELIMINAIRE

Les problèmes relatifs à la charge minérale des eaux fluviales et à la sédimentation des suspensions fines ont été évoqués au § II-2-3.

Ce ne sont pas moins de 400 000 tonnes par an de matériaux fins, charriés principalement par l'Arve, qui se déposent dans les réservoirs de Verbois et de Chancy-Pougny. Ces énormes quantités de matières en suspension stockées dans les retenues amont (Verbois, Chancy-Pougny et Génissiat) nécessitent une vidange et une chasse périodiques des réservoirs afin de leur restituer la capacité utile initiale. Depuis 1967, il a été convenu d'effectuer une vidange des deux aménagements de Verbois et de Chancy-Pougny tous les 3 ans, vers la fin du mois de juin lorsque les débits du Rhône permettent une assez bonne dilution des M.E.S. et un transit convenable par les retenues de Génissiat et de Seyssel.

A la suite des effets déplorables entraînés par ces vidanges, la plupart des organismes soucieux de la qualité du milieu aquatique se sont préoccupés de quantifier la pollution engendrée par ces relargages massifs de M.E.S., et ont proposé différentes solutions en vue de réduire le lourd tribut écologique résultant de ces manoeuvres.

La plus "meurtrière" de ces vidanges reste sans conteste celle de juin 1978 qui entraîna une mortalité massive des populations piscicoles. Au cours de ce mois de juin 1978, alors que le réservoir de Génissiat était en cours de vidange après 30 années de fonctionnement ininterrompu, une brutale réduction des débits en provenance de l'amont fut à l'origine d'une remontée catastrophique des taux de M.E.S. Trois millions de tonnes de M.E.S. ont quitté le réservoir de Génissiat au cours de cette vidange (contre 675 000 tonnes en 1984, rapport C.N.R., 1984) dont 1,9 million ont atteint Lyon. Le pic maximal de pollution s'est traduit par des teneurs en M.E.S. de 110 g/l, une anoxie totale pendant plusieurs heures et une concentration de 8,8 mg/l de NH_4^+ à Seyssel, 12 mg/l à Lyon (ROUX, 1984).

Le fait le plus marquant reste la destruction quasi-totale des populations piscicoles. La densité est tombée de 60% en regard de celle connue au printemps 1978 (ROUX, 1984). Si l'impact sur les poissons âgés a pu être particulièrement bien observé dans l'immédiat, il n'en a pas été de même pour les larves de la génération de l'année, voire les juvéniles de l'année précédente, dont l'éviction n'a pu être visualisée qu'au cours des études piscicoles postérieures à cet événement. La répartition en classes de

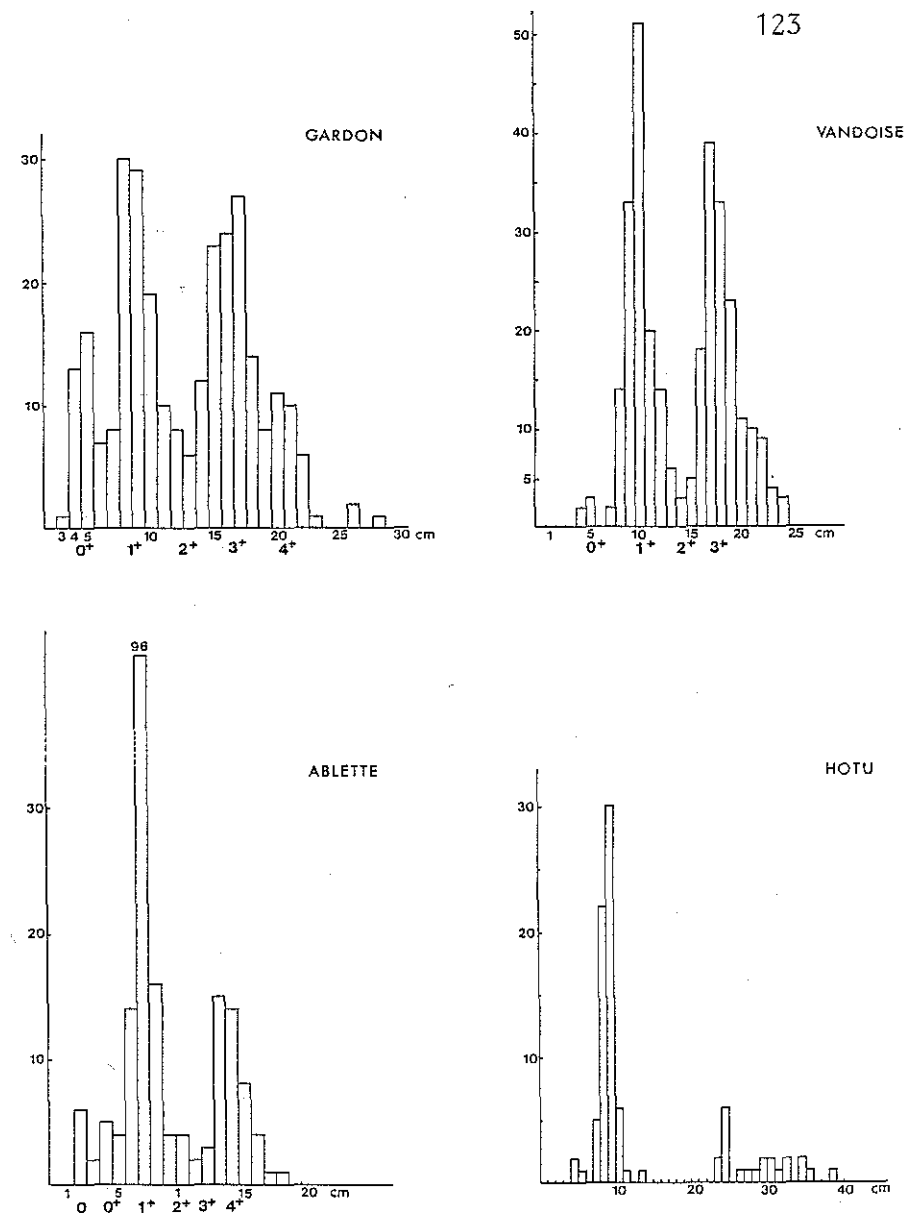


Figure 90 - Répartition en classes de taille de 1 cm des espèces piscicoles pêchées au cours de l'hiver 1980-1981 dans la lône des Grands Brotteaux. Les manques observés dans ces distributions sont liés à la vidange des barrages du Haut-Rhône de juin 1978.

III- Les populations d'alevins

taille des poissons capturés dans la lône des Grands Brotteaux pendant l'hiver 1980-81 montre fort bien l'absence d'une, ou de deux générations, en rapport avec cette pollution (figure 90).

Ce problème est important car il entraîne une altération trisannuelle de la reproduction des espèces, par le biais d'une toxicité aigue ou d'un colmatage des frayères, ce qui à terme pourrait se traduire par la transformation globale de l'espace aquatique et une perte de sa diversité.

C'est pourquoi une étude a été entreprise dans le but d'appréhender l'impact réel tenu par ce type de pollution particulière sur les populations de jeunes poissons. Pour ce faire, une première expérimentation a été mise en place pour la durée de la vidange de juin 1984, dont les résultats sont présentés ci-après. Certains problèmes inattendus sont apparus pendant la durée de l'expérimentation, leurs présentation et résolution devraient permettre d'élaborer un travail de plus grande envergure lors de la prochaine vidange.

III-4-1 LES CHASSES DE JUIN 1984 : ASPECTS TECHNIQUES

Les indications données ci-après sont extraites du rapport "CHASSES 1984" publié par la Compagnie Nationale du Rhône (C.N.R.).

III-4-1-1 LES DIVERSES CONTRAINTES POSEES PAR CETTE VIDANGE

Il s'agit là d'une énumération et d'une présentation des principaux problèmes liés à la vidange. Ces diverses contraintes conditionnent le programme de la vidange (date, durée, concentrations maximales admissibles, etc...).

* La quantité des matériaux accumulés pendant 3 ans dans les retenues de Verbois et de Chancy-Pougny représente 1 200 000 tonnes. Sachant que la teneur moyenne de M.E.S. à ne pas dépasser a été fixée à 5g/l à Seyssel (figure 91), l'évacuation nécessite 240 000 000 de m³ d'eau.

* Les eaux de vidange ne doivent pas emprunter les sections du Rhône court-circuitées par les aménagements de Chautagne et de Belley; en conséquence, le débit maximal du Rhône ne doit pas dépasser 700 m³/s au droit de ces ouvrages. Afin d'assurer un transit convenable des M.E.S., le débit ne doit pas tomber en dessous de 450 m³/s. Un franchissement de ces deux valeurs-limites entraîne un arrêt de la vidange.

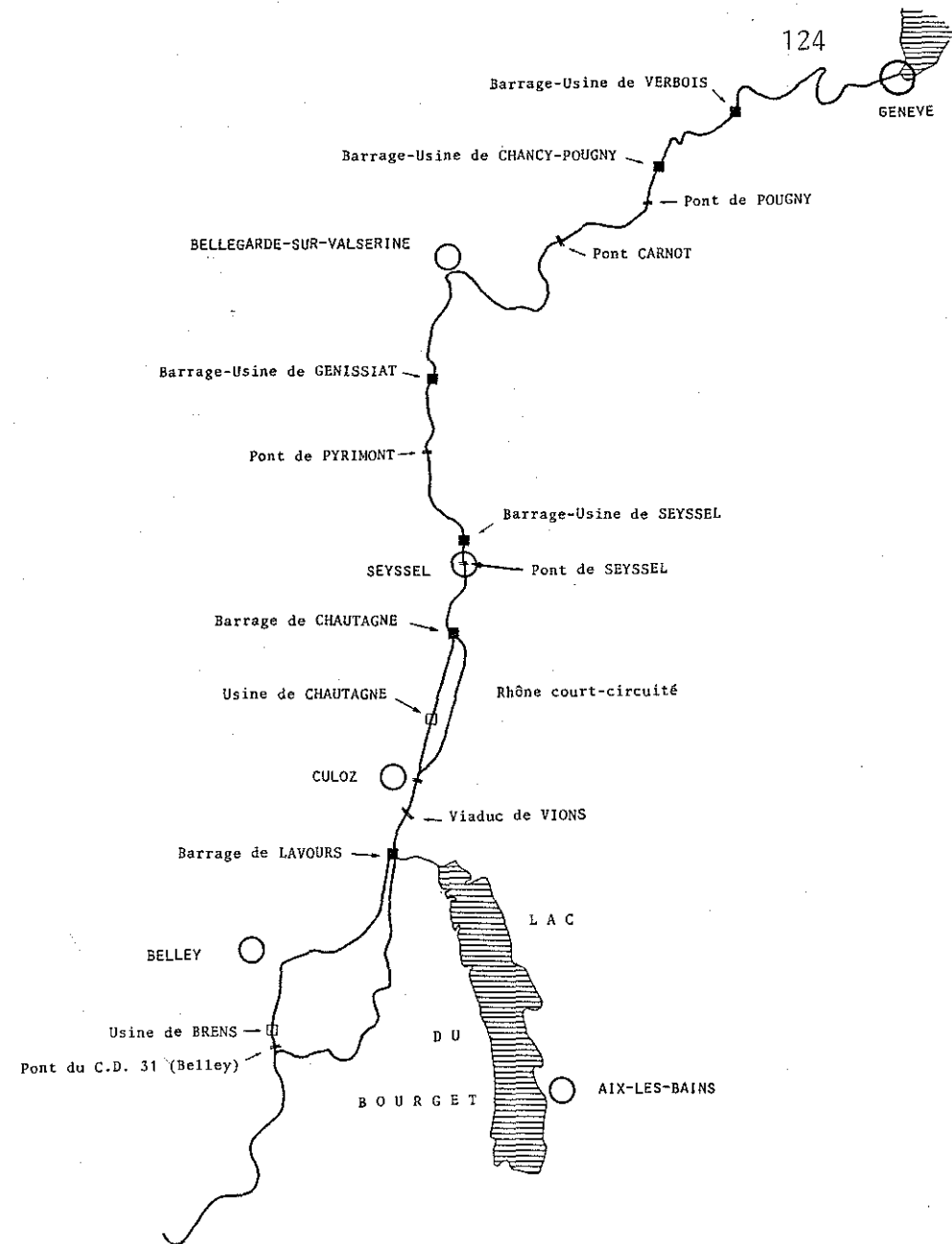


Figure 91 - Localisation des différents barrages du Haut-Rhône et des stations de mesure des paramètres physico-chimiques pendant la vidange de juin 1984.

* Le niveau du lac Léman a été rehaussé afin de fournir 15 millions de m³/s pendant la chasse et garantir le débit minimal fixé.

* Le taux moyen de 5 g/l a été fixé par le Comité de l'Eau (9 mars 1984) en vue de ne pas être à l'origine de difficultés pour les industries implantées sur le Haut-Rhône (centrales nucléaires de Creys-Malville et de Bugey, puits d'alimentation de la Communauté Urbaine de Lyon). Il a été supposé que ce taux ne devrait pas causer de dommages écologiques irréversibles. Ce taux peut être augmenté aux limites suivantes :

- taux maximal moyen pendant 6 heures = 10 g/l
- taux maximal absolu = 15 g/l.

* La durée totale de la vidange ne peut excéder 4 à 5 jours sans risques pour la faune des secteurs court-circuités non ou peu alimentés en eau.

*** Les valeurs du débit et des M.E.S. constituent les seuls paramètres susceptibles d'entraîner une modification du programme.**

III-4-1-2 REALISATION DE LA VIDANGE DE JUIN 1984 : RESULTATS.

Les chasses se sont déroulées pendant la semaine du 11 au 18 juin 1984. Les bonnes conditions météorologiques et un débit soutenu de 555 m³/s en moyenne ont permis un déroulement complet des opérations prévues.

Succinctement, la vidange s'est déroulée selon trois phases,

1) un abaissement des plans d'eau des ouvrages situés en aval de Verbois et de Chancy-Pougny:

- Génissiat, de la cote 330,5 à la cote 313 N.G.F.,
- Seyssel, de 260,5 à 255 N.G.F.,
- Chautagne, de 252 à 251,5 N.G.F.,
- Belley, de 235 à 234 N.G.F..

2) le passage de matières en suspension en provenance de Verbois et de Chancy-Pougny:

- début de la chasse le 13 juin 1984 à 12h00,
- apparition des M.E.S. à la frontière, le 14 juin 1984 à 8h00.

3) fin de la chasse :

- remontée du plan d'eau de Verbois le 17 juin 1984 à 0h00,
- remontée du plan d'eau de Génissiat le 18 juin 1984 à 0h00.

Les quantités de M.E.S évacuées, mesurées à la frontière, ont été estimées à 790 000 tonnes (1 570 000 m³ environ). La teneur moyenne a été de 6 g/l; les taux maximaux ont été de 30,5 g/l et de 19,03 g/l.

Le passage des M.E.S. à Génissiat et le maintien de teneurs inférieures à 10 g/l (\bar{x} = 3,3 g/l) a été possible par la manipulation conjointe des vannes de fond et de demi-fond du barrage, contrôlée par les enregistrements réalisés à Pyrimont, 5 km en aval.

Le désenvasement de la retenue de Seyssel a entraîné une augmentation des teneurs sans dépasser toutefois 10 g/l (\bar{x} = 4 g/l).

Une rapide décroissance des taux a été observée à l'aval :

- 5 g/l max. à Vions (\bar{x} = 1,3 g/l), en aval de l'aménagement de Chautagne,
- 1,5 g/l max. à Brens (\bar{x} = 0,6 g/l), en aval de l'aménagement de Belley
- 1,1 g/l max. à Creys-Malville (centrale nucléaire).

Les autres paramètres physico-chimiques ont montré une grande stabilité au cours des opérations. Les concentrations en ion ammonium (NH₄⁺) ont atteint un maximum de 3,2 mg/l à Pyrimont et 2,8 mg/l à Seyssel (contre 7 mg/l en 1981). La D.B.O₅ maximale a été mesurée à Seyssel : 25 mg/l.

Avant la chasse, la retenue de Génissiat a subi une opération de désenvasement pendant l'abaissement du plan d'eau à la cote 313, visant à évacuer le maximum des dépôts produits par la chasse précédente (1981). Au cours de la vidange de 1984, Génissiat a été de nouveau envasé (+100 000 tonnes de matériaux secs, soit 405 000 m³); Seyssel a été désenvasé (-140 000 tonnes, soit 510 000 m³).

L'un des problèmes majeurs de cette chasse reste l'envasement considérable des retenues de Chautagne et de Belley (+ 700 000 tonnes, soit 1 340 000 m³). Ces 2 retenues, et plus particulièrement celle de Belley, ont piégé 85 % des matériaux en provenance de l'amont.

Les principaux résultats de cette vidange sont indiqués dans le tableau XXV. L'évolution des niveaux dans les retenues, des M.E.S. et des débits est présentée dans la figure 92.

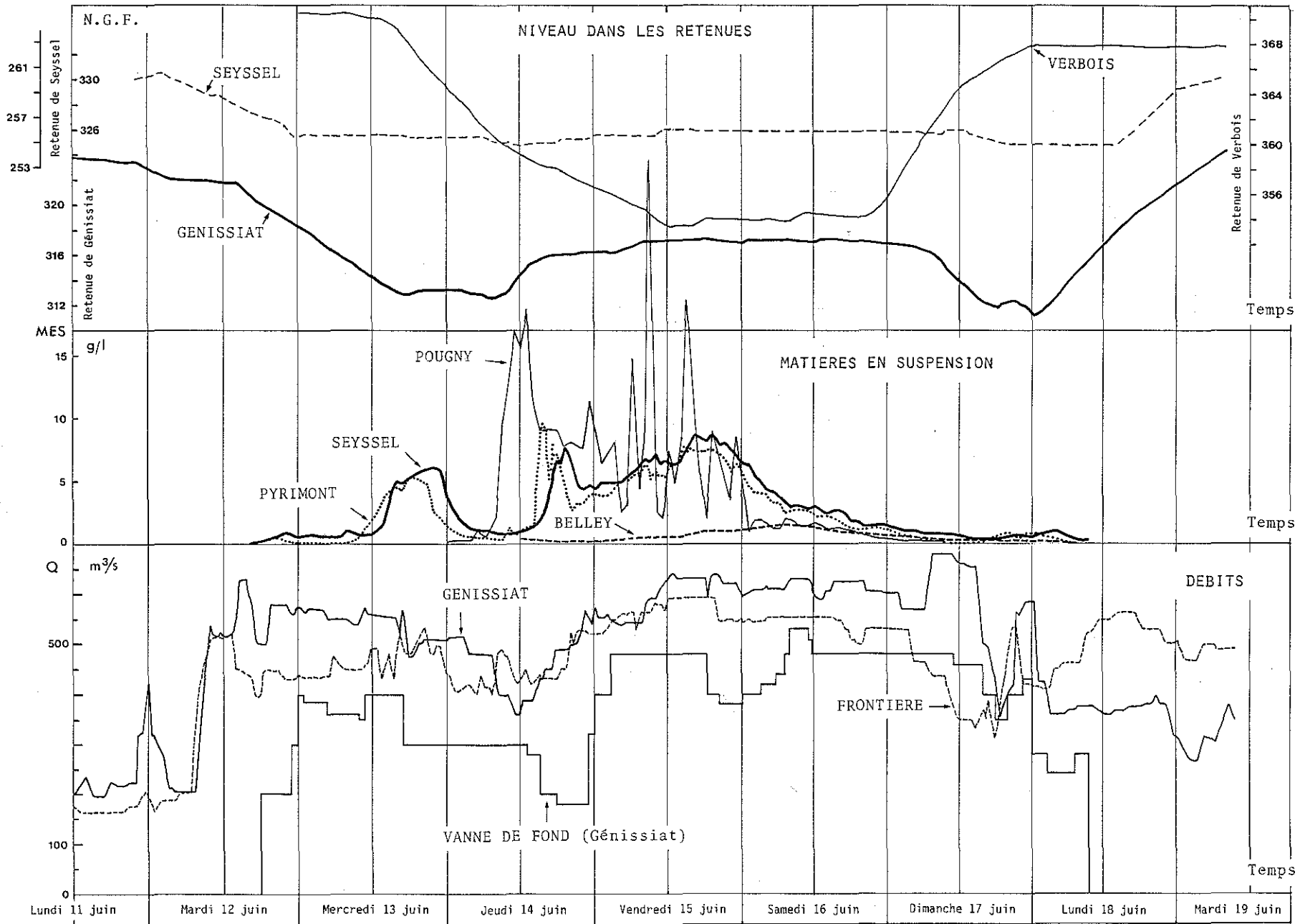


Figure 92 - Représentation des variations de niveau dans les retenues de Verbois, Génissiat et Seyssel au cours de la vidange. Evolution des teneurs en matières en suspension dans les retenues de Pougny, Pyrimont, Seyssel et Belley.

Evolution du débit du Rhône à la frontière franco-suisse, à Génissiat et du débit de la vanne de fond du barrage de Génissiat (d'après le rapport "CHASSES 1984", C.N.R.).

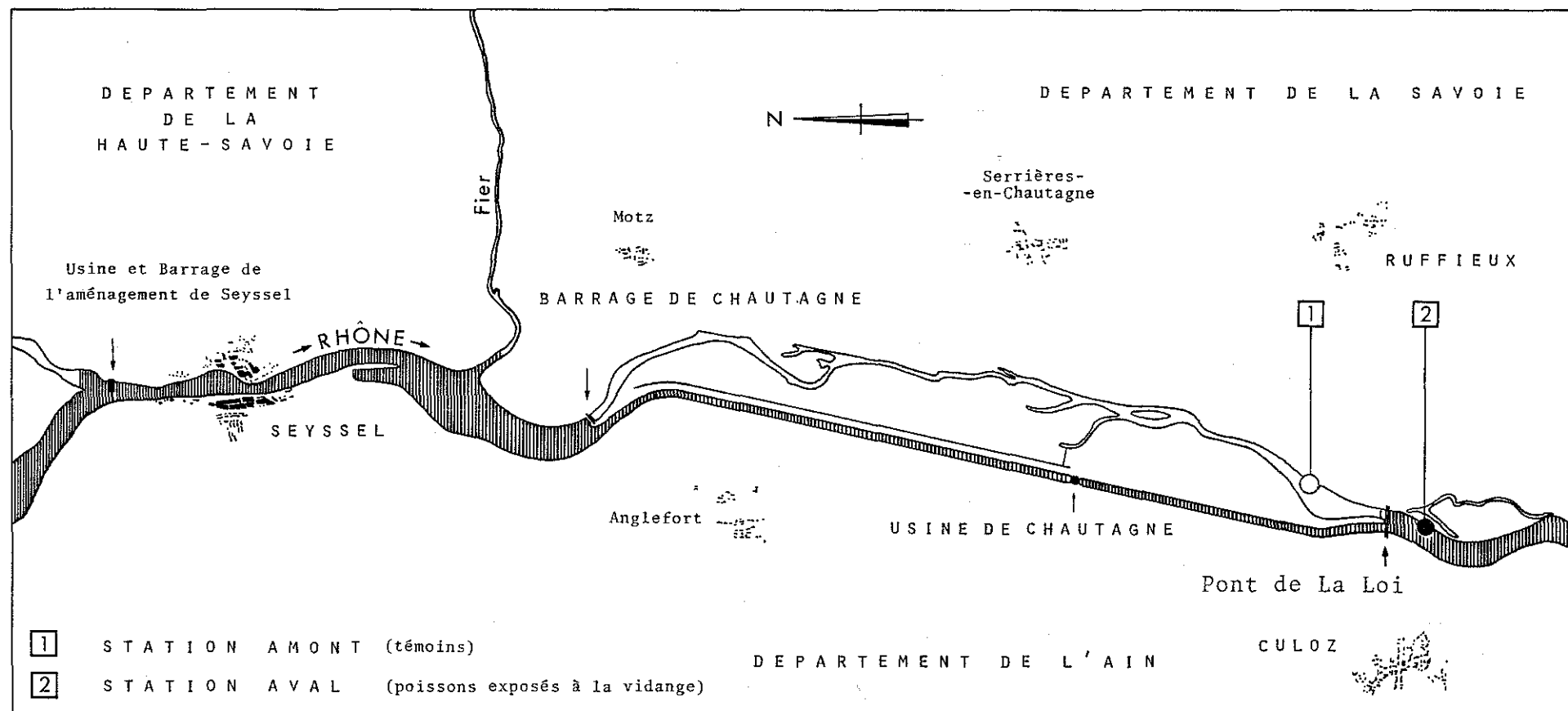


Figure 93 - Localisation des deux stations expérimentales du pont de La Loi, choisies pour l'étude de l'impact de la vidange de juin 1984 sur les populations d'alevins.

III-4-2 INFLUENCE DES CHASSES SUR LES POPULATIONS D'ALEVINS

III-4-2-1 SITUATION, MATERIELS ET METHODES

III-4-2-1-1 Lieu de travail.

Cette étude a été réalisée au niveau du pont de La Loi (hameau de La Loi, Commune de Ruffieux, département de la Savoie). Ce pont se situe à 12 km environ de Seyssel (figure 93).

Deux stations ont été choisies. La station AMONT constitue le point de référence et a été placée en amont immédiat du village de La Loi, en rive gauche, sur le Rhône court-circuité de Chautagne non affecté par la chasse. La station AVAL a été placée sur le trajet des eaux de vidange, à 500 mètres en aval du pont de La Loi, en rive gauche. Ce point se trouve dans la queue de retenue du barrage de Belley.

III-4-2-1-2 Méthodes et matériels

Du 12 juin 1984 à 12h00 au 18 juin 1984 à 6h00, 6 groupes de larves prélevées en un même point dans le Rhône vif ont été placés dans des viviers flottants exposés ou non au passage des matières en suspension. Trois viviers (figure 94) ont été installés par station pendant la matinée du 12 juin 1984.

Dès 12h00 ce même jour, ils ont été régulièrement surveillés, et des mesures physico-chimiques (conductivité, température, pH et oxygène) ont été faites en parallèle. A chaque visite, les individus morts ont été retirés, comptabilisés et stockés dans du formol à 4%. Le 18 juin à 6h00, l'ensemble des survivants a été retiré et fixé afin de procéder au dénombrement total des individus et à leur détermination.

Le temps 0 de cette étude correspond à 0h00 le 13 juin 1984, heure à laquelle la mortalité enregistrée dans les 6 viviers a été nulle. La mortalité observée au cours des relevés précédents est exclusivement le fait de la manipulation.

III-4-2-2 RESULTATS

Deux espèces ont été trouvées parmi le prélèvement réparti dans les 6 viviers, il s'agit du Hotu et de la Vandoise. Tous les individus sont au stade mésolarvaire (SNYDER, 1976) et la taille moyenne (LS) des poissons appartenant au banc dans lequel ils ont été récoltés est de 12,48 mm ($\sigma = 0,71$ - N = 200 larves).

Toutefois la pauvreté des effectifs de Vandoise ne permet pas de

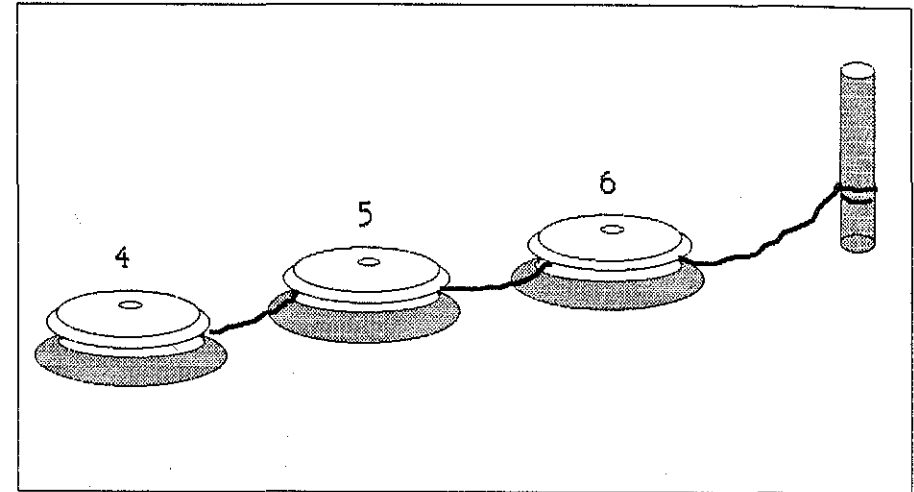
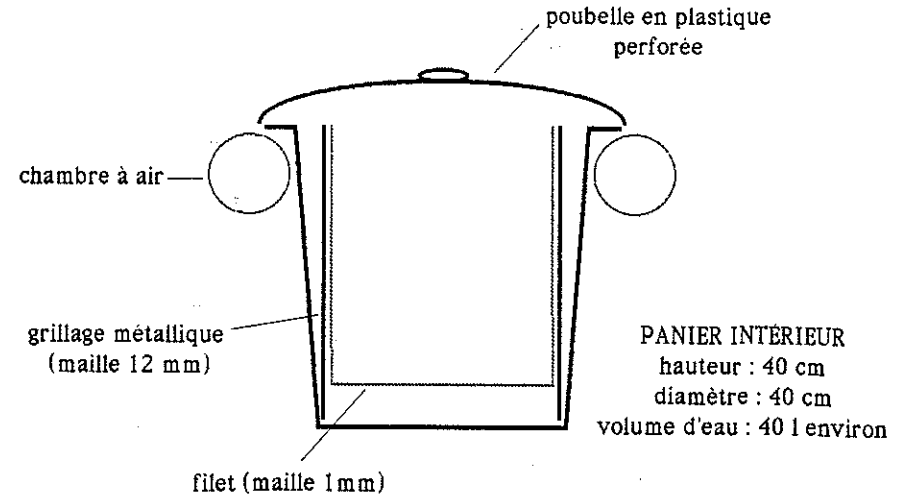


Figure 94 - Schéma descriptif des viviers utilisés pour l'expérimentation et agencement des trois viviers de la station AVAL.

III- Les populations d'alevins

prendre en compte les résultats concernant cette espèce. Seuls ceux relatifs au Hotu seront présentés ci-après. Le tableau XXVI donne les nombres de hotus morts au cours du temps, comptabilisés à partir du 13 juin à 0h00 (temps t_0 de l'expérience). Ces nombres sont traités en pourcentages de survivants calculés à partir des effectifs totaux au temps t_0 .

III-4-2-2-1 Les caractéristiques physico-chimiques des eaux au cours de la vidange

Le suivi des paramètres énumérés précédemment est représenté sur la figure 95.

Les teneurs en NH_4^+ et en M.E.S. sont celles enregistrées à Seyssel par les services du CEMAGREF et de la C.N.R. La température de l'eau, la concentration en oxygène (mg/l), la conductivité et le pH ont été mesurés à l'aide d'un appareil multiparamètre WTW AQUADATA.

Deux pics de matières en suspension ont été observés, correspondant à l'abaissement des plans d'eau de Seyssel et de Génissiat, puis de Chancy-Pougny et Verbois. L'ion ammonium évolue parallèlement aux M.E.S. La conductivité reflète l'ensemble des changements ioniques intervenus au sein de la masse d'eau sous l'effet du brassage des sédiments.

L'élévation progressive de la température de l'eau résulte de l'ensoleillement dont l'impact est plus particulièrement ressenti dans le Rhône court-circuité. L'amplitude de variation de la température, ainsi que les valeurs maximales, sont obtenues dans les eaux de la station AMONT. La faible alimentation du Rhône court-circuité par les eaux souterraines entraîne une stagnation des eaux de plus en plus marquée, favorise le réchauffement de l'eau et, par de faibles profondeurs et turbidités, l'activité photosynthétique du tychoplankton. L'enrichissement ionique des eaux par les apports souterrains et la lente eutrophisation du milieu se traduisent par une élévation progressive de la conductivité.

Les valeurs de ces paramètres retombent brusquement le 17 juin dès la réouverture des vannes du barrage de Chautagne.

Malgré la forte charge minérale et azotée des eaux du Rhône, les teneurs en oxygène dissous n'ont pas présenté de baisse très marquée pendant la durée totale des opérations.

III-4-2-2-2 Influence de ces modifications abiotiques sur les larves.

III-4-2-2-2-1 Les témoins

Les courbes de survie sont homogènes dans les trois viviers. Il

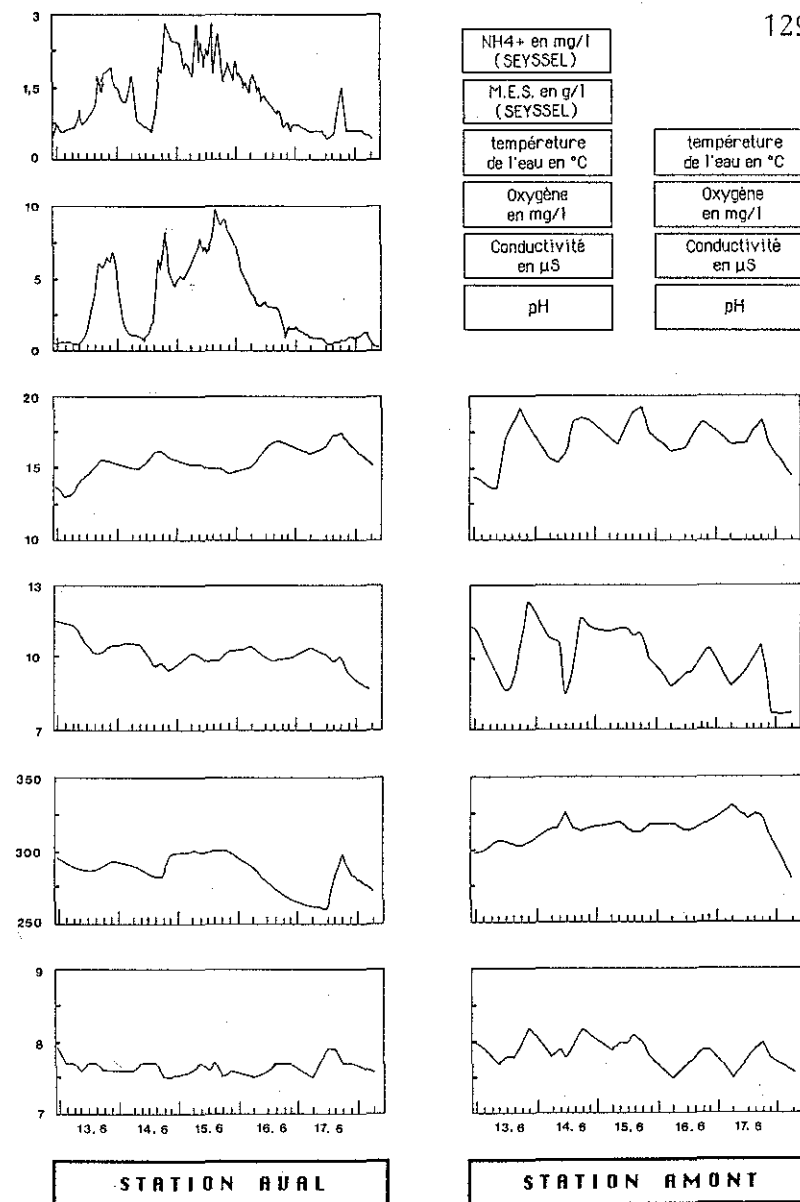


Figure 95 - Evolution des paramètres physico-chimiques mesurés au cours de la vidange de juin 1984. Les teneurs en NH_4^+ et en M.E.S. ont été enregistrées à Seyssel (CEMAGREF-C.N.R.). La température de l'eau, les concentrations en oxygène, la conductivité et le pH ont été mesurés aux deux stations expérimentales (AMONT et AVAL) du pont de La Loi.

III- Les populations d'alevins

reste entre 70 et 82 % des individus après 5 jours d'expérimentation (figure 96). La mortalité est surtout observée en milieu de journée, lorsque l'ensoleillement est maximal. Nulle au début de l'expérience, la mortalité débute au cours de la matinée du 13 juin, s'accélère pendant les 24 premières heures puis se stabilise jusqu'à la fin de l'après-midi du 17 juin où elle augmente de nouveau.

Sachant qu'il n'a pas été relevé d'individus morts depuis 21h00 le 12 juin, la mortalité observée à partir de 12h00 le 13 ne peut avoir pour origine la manipulation des larves. La diminution continue des effectifs jusqu'en fin de journée le 14 juin apparaît directement en relation avec l'instabilité des conditions abiotiques. La fermeture du barrage de Chautagne a entraîné l'arrêt de la circulation des eaux fluviales dans cette portion du fleuve. De plus, la vitesse d'écoulement des eaux souterraines provenant de la nappe est ralentie par l'élévation du niveau en aval. Le brutal changement de la nature physico-chimique des eaux et des vitesses d'écoulement semble affecter sensiblement les populations témoins. Pendant la durée de la vidange, une stabilité générale des conditions de milieu s'instaure et la mortalité diminue. A la suite de la remise en eau du Rhône court-circuité, un retour à l'état "initial" est rapidement établi. Les caractéristiques fluviales réapparaissent avec toutefois des modifications non négligeables; la mortalité augmente de nouveau de façon sensible.

La mortalité des alevins observée dans les viviers témoins doit être imputée aux changements des caractéristiques abiotiques du milieu, qui ont précédé puis suivi la vidange.

III-4-2-2-2 Les poissons exposés au passage de la vidange

La forme générale des courbes de survie (figure 96) est identique à celle trouvée à l'amont : mortalité importante pendant les 2 premiers jours, relative stabilité pendant les 2 jours 1/2 qui suivent, puis réaugmentation de la mortalité. La différence essentielle par rapport aux témoins se situe dès 0h00 le 13 juin car la mortalité débute immédiatement et non 9h après le début de l'expérimentation (t0 +9).

Par contre, la survie des hotus est extrêmement différente dans les 3 viviers de cette station. Deux phénomènes distincts se superposent :

- 1) l'intervention du changement des conditions abiotiques,
- 2) l'installation des viviers qui n'apparaît pas idéale et a été à l'origine d'une mortalité indirectement liée à la pollution des eaux.

1 - La baisse du plan d'eau de Génissiat a commencé dès 12h00 le 12 juin et les eaux de vidange provenant de ce barrage ont déjà modifié les caractéristiques physico-chimiques du milieu aquatique. Le 12 juin en

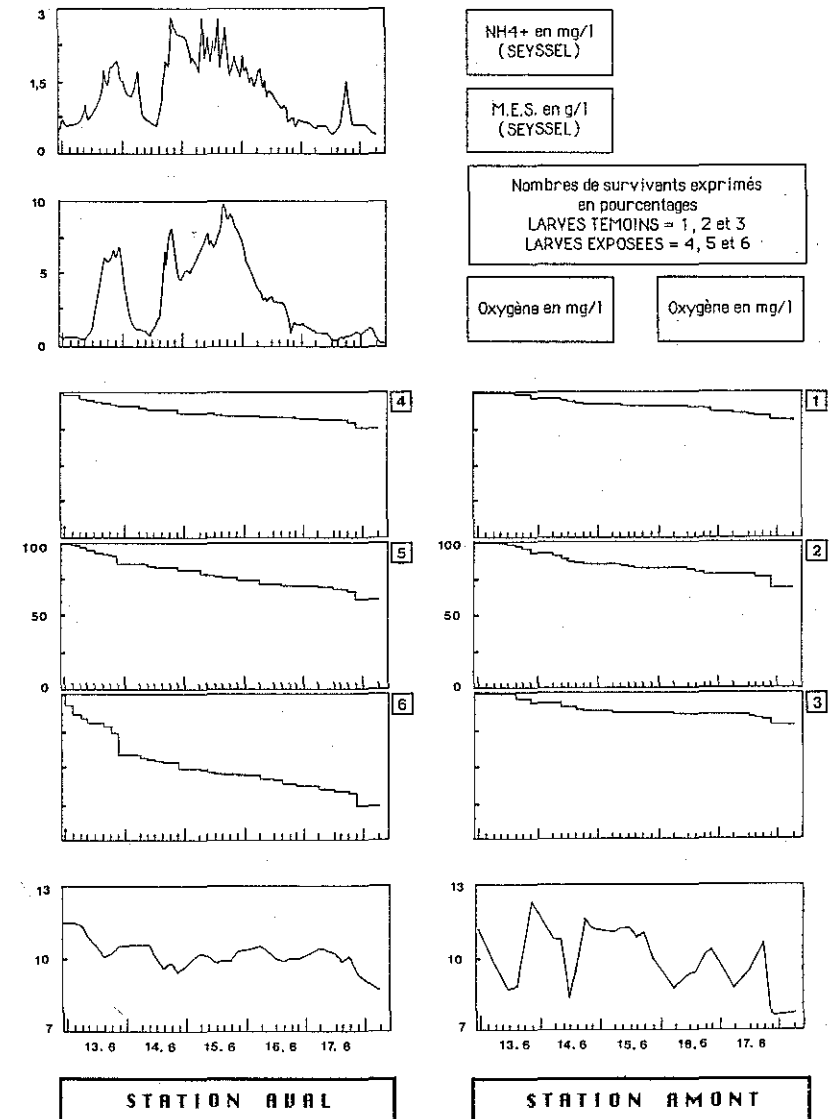


Figure 96 - Nombres de survivants (exprimés en pourcentages) au cours du temps, dans les viviers de la station AMONT (témoins = 1, 2 et 3) et de la station AVAL (poissons exposés à la vidange = 4, 5 et 6).

III- Les populations d'alevins

soirée, de 18h00 à 20h00, les teneurs en NH_4^+ mesurées à Seyssel sont passées de 0,00 à 0,80 mg/l.

2 - A plusieurs reprises, des individus ont été retrouvés morts, collés aux parois du vivier à quelques centimètres au dessus du niveau d'eau. Le nombre des individus ainsi retrouvés est en étroit rapport avec l'ordre d'agencement des viviers (figure 94).

Les explications relatives à cette observation sont les suivantes. Les viviers étaient attachés les uns aux autres; ils formaient une chaîne dont l'extrémité amont était fixée à un pieu fiché à 0,50 m de la rive. Les remous existant à proximité provoquaient de brutales tensions de la corde d'amarrage et un balancement des viviers. La traction exercée sur chaque vivier s'atténuait de l'amont (vivier N°6) vers l'aval (vivier N°4). Les oscillations ont pu être suffisamment rapides et importantes pour piéger les individus nageant à proximité des parois; en l'absence de répétition de ce mouvement aléatoire, il ne leur a pas été possible de se retrouver immédiatement réimmergés.

Cependant, les nombres d'individus trouvés morts, adhérents aux parois, sont excessivement importants au cours des premières 24 heures de la vidange et de celles de la fin de l'expérience. Ils correspondent, d'une part à l'arrivée de la première vague de pollution, d'autre part à la fin de la vidange, notamment au passage d'une dernière surcharge en NH_4^+ (1,5 mg/l à Seyssel - 18h00).

Face à cette étroite correspondance, faut-il considérer que les individus soumis au passage de la vague polluante se sont trouvés physiologiquement fragilisés, et non aptes à se déplacer pour échapper à d'autres contraintes (d'ordre purement mécanique cette fois-ci) ?

On peut d'autre part supposer

- que les individus ayant survécu aux premiers stress ont acquis une résistance vis à vis de la substance toxique, ce qui expliquerait la baisse de mortalité observée les 15 et 16 juin;
- que le passage de la dernière vague riche en NH_4^+ , pourtant moins concentrée que précédemment, a provoqué une mortalité accrue en raison d'une "sensibilisation" des poissons à la substance toxique.

III-4-2-3 CONCLUSIONS ET PRINCIPALES CRITIQUES

Ces résultats ne nous permettent pas, en raison des conditions d'exposition des larves dans la station AVAL, d'infirmer ou de confirmer les informations des travaux antérieurs.

La complexité des facteurs responsables d'un accroissement de la

mortalité chez les jeunes poissons ne permet pas de considérer le passage d'une vidange comme celui d'une pollution brutale par un toxique. La vidange met en jeu une multitude de facteurs abiotiques synergiques (fortes teneurs en M.E.S., en NH_4^+ , consommation d'oxygène, perturbations thermiques, brusques changements de la composition ionique des eaux, ...) capable d'entraîner une pollution visible (mortalité des populations piscicoles), ou nettement moins perceptible (mortalité de la macrofaune), ou encore d'apparence plus anodine comme le colmatage de plus en plus marqué du substrat.

Cette expérimentation soulève des critiques relatives à la conception de ce type de manipulations de terrain. Nous formulerons les principales qui devront être prises en considération lors d'une prochaine étude.

1) Le fond des viviers doit être impérativement perforé pour éviter une sédimentation importante dans les récipients.

2) Le choix des emplacements de viviers doit être revu afin qu'ils soient installés dans des conditions similaires à celles où les individus sont capturés.

3) Un suivi permanent des conditions physico-chimiques doit être fait à l'extérieur et à l'intérieur des viviers.

4) La durée des observations pré- et post- expérimentales n'est pas suffisante pour obtenir une bonne stabilité des effectifs avant la vidange, et pour observer une mortalité qui pourrait survenir après cette opération.

DISCUSSION ET PERSPECTIVES

DISCUSSION ET PERSPECTIVES

Les facteurs de contrôle de l'hydrosystème fluvial

Un grand nombre de facteurs écologiques abiotiques et biotiques, interdépendants, régissent le fonctionnement de l'hydrosystème fluvial. Les figures 52 et 65 montrent le rôle des facteurs les plus importants dans l'évolution saisonnière des caractéristiques physico-chimiques de l'eau.

La dynamique de l'hydrosystème est sous l'étroite dépendance des conditions météorologiques dont l'action principale se porte sur l'hydrologie. Le régime du Haut-Rhône français est caractérisé par la superposition d'un régime nivo-glaciaire (Rhône lémanique + Arve) et d'un régime pluvio-nival (affluents périalpins et jurassiens). Le premier, généré par la fonte des glaciers et de la couverture neigeuse sous l'influence de la température, s'oppose au régime pluvio-nival par sa régularité. Sur "une toile de fond" créée par le Rhône à la sortie du lac Léman (hautes eaux estivales et basses eaux hivernales) se surimpose une courbe de tendance inverse marquée par des changements d'amplitude brutaux et peu prévisibles. De la complexité du régime hydrologique dépend l'évolution annuelle des caractéristiques physico-chimiques des eaux fluviales, essentiellement marquée par les apports lacustres en période estivale, et des affluents pendant les crues du fleuve. Les étiages de saison froide présentent des particularités liées à une prédominance des eaux lémaniques, à de modiques apports périphériques superficiels et à une restitution des eaux souterraines depuis la nappe aquifère, réalimentée pendant les hautes eaux estivales.

Les apports lémaniques sont visualisés par l'ion sulfate dont la consommation biologique est relativement faible dans l'eupotamon; les apports périphériques sont marqués préférentiellement par l'ion bicarbonate malgré l'implication physique de la température dans les équilibres calco-carboniques. Un autre révélateur des affluents est constitué par les M.E.S., bien que l'existence des barrages influe considérablement sur le transport des matières en suspension.

L'hydrologie et les caractères qui lui sont liés (érosion, transport, sédimentation) ont de tout temps déterminé la géomorphologie de la vallée fluviale. Elle est dorénavant le fait des aménageurs. La transformation de l'hydrosystème, modérée au siècle dernier (endiguements pour la navigation, premières usines hydro-électriques à Genève et Cusset), s'est accélérée avec la construction du barrage de Chancy-Pougny (1925), des barrages-réservoirs de Verbois (1943), de Génissiat (1948), de Seyssel (1951), puis des barrages à dérivation de Chautagne (1980), de Belley

(1982), Brégnier-Cordon (1984) et Sault-Brénaz (mise en service : 1986).

Le changement des vitesses d'écoulement et les modifications des échanges hydrologiques entre les divers compartiments sont les principales conséquences de ces implantations industrielles. La mesure des teneurs en matières en suspension est représentative du ralentissement des eaux ; mais les autres paramètres sont impliqués dans ces changements au sein de la vallée fluviale par une intensification des processus biologiques symptomatiques de l'eutrophisation.

L'accent a été mis sur le rôle du lac Léman qui, en tant que principale source d'apports hydrologiques, transmet vers l'aval des caractéristiques physico-chimiques induites par les activités phytoplanctoniques de la zone trophogène. L'implication des biocénoses potamiques dans les caractéristiques de l'eau ne peut cependant pas être sous-estimée par rapport à celle du système lémanique. Cet aspect a été essentiellement évoqué avec le transport algal (chlorophylle a) d'origine tychoplanctonique. Les populations algales périolithiques sont très abondantes dans les portions de Rhône court-circuité où les débits réservés sont peu importants (10 à 20 m³/s en Chautagne, 25 à 60 m³/s à Belley, 80 à 150 m³/s mesurés en aval du Guiers pour Brégnier-Cordon). La quantité de matière organique a augmenté et entraîne par ailleurs un accroissement des activités métaboliques de décomposition.

La matière organique dissoute n'a pas été mesurée ; et la matière organique particulaire l'a été de manière indirecte par la calcination des matières en suspension. Un analyseur de carbone, maintenant à notre disposition, devrait permettre d'étudier plus précisément la dynamique de la matière organique dans le réseau fluvial.

Dans les milieux annexes tels que la Morte du Sauget, l'action de l'hydrologie sur les caractéristiques des eaux s'amoindrit et s'efface devant l'activité métabolique des biocénoses. La photosynthèse des algues et des macrophytes et le métabolisme respiratoire des sédiments riches en matière organique jouent un rôle fondamental. Leur impact, bien marqué dans cette lône, existe également dans les autres domaines aquatiques de la vallée fluviale mais il est moins perceptible en raison de la masse d'eau concernée et de sa vitesse de renouvellement. Les processus biologiques peuvent être à l'origine d'une synthèse minérale peu propice à la vie animale (NH₄⁺, sulfures). Ils influent considérablement sur les teneurs en oxygène, élément indispensable. Les "excès métaboliques" des milieux annexes eutrophes, comme cette lône, conduisent à une stratification chimique des eaux, non perturbée par une active circulation (souterraine ou superficielle). Ces phénomènes n'existent pas dans les milieux lotiques.

Les différences fondamentales existant au sein de l'hydrosystème sont directement liées à la possibilité et à la vitesse des échanges hydrauliques entre les divers compartiments. La dynamique de l'eau intervient ainsi comme le premier facteur écologique contrôlant l'évolution du milieu; cette dynamique des échanges est désormais en grande partie dépendant des aménagements fluviaux.

Les facteurs cités précédemment sont les principaux acteurs du fonctionnement de la vallée fluviale. Ils contrôlent l'existence des espèces vivantes dans les différents milieux. Les populations piscicoles sont soumises aux conditions abiotiques gérées par ces éléments. Si le poisson adulte est à même de survivre dans un milieu donné, il n'est pas forcément capable de s'y reproduire. Lorsque la reproduction s'effectue, les oeufs puis les larves qui en sont issues sont des organismes fragiles beaucoup plus sensibles à la modification de leur environnement que ne le sont les géniteurs. Les jeunes individus, preuve de la réussite de l'espèce dans le milieu qui l'abrite, vont être les premiers concernés par les caractéristiques abiotiques, qu'elles soient "naturelles" ou modifiées par l'artificialisation de l'espace aquatique.

Les populations d'alevins

Rappels des principaux résultats

Elles ont été étudiées dans deux annexes fluviales, l'une courante : la lône des Chèvres, l'autre stagnante : la Morte du Sauguet. Les espèces piscicoles dominantes sont les suivantes :

- Lône des Chèvres [le Gardon (*Rutilus rutilus*), l'Ablette (*Alburnus alburnus*), le Chevaine (*Leuciscus cephalus*) et le Spirin (*Alburnoides bipunctatus*)]

- Morte du Sauguet [le Rotengle (*Scardinius erythrophthalmus*) et la Perche-soleil (*Lepomis gibbosus*)]. Les jeunes individus de ces espèces grégaires occupent les couches superficielles de l'eau, ce qui facilite leur capture par des engins de pêche traditionnels, de conception simple.

La croissance des 6 espèces a été étudiée pendant les trois premiers mois qui suivirent leur apparition dans le milieu (début juin à fin août 1983). Elle est visualisée par le suivi hebdomadaire des classes modales de chaque cohorte, sur des prélèvements où l'effectif de l'espèce est supérieur ou égal à 10 individus. La croissance des différentes cohortes des 6 espèces, en fonction du nombre de degrés-jours, est un modèle sensiblement linéaire qui permet, à partir des données de la littérature, d'estimer les dates de ponte et d'éclosion. Au cours de l'été, la taille minimale de capture des individus les plus jeunes tend à diminuer; il en est

de même pour les poissons atteignant la période juvénile. L'acquisition des caractéristiques morphologiques et physiologiques, correspondant à un stade précis du développement larvaire, s'accélère au détriment de la taille et conduit à l'obtention en fin d'été, d'individus d'âge et de taille très différents mais susceptibles d'occuper la même niche écologique. Le Rotengle constitue un bon exemple. La génération de l'année 1983 est représentée par 4 cohortes successives (A, B, C et D), apparues entre la fin du mois de mai et celle du mois de juillet. La taille minimale des premiers individus capturés de chaque cohorte décroît au cours de la saison :

- 8,5 mm pour les individus de la cohorte A,

- 7,5 mm pour les individus de la cohorte B,

- 6,5 mm pour les individus de la cohorte C,

révélatrice d'une accélération des processus physiologiques responsables de la recherche active de nourriture. La longueur-standard minimale des premiers juvéniles diminue de même au cours du temps et se traduit par l'observation de juvéniles d'une taille moyenne égale à 20,5 mm (cohorte A), 18,5 mm (cohorte B), 17,5 mm (cohorte C) et 12,5 mm (cohorte D).

La vitesse de croissance peut être homogène pour toutes les cohortes (cas du Rotengle dans la Morte du Sauguet et du Spirin dans la lône des Chèvres : figure 89) ou être très différente sous l'influence de facteurs abiotiques (vitesse du courant) et biotiques (compétition intra- et inter-spécifique, spatiale ou/et alimentaire).

La ponte des espèces peut être très étalée dans le temps :

de la fin mai à la fin juillet (2 mois \approx) pour le Rotengle,

du 24 mai à la fin juillet (2 mois \approx) pour la Perche-Soleil,

du 23 avril au 9 juillet (2,5 mois \approx) pour le Gardon,

de la fin mai à début juillet (2 mois \approx) pour l'Ablette,

où être beaucoup plus resserrée dans le cas des espèces occupant préférentiellement le chenal et migrant vers les lônes lors de la reproduction.

du début à la fin du mois de juin pour le Chevaine,

du 14 au 22 juillet pour le Spirin.

Bien que la ponte de chaque espèce soit liée à des augmentations de température de l'eau, celle du Gardon paraît avoir un rapport avec les brusques hausses du débit en avril et en mai.

L'impact des vidanges des barrages-réservoirs sur les populations d'alevins a fait l'objet d'une étude préliminaire au cours de la dernière chasse réalisée entre le 11 et le 18 juin 1984. Elle porte sur une comparaison de la mortalité de larves de Hotu (LS moyenne = 12,5 mm)

exposées et non exposées au passage des eaux polluées. Après 5 jours, il restait 70 à 82 % de survivants dans les viviers témoins. La mortalité y a été observée en milieu de journée lorsque la température est maximale. Toutefois, le maximum de mortalité coïncide avec les modifications des caractéristiques abiotiques résultant de la fermeture du barrage de Chautagne qui interdit le passage des M.E.S. dans le Rhône court-circuité et du rétablissement de la circulation des eaux fluviales en fin de vidange.

Dans les viviers expérimentaux situés dans le chenal où transite la vague polluante, la mortalité est d'abord immédiate sous l'influence du premier pic de M.E.S. et d'ammoniac, puis elle se stabilise au cours de la semaine avant d'être de nouveau marquée en fin de vidange suite au passage d'un nouveau pic. L'installation de ces viviers demande à être revue afin d'éviter leurs déplacements et mouvements intempestifs.

Discussion relative à l'acquisition des données

1- Identification des larves

Dans son ensemble, cet aspect a été facilité pour diverses raisons:

- 1) les milieux prospectés sont connus ainsi que les populations d'adultes,
- 2) il a été possible d'effectuer une détermination sur le principe du compte-à-rebours, en commençant par les derniers individus capturés et en terminant par les plus jeunes,
- 3) le nombre d'espèces n'est pas trop élevé et les conditions de capture des larves limitent le nombre d'espèces prélevées.

Les principales difficultés concernent des espèces proches telles que le Chevaine (*Leuciscus cephalus*), la Vandoise (*Leuciscus leuciscus*) et le Blageon (*Telestes souffia*) ou Ablette (*Alburnus alburnus*) et Spirin (*Alburnoides bipunctatus*). Une détermination selon le principe du compte-à-rebours n'a pas toujours été possible; quelques larves provenant d'un échantillon isolé peuvent ne pas être identifiées en l'absence d'individus de l'espèce, plus jeunes et plus âgés. Certains problèmes de détermination délicats ne peuvent être résolus sans consultations de collections de références, collections inexistantes pour le Rhône. L'obtention d'oeufs, larves et juvéniles à partir de la reproduction artificielle de poissons identifiés provenant du fleuve constitue une base de travail nécessaire pour la suite des études.

2- L'échantillonnage

Les techniques d'échantillonnage sont choisies en fonction des buts poursuivis. Pour une étude de la croissance, il est nécessaire d'obtenir des effectifs suffisants; or, nous rappelons les contraintes initiales imposées par

les alevins, à savoir qu'il n'est pas possible de restituer les poissons capturés car leur détermination n'est pas réalisable in situ et que le sous-échantillonnage n'est pas concevable vu la fragilité des individus.

Le choix des techniques s'est porté sur des engins de conception simple, facilement utilisables sur le terrain. Les inconvénients majeurs sont les suivants : ils ne sont pas utilisables pour l'étude des populations benthiques, la taille maximale des individus capturables est limitée (LS = 40 mm environ) et la profondeur d'immersion des engins est relativement faible (1m environ). Ils permettent l'étude des plus jeunes stades à partir du moment où ils deviennent pélagiques.

L'étude de la croissance d'espèces non grégaires (tanche, carpe,...) est difficilement réalisable alors que celle des espèces grégaires est sérieusement simplifiée avec toutefois des inconvénients majeurs. Le volume occupé par un banc de très jeunes individus est faible, l'effectif y est par contre important. Il est alors facile d'éliminer un banc complet du milieu aquatique par un seul prélèvement. Sachant que la croissance et l'apparition des cohortes sont très rapides, le prélèvement hebdomadaire est un minimum. Une répétition des captures pendant plusieurs mois entraîne un risque non négligeable de dépeuplement artificiel du milieu. Dans un système lotique comme la lône des Chèvres, la dimension de l'espace prospecté (500 mètres de longueur) est minimale vu le nombre de sites favorables au maintien des individus. Il est probable que la suite de l'étude, si la méthode de capture l'avait permise, aurait été sérieusement dépendante de l'impact exercé au cours de l'été par l'expérimentateur, et les résultats très discutables. Je considère que certaines cohortes (précoces et tardives), représentées par de faibles effectifs, ont probablement été éliminées par ces prélèvements intensifs et répétés.

La taille du milieu étudié est essentiellement limitée par des contraintes géomorphologiques : à l'amont une digue, à l'aval la confluence avec une autre brassière. Ces deux éléments constituent une forme de limites écologiques, et une extension de la zone de pêche vers l'aval de la lône peut être considérée comme une intervention sur deux espaces aquatiques distincts. Quelle que soit la méthode de pêche utilisée, lorsque l'étude nécessite des effectifs élevés non restituables, seule une augmentation de taille du milieu prospecté semble pouvoir diminuer le risque de dépeuplement artificiel; l'unité du milieu doit être conservée. Il est probable qu'une étude réalisée sur la partie médiane de la lône des Grands Brotteaux (figure 12) serait plus satisfaisante sous cet angle, tout en soumettant l'expérimentateur à un cortège de contraintes nouvelles (déplacements dans la lône, durée de la prospection, vitesse du courant, volume et taille de l'espace aquatique, ouverture de la lône sur les autres annexes, problèmes des affluents,...).

3- La croissance des jeunes poissons, influence des facteurs abiotiques et biotiques

La croissance des alevins, au même titre que le développement embryonnaire des oeufs, est essentiellement conditionnée par la température de l'eau. C'est pourquoi l'étude de la croissance a été suivie en parallèle avec le nombre de degrés-jours afin de simplifier les comparaisons entre espèces et surtout de mettre en valeur les autres facteurs susceptibles d'influer sur la croissance. Le nombre de degrés-jours a été calculé à partir d'enregistrements thermiques continus. Ces enregistrements peuvent être discutés car ils ne sont pas le reflet exact des conditions thermiques auxquelles ont été exposées les larves. L'enregistrement effectué dans la Morte du Sauguet donne une température à - 1 m, donc assez éloignée de celle qui pourrait être observée à - 10 cm sous la surface. Celui réalisé dans le système lotique provient de Sault-Brénaz (données C.N.R.), il correspond au chenal dont les variations thermiques sont tamponnées par la masse d'eau. Bien que les moyennes journalières des températures du Rhône et de laône soient peu différentes, les amplitudes de variations ne sont pas les mêmes. Le problème des enregistrements de température est surtout lié à la quasi-impossibilité de laisser des enregistreurs sur le terrain (vol du matériel ou inondations).

La reproduction des espèces et leur croissance sont dépendantes des conditions hydrologiques. L'hydrologie va intervenir dans un premier temps sur les populations d'adultes qui vont trouver dans les annexes fluviales des conditions de courant nettement plus favorables à la reproduction. Les adultes sont susceptibles de se reproduire dans les annexes à la faveur des crues qui favorisent ainsi l'accès à des milieux normalement isolés du chenal. C'est ainsi qu'au cours de l'année 1983, la durée des crues printanières (avril et mai) et le niveau atteint ont permis une reproduction (et/ou le transport de larves nouvellement écloses) dans la Morte du Sauguet de gardons, vandoises et chevaines. A la date du 22 juin 1983, 100 gardons (tailles comprises entre 14,00 et 19,99 mm) et 8 chevaines (de 19,00 à 25,99 mm) sont capturés dans cette lône. Les individus sont nettement plus grands que ceux pêchés dans la lône des Chevres où les tailles maximales de ces deux espèces sont, à la date du 5 juillet, de 15,99 mm pour le gardon et 10,99 mm pour la chevaine. Ces poissons ont trouvé à ce moment là des conditions écologiques nettement plus favorables que dans le fleuve. Ces conditions se sont traduites par la présence d'alevins et par une croissance rapide de ces derniers.

Les crues apparaissent ainsi d'une importance fondamentale pour les échanges piscicoles entre les différents compartiments du fleuve. Ces migrations, probablement bilatérales, permettent aussi un renouvellement du potentiel génétique.

L'intervention des conditions hydrologiques se fait principalement sentir sur la répartition des populations dans le milieu aquatique qu'elles occupent.

En milieu stagnant, cas de la Morte du Sauguet, l'absence de courant favorise une occupation générale de l'espace. Il n'en demeure pas moins que la stratification chimique des eaux (absence d'oxygène dans les couches profondes) limite la hauteur d'eau "colonisable" par les individus. La Morte du Sauguet présente une abondance de végétation telle que le nombre d'espaces totalement vides est parfois très réduit. Les plus jeunes individus trouvent dans la végétation des abris nombreux dont la taille ne conviendra pas forcément à des individus plus âgés. L'eutrophisation de ce milieu est importante et garantit une énorme quantité d'organismes nutritifs pour l'ensemble des populations d'alevins. La croissance des individus y est relativement homogène, ce quelle que soit la date d'apparition des cohortes, en l'absence de compétition alimentaire et spatiale.

En milieu lotique, le flux unidirectionnel contraint les jeunes individus à une occupation des rives ou autres secteurs léntiques. Le nombre des abris est moindre. L'existence du courant favorise une accumulation des espèces et des cohortes dans des lieux restreints où la compétition spatiale et alimentaire va s'exercer de manière déterminante. L'ensemble de ces contraintes conduit à des différences de vitesse de croissance n'ayant pas de rapports directs avec la température. Les premières cohortes et les dernières apparues dans le milieu vont en général trouver des conditions plus satisfaisantes pour leur croissance (espace, nourriture).

Plusieurs aspects relatifs aux alevins n'ont pas été présentés ou seulement évoqués. Parmi ceux-ci se trouve la structure des bancs (nombre d'individus, répartition des classes de taille, bancs mono- ou pluri-spécifiques). Nos moyens d'investigation ne nous permettaient pas de définir la localisation des frayères bien qu'on puisse supposer, en milieu lotique tout au moins, que l'emplacement d'un banc de très jeunes larves n'est guère éloigné du lieu de ponte. Certaines espèces (Chevaines, Spirilins) migrent pour la ponte et les jeunes apparaissent dans un milieu où ils ne séjourneront que momentanément. A quel âge ces individus vont-ils quitter la lône en direction du chenal ?

4- Les aménagements : influence sur les populations d'alevins

La suppression et l'altération des habitats sont probablement les premières conséquences de l'aménagement fluvial. Bien qu'il y ait dans la construction des barrages de dérivation une création de nouveaux milieux (canaux d'aménée et de restitution), ces derniers sont en général peu

favorables à la reproduction des poissons du fait d'une homogénéité des abris (blocs) et d'une vitesse des écoulements élevée. Si les tronçons de Rhône court-circuités gardent une relative diversité d'habitats, la diminution du débit réduit sérieusement le nombre de milieux favorables à la reproduction et au maintien des individus par baisse du niveau d'eau. De plus, ils sont désormais soumis à de brusques variations du débit puisqu'ils servent d'évacuateurs de crues lorsque les débits du Rhône excèdent les possibilités des usines. Il y a alors balayage des milieux par ces changements violents de régime.

Les aménagements hydro-électriques sont aussi l'occasion pour les riverains d'obtenir une protection des terrains agricoles contre les crues du fleuve. C'est ainsi qu'un endiguement est en cours de réalisation dans la plaine alluviale de Brangues-Le Bouchage-Saint Benoit. Le projet retenu consiste en la construction de deux digues insubmersibles jusqu'à 1600 m³/s situées de part et d'autre du chenal entre les ponts d'Evieu et de Groslée. Celle construite en rive gauche isole définitivement la lône des Grands Brotteaux et les deux petits affluents (Huert et Save) du chenal, l'autre en rive droite isole le méandre du Sauget du lit majeur. Ces diverses annexes perdent, en l'absence de crues supérieures à 1600 m³/s, l'ensemble des relations existantes avec le système eupotamique. Ce projet remet en cause les différents rôles tenus par les compartiments périphériques comme lieux privilégiés de frai des espèces eupotamiques, comme espaces protecteurs des poissons pendant les excès du régime hydrologique ou les pollutions de l'hydrosystème.

Indépendamment de la modification des chenaux, un problème délicat existe depuis la construction des barrages-réservoirs du Haut-Rhône (Verbois, Chancy-Pougny et Génissiat) : les vidanges trisannuelles. Leur impact sur les populations piscicoles, notamment les alevins, est connu mais non quantifié. Une première étude réalisée in situ sur des populations de hotus révèle que la toxicité du passage de la vague polluante peut avoir des effets indirects difficilement observables se produisant au cours des opérations, tels que la mortalité des poissons par modification des écoulements et des caractéristiques physico-chimiques dans les secteurs non soumis à la vidange. Cette approche préliminaire montre que la sensibilité des jeunes individus ne se borne pas seulement au passage de la ou des substances toxiques (MES, NH₄⁺). Les espèces étudiées l'ont été à un stade "pélagique"; qu'en est-il de ces mêmes espèces au stade embryonnaire ou protolarvaire lorsqu'elles vivent fixées au substrat de ponte ? On peut aussi souhaiter une comparaison de la survie d'espèces benthiques (Goujon par exemple) et des espèces "pélagiques". La toxicité d'une vidange ne peut être réduite à la seule durée des chasses car le colmatage important du substrat conditionne probablement la reproduction

des espèces au cours des mois de juillet ou août de la même année, ainsi que celle de toutes les espèces pendant les saisons futures. Il reste à savoir, par le biais des prochaines investigations piscicoles poursuivies sur le Haut-Rhône, si les effectifs de la génération de l'année 1984 n'ont pas été partiellement altérés à la fois par la vidange et par les conditions abiotiques qu'entraînent cette vidange.

*L'eau peut agir sans poisson,
le poisson ne peut agir sans eau.*

LAO-TSEU

fin du VIe - début du Ve s.av.J.-C.

TRAVAUX CITES

TRAVAUX CITES

- AIN (G.), GILOT (B.), NEUBERGER (M.C.), PAUTOU (G.), TETART (J.) & THOMAS (J.), 1973.** - Etude écologique des anciens lits du Rhône entre le confluent du Guiers et le confluent de l'Ain. Lab. Biol. Vég. Univ. Sci. et Médic. Grenoble, 75 p.
- ANDERSON (R.O.) & GUTREUTER (S.J.), 1983.** - Length, weight, and associated structural indices *in* **NIELSEN (L.A.) & JOHNSON (D.L.)**, Fisheries Techniques, 283-300.
- ARALEPBP, 1979.** - Etude hydrobiologique du Haut-Rhône dans le secteur de Brégnier-Cordon. Rapport à la C.N.R., Lyon, 102 p., bibl., annexes.
- ARALEPBP, 1981.** - Etude hydrobiologique du Haut-Rhône dans les secteurs de Chautagne et de Belley. Rapport à la C.N.R., Lyon, 93 p., bibl., annexes.
- ARALEPBP, 1982.** - Etude hydrobiologique pour l'aménagement de Chautagne, de Belley et de Brégnier-Cordon. Rapport à la C.N.R., Lyon, 84 p., bibl., annexes.
- ARALEPBP, 1983.** - Suivi hydrobiologique du Haut-Rhône pour les aménagements de Chautagne, de Belley et de Brégnier-Cordon. Rapport à la C.N.R., Lyon, 77 p., bibl., annexes.
- ARALEPBP, 1984.** - Suivi hydrobiologique du Haut-Rhône pour les aménagements de Chautagne, de Belley et de Brégnier-Cordon. Rapport à la C.N.R., Lyon, 66 p., bibl., annexes.
- ARALEPBP, 1984.** - Etude hydrobiologique de la lône des Grands Brotteaux. Rapport à la C.N.R., Lyon, 73 p.
- ARLET (J.), 1945.** - Note sur la fécondation artificielle et le développement des alevins de perche. *Bull. fr. Piscic.*, 138 : 32-37.
- ASSIE (R.) & LASSERRE (G.), 1977.** - Mise au point d'un piège à alevins. Résultats des pêches littorales. *Bull. Ecol.*, 8 (1) : 87-90.
- AUDA (Y.), 1983.** - Rôle des méthodes graphiques en analyse des données : application au dépouillement des enquêtes écologiques. Thèse de 3^{ème} cycle, Lyon, 127 p.
- BAGENAL (T.B.), 1978.** - Methods for assessment of fish production in fresh waters, 3^{ème} édit., I.B.P. HANDBOOK N°3, Blackwell Scientific Publications, Oxford, 352 p.
- BAGENAL (T.B.) & BRAUM (E.), 1978.** - Eggs and early life history *in* **BAGENAL (T.B.)**, - Methods for assessment of fish production in fresh waters, 165-201.
- BALON (E.K.), 1971.** - The intervals of early development and their terminology. *Vestn. Cesk. Spol. Zool.*, 35 (1), 1-8.
- BALON (E.K.), 1975 a.** - Reproductive guilds of fishes : a proposal and definition. *J. Fish. Res. Board Can.*, 32 (6), 821-864.
- BALON (E.K.), 1975 b.** - Terminology of intervals in fish development. *J. Fish. Res. Board Can.*, 32 (9), 1663-1670.
- BRAUM (E.), 1978.** - Ecological aspects of the survival of fish eggs, embryos and larvae *in* **GERKING (S.D.)**, Ecology of freshwater fish production, 102-131.
- BRAVARD (J.P.), 1982.** - A propos de quelques formes alluviales de la vallée du Haut-Rhône français. *R.G.L.*, 57 (1) : 39-48.
- BRAVARD (J.P.), 1983.** - Une auto-capture du Rhône par déversement dans les Basses Terres du Bas-Dauphiné (Isère, Ain). *R.G.L.*, 58(4) : 369-381.
- BRAVARD (J.P.), 1985.** - Le Haut-Rhône français. Dynamique naturelle et impacts des travaux d'aménagement d'un fleuve et de sa vallée. Thèse d'Etat, Lyon, 2 tomes, 805 p.
- BREDER (C.M.J.), 1960.** - Design for a fry trap. *Zoologica*, N.Y., 45 : 155-160.
- BURKARD (P.), 1984.** - Apports par les affluents *in* Le Léman, CIPEL, 387-422.
- BURKARD (P.) & CHASSAING (B.), 1984.** - 4.1 Apports atmosphériques *in* Le Léman, CIPEL, 367-386.
- CAPBLANCQ (J.) & DAUTA (A.), 1978.** - Phytoplankton et production primaire de la rivière Lot. *Annls Limnol.*, 14 (1-2) : 85-112.

Travaux cités

- CARREL (G.)**, 1981. - Etude physico-chimique et piscicole d'une lône du Haut-Rhône français. Analyse de plusieurs méthodes d'observation et de comptage des poissons en eau courante. D.E.A., 27 p.
- CELLOT (B.) & BOURNAUD (M.)**, 1984. - Dynamique saisonnière des mouvements de l'eau et des particules en suspension dans un fleuve. *Verein. Limnol.* 22 : 2002-2008.
- CERNY (K.)**, 1977. - The early development of chub - *Leuciscus cephalus* (L., 1758), rudd - *Scardinius erythrophthalmus* (L., 1758) and roach - *Rutilus rutilus* (L., 1758). *Acta Univ. Carol. - Biologica* 1-2 : 1-149.
- CERNY (K.)**, 1980. - The influence of different temperature and food conditions on the growth and rate of development of roach *Rutilus rutilus* (Pisces : Cyprinidae). *Vest. cs. spolec. zool.*, 44 : 16-38.
- CHACORNAC (J.M.)**, 1986. - Lacs d'altitude : métabolisme oligotrophe et approche typologique des écosystèmes. Thèse de doctorat de l'Université de Lyon, 215 p., annexes.
- C.I.P.E.L.**, 1984. - Le Léman - Synthèse des travaux de la Commission Internationale pour la Protection des Eaux du Léman contre la pollution. 1957-1982 - CIPEL, Lausanne, 647 p.
- CONNER (J.V.)**, 1979. - Identification of larval sunfishes (Centrarchidae, Elasmobranchidae) from Southern Louisiana. Proceedings of the 3rd Symposium on Larval Fish, Western Kentucky University, USA, 17-52.
- COOPER (J.E.)**, 1977. - Durable ichthyoplankton sampler for small boats. *Prog. Fish Cult.*, 39 (4) : 170-171.
- DECAMPS (H.) & CASANOVA-BATUT (Th.)**, 1978. - Les matières en suspension et la turbidité de l'eau dans la rivière Lot. *Annls. Limnol.*, 14 (1-2) : 59-84.
- DESSERTY (S.), DULAC (C.), LAURENCEAU (J.M.) & MEYBECK (M.)**, 1984. - Evolution du carbone organique "algal" et "détritique" dans trois rivières du Bassin Parisien. *Arch. Hydrobiol.*, 100 (2) : 235-260.
- DORIER (A.)**, 1925. - Caractères morphologiques différentiels des alevins de quelques Salmonidae (de l'éclosion jusqu'au deuxième mois). Première partie : truite indigène et truite arc-en-ciel. *Trav. Lab. Hydrobiol. Pisc. Univ. Grenoble*.
- DORIER (A.)**, 1942. - La ponte du chabot de rivière (*Cottus gobio* L.) et l'évolution morphologique de l'alevin. *Trav. Lab. Hydrobiol. et Pisc. Univ. Grenoble*, 79-86.
- DUSSART (B.)**, 1966. - Limnologie. L'étude des eaux continentales. Gauthier-Villars (éd.), Paris, 677 p.
- FABER (D.J.)**, 1981. - A light trap to sample littoral and limnetic regions of lakes. *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, 21 : 776-781.
- FABER (D.J.)**, 1984-1985. - Water babies - Larval fishes of Ottawa and vicinity. Part I. Distribution and phenology of baby fish in lakes and ponds. *Trail and Landscape*, 18 (2) : 84-92.
- FRIEDRICH (G.) & MULLER (G.)**, 1984. - 10 - Rhine in **WHITTON (B.A.)**, Ecology of European Rivers, 265-315.
- FUIMAN (L.A.), CONNER (J.V.), LATHROP (B.F.), BUYNAC (G.L.), SNYDER (D.E.) & LOOS (J.J.)**, 1983. - State of the art of identification for Cyprinid fish larvae from Eastern North America. *Trans. Am. Fish. Soc.*, 112 : 319-322.
- GALE (W.F.) & MOHR (H.W.)**, 1978. - Larval fish drift in a large river with a comparison of sampling methods. *Trans. Am. Fish. Soc.*, 107 (1) : 46-55.
- GERKING (S.D.)**, 1978. - Ecology of freshwater fish production. Blackwell Scientific Publications, Oxford, 520 p.
- GIHR (M.)**, 1957. - Zur Entwicklung des Hechtes. *Rev. Suisse Zool.*, 60 (24) : 355-474.
- GOLTERMAN (H.L.)**, 1975. - Physiological limnology - An approach to the physiology of lake ecosystems. Elsevier, 489 p.
- GOLTERMAN (H.L.), SLY (P.G.) & THOMAS (R.L.)**, 1983. - Study of the relationship between water quality and sediment transport. *Technical Papers in Hydrology*. UNESCO.
- GOLTERMAN (H.L.) & MEYER (M.L.)**, 1985a. - The geochemistry of two

- hard water rivers, the Rhine and the Rhone. Part 1 : Presentation and screening of data. *Hydrobiologia*, 126 : 3-10.
- GOLTERMAN (H.L.) & MEYER (M.L.)**, 1985b. - The geochemistry of two hard water rivers, the Rhine and the Rhone. Part 2 : The apparent solubility of calcium carbonate. *Hydrobiologia*, 126 : 11-19.
- GOLTERMAN (H.L.) & MEYER (M.L.)**, 1985c. - The geochemistry of two hard water rivers, the Rhine and the Rhone. Part 3 : The relations between calcium, bicarbonate, sulfate and pH. *Hydrobiologia*, 126 : 21-24.
- HAMMER (C.)**, 1983. - Improvement of a fry trap and investigations on the catch rate in a limnic environment. *Arch. Hydrobiol.*, 98 (4) : 533-544.
- HAMMERTON (D.)**, 1972. - The Nile river - a case history. *in* OGLESBY (R.T.) et al., River ecology and man, 171-214.
- HODSON (R.G.), BENNETT (C.R.) & MONROE (R.J.)**, 1981. - Ichthyoplankton samplers for simultaneous replicate samples at surface and bottom. *Estuaries*, 4 (3) : 176-184.
- HOESTLAND (H.)** ed., 1981. - Dynamique de populations et qualité de l'eau. Actes du symposium de l'Institut d'écologie du bassin de la Somme, Chantilly, 7 - 9 novembre 1979. Gauthier-Villars, Paris, 275 p.
- HUBAULT (E.)**, 1947. - Etudes thermiques, chimiques et biologiques des eaux des lacs de l'Est de la France. *Ann. Ecole nat. Eaux et Forêts*, t.X, fasc. 2, Paris, Berger-Levrault (éd).
- HUTCHINSON (G.E.)**, 1957. - A treatise on limnology. I. Geography, physics, and chemistry. New York, John Wiley & Sons, Inc., 1015 p.
- JUGET (J.), AMOROS (C.), GAMULIN (D.), REYGROBELLET (J.L.), RICHARDOT (M.), RICHOUX (Ph.) & ROUX (C.)**, 1976. - Structure et fonctionnement des écosystèmes du Haut-Rhône français. II - Etude hydrologique et écologique de quelques bras morts. Premiers résultats. *Bull. Ecol.*, 7(4) : 479-492.
- JUGET (J.), YI (B.J.), ROUX (C.), RICHOUX (Ph.), RICHARDOT-COULET (M.), REYGROBELLET (J.L.) & AMOROS (C.)**, 1979. - Structure et fonctionnement des écosystèmes du Haut-Rhône français. VII - Le complexe hydrographique de la îône des Pêcheurs (un ancien méandre du Rhône). *Schweiz. Z. Hydrol.*, 41 (2) : 395-417.
- JUGET (J.) & ROUX (A.L.)**, 1982. - Une îône du Rhône, zone humide en position de lisière dans l'espace et dans le temps. *Bull. Ecol.*, 13 (2) : 109-124.
- KARLSTRÖM (U.) & BACKLUND (S.)**, 1977. - Relationship between algal cell number, chlorophyll a and fine particulate organic matter in a river in Northern Sweden. *Arch. Hydrobiol.* 80 (2) : 192-199.
- KHALANSKI (M.)**, 1984. - Evaluation de la biomasse phytoplanctonique des eaux courantes par le dosage de la chlorophylle. *Verh. Internat. Verein. Limnol.* 22 : 2010-2019.
- KOBLITSKAIA (A.P.)**, 1981. - [Clef d'identification des alevins de poissons d'eaux douces], Moscou, 208 p., (en russe).
- KRYZHANOVSKY (S.G.)**, 1949. - [Eco-morphological principles and patterns of development among minnows, loaches and catfishes. Part I and II.]. Academy of Sciences of USSR, Proceedings of the Institute of Animal Morphology, 1 : 5-332. (en russe).
- KRYZHANOVSKY (S.G.), DISLER (N.N.) & SMIRNOVA (E.N.)**, 1953. - [Eco-morphological principles and patterns of development among Percoidei]. Academy of Sciences of USSR, Proceedings of the Institute of Animal Morphology, 10 : 3-138.
- KUSHLAN (J.A.)**, 1974. - Quantitative sampling of fish populations in shallow, freshwater environments. *Trans. Am. Fish. Soc.*, 103 (2) : 348-352.
- LEGER (L.) & STANKOVITCH (S.)**, 1921. - Fécondation artificielle et développement de l'Apron (*Aspro asper* L.). *Trav. Lab. Hydrobiol. et Pisc. Univ. Grenoble*, 335-338.
- LELEK (A.)**, 1981. - Population dynamics of fishes in the changing streams. *in* HOESTLAND (H.) ed., Dynamique des populations et qualité des eaux. 193-209.
- LILLEHAMMER (A.) & SALTVEIT (S.J.)**, 1984. - Regulated rivers. Proceedings of the second international symposium on regulated streams held in Oslo, Norway, 8-12 August 1982. Universitetsforlaget, Oslo, Norway, 540 p.

Travaux cités

- MAITLAND (P.S.)**, 1977. - Les poissons des lacs et rivières d'Europe en couleurs. Elsevier, Bruxelles, 255 p.
- MEYBECK (M.)**, 1970. - Bilan hydrochimique et géochimique du lac Léman. Thèse Doct. Spéc., Paris, 245 p.
- MEYBECK (M.)**, 1984. - Les fleuves et le cycle géochimique des éléments. Thèse Doct. Etat, Paris VI.
- MUUS (B.J.) & DAHLTROM (P.)**, 1981. - Guide des poissons d'eau douce et pêche. Delachaux & Niestlé S.A., Neuchâtel, 3ème édit., 242 p.
- NIELSEN (L. A.) & JOHNSON (D. L.)**, 1983. - Fisheries techniques. A.F.S., Bethesda, 468 p.
- OGLESBY (R.T.), CARLSON (C.A.) & McCANN (J.A.)**, 1972. - River ecology and man, Academic Press, New York, 465 p.
- PARDE (M.)**, 1925. - Le régime du Rhône (I et II). Masson, Paris, 887 p. et 440 p.
- PARDE (M.)**, 1968. - Fleuves et rivières. Coll. U2, Armand Colin, Paris, 5ème édit., 241 p.
- PAUTOU (G.)**, 1975. - Contribution à l'étude écologique de la plaine alluviale du Rhône entre Seyssel et Lyon. Thèse Grenoble, 375 p.
- PAUTOU (G.), THOMAS (J.), AIN (G.), MERIAUDEAU (R.), GILOT (B.) & NEUBURGER (M.C.)**, 1972. - Etude écologique des îles du Rhône entre Seyssel et Lyon. Organisation opérationnelle de la démostication. Lab. Biol. Vég. Univ. Sci. et Médic. Grenoble, 54 p.
- PELLETIER (J.)**, 1982. - Types et zones d'écoulement des eaux dans les plaines et collines de la région de Morestel, Brégner-Cordon. Première approche. *R.G.L.*, 57(1) : 25-38.
- PENAZ (M.)**, 1968. - Development of the chub, *Leuciscus cephalus* (Linnaeus, 1758) in the posthatching period. *Zool. Listy*, 17 (3) : 269-278.
- PENAZ (M.)**, 1973. - Embryonic development of the barb, *Barbus barbuis* (Linnaeus, 1758). *Zool. Listy*, 22 (4) : 363-374.
- PENAZ (M.)**, 1974a. - Early development of the nase carp, *Chondrostoma nasus* (Linnaeus, 1758). *Zool. Listy*, 23 (3) : 275-288.
- PENAZ (M.)**, 1974b. - [Premières phases du développement du Spirilin, *Alburnoides bipunctatus* (Bloch, 1782)]. *Acta Soc. Sci. Natur. Mus. Morav. Occid. Trebic*, 10 : 25-34. (en tchèque).
- PENAZ (M.)**, 1975. - Early development of the grayling *Thymallus thymallus* (Linnaeus, 1758). *Acta Soc. Nat. Brno*, 9 (11) : 1-35.
- PENAZ (M.)**, 1976. - A new type of trap for sampling fish fry. *Folia Zool.*, 26 (3) : 271-276.
- PENAZ (M.)**, 1981. - Ecomorphological principles and saltation in the early ontogeny of Salmonoid fishes *in* Topical problems of ichthyology - Proceedings of the Symposium, Brno, Czechoslovakia, March 24-26, 95-100.
- PENAZ (M.) & GAJDUSEK (J.)**, 1979. - Early development of bream, *Abramis brama*, from the water reservoir Mostiste, Czechoslovakia. *Folia Zool.*, 28 (4) : 347-360.
- PENAZ (M.) & PROKES (M.)**, 1978. - Reproduction and early development of the gudgeon, *Gobio gobio*. I. Spawning and embryonic period. *Folia Zool.*, 27 (3) : 257-267.
- PENAZ (M.), PROKES (M.), KOURIL (J.), HAMACKOVA (J.)**, 1983. - Early development of the carp, *Cyprinus carpio*. *Acta Sc. Nat. Brno*, 17 (2) : 1-39.
- PENAZ (M.), WOHLGEMUTH (E.), HAMACKOVA (J.) & KOURIL (J.)**, 1981a. - Early ontogeny of the tench, *Tinca tinca*. I. Embryonic period. *Folia Zool.*, 30 (2) : 165-176.
- PENAZ (M.), WOHLGEMUTH (E.), HAMACKOVA (J.) & KOURIL (J.)**, 1981b. - Early ontogeny of the tench, *Tinca tinca*. II. Larval period. *Folia Zool.*, 31 (2) : 175-180.
- PHILIPPART (J.C.) & VRANKEN (M.)**, 1983. - Atlas des poissons de Wallonie - Distribution, écologie, éthologie, pêche, conservation. *Cah. Ethol. app.*, Univ. de Liège, Belgique, 3(1-2), 395p.
- PIREN-Rhône**, 1982. - A.S.P. Gestion écologique des ressources en eau. Rapport d'activités 1982, 106 p.

- PIREN-Rhône**, 1983. - A.S.P. Gestion écologique des ressources en eau. Rapport d'activités 1983, 70 p.
- PROKES (M.) & PENAZ (M.)**, 1979. - Reproduction and early development of the gudgeon, *Gobio gobio*. II. Larval and juvenile periods. *Folia Zool.* 28 (1) : 55-64.
- PROKES (M.) & PENAZ (M.)**, 1980. - Early development of the chub, *Leuciscus cephalus*. *Acta Soc. Nat. Brno*, 14 (7) : 1-40.
- RAPPORT AU COMITE PIREN C.N.R.S.**, 1980. - Propositions pour une méthodologie cartographique polythématique appliquée à la gestion écologique des eaux (Etude d'un fleuve et de sa vallée : le Haut-Rhône français). 153 p. + un atlas comportant 31 fig. et cartes en noir et en couleur.
- REMENIERAS (G.)**, 1980. - L'hydrologie de l'ingénieur. Eyrolles. Paris, 456 p.
- REYGRABELLET (J.L.), MATHIEU (J.), GINET (R.) & GIBERT (J.)**, 1981. Structure et fonctionnement des écosystèmes du Haut-Rhône français - VIII : Hydrologie de deux stations phréatiques dont l'eau alimente des bras morts. *Int. J. Speleol.* 11 : 129-139.
- RODIER (J.)**, 1984. - L'analyse de l'eau - eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer. 7ème édition, Dunod, Paris, 1365 p.
- ROUX (A.L.)**, 1982. - (ouvrage collectif publié sous la direction de :) - Cartographie polythématique appliquée à la gestion écologique des eaux. Etude d'un hydrosystème fluvial : le Haut-Rhône français. C.N.R.S., Centre Région. Publ. Lyon, 116 p.
- ROUX (A.L.)**, 1984. - The impact of emptying and cleaning reservoirs on the physico-chemical and biological water quality of the Rhône downstream of the dams *in* LILLEHAMMER (A.) & SALTVEIT (S.J.), 61-70.
- RITTER (J.)**, 1973. - Le Rhône. Que sais-je ?, N°1507, Presses Univ. de France, 126 p.
- SCHMITT (D.E.)**, 1976. - Contribution à l'étude du système Chaux - Carbonate de calcium - Bicarbonate de calcium - Acide carbonique - Eau. *Annls. Ecole nat. Sup. mécan. Nantes*, 156 p.
- SNYDER (D.E.)**, 1976. - Terminologies for intervals of larval fish development., pp. 41-58 *in* BOREMAN (J.), Great Lakes fish egg and larvae identification (proceedings of a workshop). USFWS, OBS National Power Plant Team (Ann Arbor, Michigan), FWS/OBS-76/23. 220 p.
- SNYDER (D.E.)**, 1979. - Burbot - Larval evidence for more than one North American species. Proceeding of the 3rd Symposium on larval fishes, Western Kentucky University, USA. 204-220.
- SNYDER (D.E.)**, 1983. - Fish eggs and larvae. *in* NIELSEN (L. A.) & JOHNSON (D.L.), Fisheries techniques, 165-198.
- SPILLMAN (C.J.)**, 1961. - La Faune de France - 65 - Les poissons d'eaux douces. Lechevalier, Paris, 303 p.
- STANKOVITCH (S.)**, 1921. - Etude de la morphologie et de la nutrition des alevins de Cyprinidae. Thèse Doct. Etat, Grenoble, 182 p.
- STRICKLAND (J.D.H.) & PARSONS (T.R.)**, 1963. - Discussion of spectrophotometric determination of marine plant pigments with revised equations for ascertaining chlorophylls. *J. Mar. Res.* 21 : 155-163.
- SWANSON (C.D.) & BACHMANN (R.W.)**, 1976. - A model of algal exports in some Iowa streams. *Ecology*, 57 (5) : 1076-1080.
- VIVIAN (H.)**, 1983. - Les fluctuations de l'abondance annuelle, mensuelle et des rythmes journaliers du Rhône supérieur à Sault-Brénaz. *Rev. géog. alpine*, 71 (4) : 311-329.
- WANG (J.C.S.) & KERNEHAN (R.J.)**, 1979. - Fishes of the Delaware estuaries. A guide to the early life histories. EA Communications, Ecological Analysts, Maryland, USA, 31 + 410 p.
- WETZEL (R.G.)**, 1983. - Limnology (second edition). Saunders College Publishing, Philadelphia, 767 p., annexes.
- WETZEL (R.G.) & OTZUKI (A.)**, 1974. - Allochthonous organic carbon of a mari lake. *Arch. Hydrobiol.* 73 : 31-56.
- WHITTON (B.A.)**, 1984. - Ecology of european rivers, Blackwell Scientific Publications, Oxford, 644 p.

Travaux cités

WURTZ (A.), 1944. - Développement, biologie et nutrition des jeunes alevins de brochet (*Esox lucius* L.). *Bull. fr. Piscic.*, 135 : 57-69.

WURTZ-ARLET (J.), 1950. - Quelques observations sur la biologie de la vandoise (*Leuciscus leuciscus* L.). *Bull. fr. Piscic.*, 158 : 14-18.

ZAHNER (Ph.), 1984. - Sulfates *in* **CIPEL** (éd.), Le Léman, 193-198.

ANNEXES

ANNEXÉ I

Article soumis pour publication à

Acta Oecologica

OECOLOGIA GENERALIS

DEPOUILLEMENT GRAPHIQUE D'UNE ANALYSE EN COMPOSANTES
PRINCIPALES NORMÉE : UTILISATION EN HYDROBIOLOGIE

G. CARREL, D. BARTHELEMY (1)
Y. AUDA, D. CHESSEL (2)

- (1) Ecologie des eaux douces, U.A. CNRS 367, Université Lyon 1,
69 622 VILLEURBANNE CEDEX
(2) Biologie des populations, U.A. CNRS 243, Université Lyon 1,
69 622 VILLEURBANNE CEDEX

Résumé : L'analyse en composantes principales normée est largement utilisée pour la description des caractéristiques physico-chimiques des eaux continentales : cartes factorielles, cercles des corrélations et cartographie des coordonnées principales sont les procédés graphiques utilisés comme aides à l'interprétation. L'article introduit les graphes canoniques facteurs-variables et les représentations superposées données-modèles de reconstitution comme nouvelles pratiques de dépouillement. Un rappel théorique justifie ce point de vue et diverses illustrations en explicitent l'utilisation.

Mots-clefs : Analyse en composantes principales, variables physico-chimiques, représentations graphiques, eaux continentales.

INTRODUCTION

L'analyse en composantes principales normée est un outil classique de description des tableaux de relevés de milieu comportant n lignes (relevés) et p colonnes (variables). C'est une méthode d'ordination des relevés ou de description des structures intervariables utilisée dès que les variables sont quantitatives et transcrites dans des unités diversifiées. La procédure du calcul se réduit à trois étapes :

1- Préparation

Si X est le tableau des données et si x_{ij} est la valeur prise par l'individu i pour la variable j ,

on calcule les moyennes

$$m_j = (1/n) \sum_{i=1}^n x_{ij} \quad 1 \leq j \leq p$$

les variances

$$v_j = (1/n) \sum_{i=1}^n (x_{ij} - m_j)^2 \quad 1 \leq j \leq p$$

et les corrélations entre variables

$$r_{jk} = (1/n) \left[\sum_{i=1}^n (x_{ij} - m_j)(x_{ik} - m_k) \right] / \sqrt{v_j v_k} \\ 1 \leq j, k \leq p$$

Le tableau Y défini par

$$y_{ij} = (x_{ij} - m_j) / \sqrt{v_j} \\ 1 \leq i \leq n, \quad 1 \leq j \leq p$$

est dit normalisé et la matrice R de terme général r_{jk} est la matrice des corrélations.

2- Diagonalisation

La matrice R est diagonalisée et on conserve les vecteurs propres u_1, \dots, u_p normés associés aux p valeurs propres notées $\lambda_1, \dots, \lambda_p$ rangées

par ordre décroissant. Si U est la matrice à p lignes et p colonnes contenant les vecteurs U_j en colonnes, on calcule alors la matrice

$$L = \Psi U$$

où on trouve à la i ème ligne et à la k ème colonne la coordonnée factorielle du relevé i ($1 \leq i \leq n$) sur l'axe factoriel k ($1 \leq k \leq p$) dite coordonnée principale et notée l_{ik} . De même, on calcule la matrice C de terme général

$$c_{jk} = U_{jk} \sqrt{\lambda_k}$$

dite coordonnée factorielle de la variable j sur l'axe factoriel k .

3- Aides à l'interprétation graphiques

Elles se composent des **graphes des valeurs propres** (représentation de la quantité λ_k en fonction de son numéro d'ordre k), des **cartes factorielles lignes** (représentation de l'individu i par un point de coordonnées l_{ik} et l_{ik}'), des **cartes factorielles colonnes** (représentation de la variable j par un vecteur de composantes c_{jk} et c_{jk}') dites encore **cercles de corrélation**.

Procédures, exemples et discussions sont disponibles pour les écologues dans l'ouvrage de L. et P. LEGENDRE (1979, tome 2, p. 103-124). Utilisée comme méthode de description de données, l'analyse est totalement affranchie des contraintes de multinormalité (PONTIER, 1964) et doit être comprise comme cas particulier de la famille des méthodes d'analyse de l'inertie d'un nuage de points, introduite en écologie par CHARDY et coll. (1976) et LAUREC et coll. (1979). Une des propositions de L. et P. LEGENDRE: "Lorsque les objets sont échantillonnés dans un plan géographique, il est possible de cartographier les composantes qui intéressent l'écologiste" (op. cit. p. 107) peut également être considérée comme une pratique bien connue. En témoigne la figure 1, qui dans le champ d'utilisation qui nous intéresse, réunit quelques exemples de la cartographie des coordonnées factorielles.

(emplacement de la figure 1)

En distinguant clairement la fonction descriptive de son origine inférentielle, il est possible d'étendre et d'améliorer les capacités de cette méthode. La première proposition dite **graphe canonique** rapproche l'A.C.P. des stratégies de codage développées par SAPORTA (1975). La seconde s'appuie sur la formule de reconstitution, attribuée à ECKART & YOUNG (1936, 1939) par LEBART & coll. (1977, p. 16), et déjà utilisée par

ESTEVE & SCHIFFLERS (1974) pour l'étude des courbes de croissance. Les moyens graphiques modernes, aux plans conceptuels et informatiques (BERTIN, 1973 - AUDA, 1983) rendent possible de nouvelles pratiques du dépouillement s'appuyant sur des théorèmes non encore mis en oeuvre concrètement.

GRAPHE CANONIQUE EN A.C.P. NORMEE

L'un d'entre nous (BARTHELEMY, 1984) a étudié la qualité physico-chimique et biologique de 14 résurgences karstiques du sud du Jura. Quatre prélèvements dans l'année (février, mai, août et novembre 1981) ont donné une moyenne annuelle pour 10 variables. La figure 2 donne les définitions des relevés, la nature des variables et le tableau des données traitées.

(emplacement de la figure 2)

Carte factorielle et cercle de corrélation, répartition de l'inertie et cartographie de la première coordonnée sont consignés dans la figure 3 obtenue avec le logiciel de Y. AUDA (1983, 1984)*.

Il est aisé d'identifier deux gradients. L'axe 1 est celui de la **minéralisation globale** prenant en compte les variations simultanées des teneurs en bicarbonates, calcium, sulfates et silice; les corrélations variables-facteur 1 prenant respectivement les valeurs 0.81, 0.88, 0.78 et 0.96. La minéralisation globale semble liée à l'altitude; les stations hautes étant alimentées par des écoulements rapides (verticaux), les stations basses devant leur forte minéralisation aux apports de la zone noyée. La température et l'oxygénation étant reliées à l'altitude, ces trois variables contribuent à la définition de l'axe 1 (corrélations variables-facteur 1 respectivement égales à -0.83, 0.94 et -0.71 pour l'altitude, la température et la saturation en oxygène). L'axe 2 est celui des apports anthropiques au niveau des nitrates et des chlorures; variables représentant les seules corrélations non négligeables (-0.82 et -0.84).

(emplacement de la figure 3)

On peut cependant penser que si la coordonnée factorielle sur l'axe 1 est bien une mesure synthétique pertinente de la minéralisation, l'examen des relations facteurs-variables par le seul résumé du coefficient de corrélation linéaire est sommaire.

* programme Fortran 77 portable comportant 16 options (courbes par points, traits, bâtons, histogrammes et escaliers, cartes par caractères, cercle, carré, réécriture de tableau par cercles et carrés, digitalisation et impression de fonds de cartes, courbes de Gauss et ellipses) avec gestion des superpositions et juxtapositions: documentation et bande magnétique disponibles auprès de l'auteur.

Il faut noter que divers points de vue sont possibles, le plus connu, l'analyse d'inertie, pouvant ne pas être le plus utile. En effet, si la coordonnée factorielle est bien celle de la projection sur le vecteur prenant en compte le maximum d'inertie projetée (LEBART & coll., 1977, ch. 1), c'est aussi la valeur de la combinaison linéaire des variables normalisées, de variance maximale sous la contrainte que la somme des carrés des coefficients égale 1, et c'est enfin, à une constante près, la valeur du codage numérique des individus (stations) maximisant la somme de ses carrés des corrélations avec les variables (GLACON, 1981 - Théorèmes d'approximations). Comme combinaison linéaire de variance maximale, la coordonnée doit être catographiée et on distinguera sur la figure trois zones, notées I, II et III, de minéralisation définissant un gradient Est-Ouest. En outre, le dernier théorème cité indique qu'il est légitime de juxtaposer les graphes des représentations bivariées variables x coordonnée factorielle en observant que l'ordination commune à l'ensemble des représentations, en maximisant la somme des carrés des corrélations, permet une lecture simultanée et efficace des relations à une même variable de synthèse (facteur).

On peut appeler **graphe canonique du facteur 1** une telle figure. L'axe 1 de l'exemple étudié est aussi décrit dans la figure 4.

(emplacement de la figure 4)

On notera qu'une telle figure contient une partie importante des aides à l'interprétation. La température (+0.94) et la silice (+0.96) sont les deux variables les plus étroitement liées à la minéralisation. L'altitude (-0.83) présente un point mal positionné, la station D (350 m) : sa minéralisation est relativement faible et le fonctionnement du karst doit différer dans les zones I et III. La liaison avec la saturation en oxygène n'est en rien linéaire (variable bornée supérieurement). En fait, les trois variables carbonates (0.81), calcium (0.88) et sulfates (0.78) mettent en évidence l'originalité du groupe des stations situées au pied du Revermont (stations A, F et N). De mêmes statuts morphologiques, elles forment un ensemble homogène où carbonates et calcium sont nettement moins abondants que prévu : une partie importante des eaux peut provenir du ruissellement superficiel et la présence d'horizons gypsifères affleurant peut expliquer la richesse plus importante en sulfates dans la zone. Vu sur la figure 4, cet élément ne saurait apparaître sur un plan factoriel.

APPROCHE GRAPHIQUE ET RECONSTITUTION DES DONNEES

En géométrie euclidienne, le point d'un sous-espace le plus proche d'un point M donné n'est autre que la projection orthogonale de M sur ce sous-espace. L'image de cette projection dans un plan donne la carte factorielle. Rien n'empêche cependant de représenter le point et sa

projection dans le système des variables initiales. Nous avons noté y_{ij} la valeur normalisée de la variable j pour l'individu i. La tableau Y est approché par une série de modèles dérivés uniquement de lui-même par les formules de reconstitution

$$y_{ij,k} = \sum_{f=1}^k (1/\sqrt{\lambda_k}) c_{jf} l_{if}$$

Ainsi le modèle de rang 1 remplace les données y_{ij} par la première reconstitution

$$y_{ij,1} = (1/\sqrt{\lambda_1}) c_{j1} l_{i1}$$

Nous appellerons superposition données-reconstitution du facteur 1 une représentation simultanée de y_{ij} et $y_{ij,1}$.

Cette technique est utile dès que les relevés sont positionnés dans le temps comme c'est le cas dans l'observation conduite sur la physico-chimie d'une station du Rhône (CARREL, 1986). Cette station, située sur le chenal principal du fleuve, à 70 kilomètres en amont de Lyon, a fourni des prélèvements d'eau à 39 reprises. La figure 5 donne la date des échantillons, la définition des 15 variables utilisées et les données annexes.

(emplacement de la figure 5)

Le dépouillement de l'analyse peut être fait selon les directives utilisées précédemment, à l'aide des cartes factorielles (figure 6). Le graphe des valeurs propres (A) montre que la majeure partie des informations sont expliquées par les deux premiers facteurs. On procède donc à une représentation des cartes factorielles F1 x F2 des variables (B) et des individus (C).

(emplacement de la figure 6)

Cinq variables sont entièrement prises en compte par le facteur 1 (1 et 2 : températures de l'air et de l'eau, 3 : conductivité, 7 : dureté totale et 8 : le calcium). Elles constituent deux groupes de variables redondantes ; le premier (température) est le meilleur révélateur du cycle saisonnier, le second intéresse la minéralisation de l'eau, essentiellement due aux ions du système calco-carbonique. Les variations saisonnières du système $Ca^{++}/HCO_3^-/CO_3^{=}$ résultent de l'influence de la température de l'eau sur la solubilité du CO_2 et sur les constantes de dissociation de l'acide carbonique (GOLTERMAN & MEYER, 1985). L'axe 2 définit parfaitement les variables 6 (transparence), D (Matières en suspension) et E (Matière Organique

Particulaire) qui intègrent les oscillations du débit du fleuve. D'autres variables sont décrites par les facteurs 1 et 2, C : alcalinité, A : sulfates, mais la visualisation de l'association de deux ou plusieurs facteurs, explicative d'une variable ne peut être clairement définie à la seule observation des cartes factorielles. Les autres paramètres peu ou pas concernés par les axes 1 et 2 sont largement ignorés dans ce type de représentation.

La carte factorielle des individus F1 x F2 (C) permet d'observer le cycle thermique (coordonnées des échantillons sur F1) et la répartition des dates en fonction du débit sur l'axe 2. Le régime nivo-glaciaire du Haut-Rhône est caractérisé par une relative régularité du débit en été (hautes eaux) et en hiver (basses eaux). Le printemps de l'année 1983 a été marqué par des crues exceptionnelles. L'automne est une saison où alternent des étiages prononcés et des crues brutales. L'interprétation de cette carte factorielle peut être faite de manière plus fonctionnelle en représentant les coordonnées factorielles des individus en fonction du temps (D). Il est ainsi possible d'observer facilement le cycle saisonnier (F1) et de localiser précisément la date de certains changements importants, notamment ceux imputés aux variations du débit (F2).

Si les cartes factorielles fournissent les principales bases de l'interprétation, elles ne sont toutefois pas très performantes pour le dépouillement des facteurs lointains attachés à des paramètres souvent complexes, ou à des dates particulières. L'utilisation de la reconstitution progressive des données et la superposition des modèles aux valeurs initiales facilitent singulièrement l'interprétation par une simple visualisation graphique. La figure 7 regroupe la totalité des variables (normées centrées) sur lesquelles a été superposé le modèle de rang 1 correspondant défini par le premier facteur de l'analyse.

(emplacement de la figure 7)

Il est commode de retrouver les deux premiers groupes associés à l'axe 1 (température et minéralisation), et d'y observer la description partielle d'autres variables : bicarbonates, magnésium, azote nitrique, sulfates. On remarquera l'absence totale d'un quelconque parallélisme entre le modèle et les variables exclusivement décrites par les autres facteurs (Matières en suspension, Matière Organique Particulière, Transparence, pH, Chlorophylle a, ...).

La reconstitution va être poursuivie par addition des facteurs.

(emplacement de la figure 8)

La figure 8 permet de visualiser très rapidement la participation effective des variables à la constitution des axes factoriels. L'alcalinité

partiellement décrite par le premier axe l'est définitivement par le second, lequel s'attache aux périodes de crues printanières et automnales. La transparence et la Matière Organique Particulière sont très nettement décrites par le facteur 2. Le pH est exclusivement concerné par le facteur 3. L'évolution des sulfates est liée au débit; quelques dates sont mises en valeur par le facteur 5, représentatif de la prédominance des apports de certains affluents. L'intégration des variations annuelles observées pour certaines variables n'est totale qu'à partir du sixième axe factoriel. Ce dernier s'attache à des phénomènes localisés, vraisemblablement associés aux activités biologiques existant dans le lac Léman dont l'exutoire constitue la principale source d'alimentation en eau du Haut-Rhône français.

CONCLUSION

Les procédures de dépouillement graphique de l'information numérique connaîtront vraisemblablement un large développement lié à l'informatique personnalisée. Nous avons essayé de montrer que c'est dans l'articulation avec les méthodes linéaires traditionnelles et non dans une approche autonome que ce développement doit être enrichi.

On peut souligner, pour conclure, quelques perspectives prometteuses.

a - Il semble logique de restituer, dès que possible, les coordonnées factorielles dans l'espace expérimental (temps, régionalisation) plutôt que de resituer sur les cartes factorielles des éléments concrets.

b - Une partie des aides à l'interprétation, en particulier les modèles d'inertie, peut être remplacée par une approche graphique et ainsi faciliter la compréhension des méthodes par des utilisateurs occasionnels.

c - Le coefficient de corrélation, mesure plutôt optimiste des liaisons inter-variables, gagne à être systématiquement lu sur une représentation bivariée.

d - Les collections de nuages variables x facteurs s'appliquent aux méthodes à deux tableaux dérivées de l'A.C.P., en particulier à l'analyse canonique.

e - Les superpositions données-modèles sont utiles en Analyse des correspondances (reconstitution d'histogrammes) et en Analyse en composantes principales sur variables instrumentales (SABATIER, 1983). La reconstitution d'un tableau faunistique par un ensemble de variables de milieu (explication d'une structure faunistique) ou la reconstitution d'un tableau de variables de milieu par un tableau faunistique (capacité d'un groupe de descripteurs) sont actuellement à l'étude. On peut penser que la graphique, en exprimant de manière accessible les principes de fonctionnement, faciliteront la diffusion de ces méthodes prometteuses en écologie factorielle.

TRAVAUX CITES

AUDA (Y.), 1983. - Rôle des méthodes graphiques en analyse des données : application au dépouillement des enquêtes écologiques. Thèse de 3ème cycle, Université de Lyon, 127 p.

AUDA (Y.), 1984. - Logiciel graphique pour l'analyse des données (FORTRAN 77). Laboratoire de Biométrie, Lyon, Ronéo, 107 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. Thèse de 3ème cycle, Université de Lyon, 182 p.

BERTIN (J.), 1967. - Les diagrammes, les réseaux, les cartes. Mouton et Gauthier-Villars, Paris, 431 p.

CARREL (G.), 1986. - Caractérisation physico-chimique du Haut-Rhône français et de ses annexes ; incidences sur la croissance des populations d'alevins. Thèse de doctorat, Université de Lyon.

CHARDY (P.), GLEMAREC (M.) & LAUREC (A.), 1976. - Application of inertia methods to benthic marine ecology : practical implications of the basic options. *Estuarine and coastal Marine Sciences*, 4 : 179-205.

ECKART (C.) & YOUNG (G.), 1936. - The approximation of one matrix by another of lower rank. *Psychometrika*, 1 : 211-218.

ECKART (C.) & YOUNG (G.), 1939. - A principal axis transformation for non hermitian matrices. *Bull. Amer. Math. Assoc.*, 45 : 118-121.

ESTEVE (J.) & SCHIFFLERS (E.), 1974. - Some aspects of growth in laboratory mice (Statistical analysis of a family of growth curves). *Ann. Zool. Ecol. Anim.*, 6 (3) : 449-461.

ESTRADA (M.), 1975. - Statistical consideration of some limnological parameters in Spanish reservoirs. *Verh. Internat. Verein. Limnol.* 19, 1849-1859.

GLACON (F.), 1981. - Analyse conjointe de plusieurs matrices de données - Comparaison de différentes méthodes. Thèse de 3ème cycle, Université de Grenoble, 73 p.

GOLTERMAN (H.L.) & MEYER (M.L.), 1985. - The geochemistry of two hard water rivers, the Rhine and the Rhône. Part 1 : Presentation and screening of data. *Hydrobiologia*, 126 : 3-10.

LAUREC (A.), CHARDY (P.), DE LA SALLE (P.) & RICKAERT (M.), 1979. - Use of dual structures in inertia analysis : ecological implications in *ORLOCI L. & coll.*, 1979, 127-174.

LEBART (L.), MORINEAU (A.) & TABARD (N.), 1977. - Techniques de la description statistique. Méthodes et logiciels pour l'analyse des grands tableaux. Bordas, Paris, 351 p.

LEGENDRE (O.) & LEGENDRE (L.), 1979. - Ecologie numérique, 1. Le traitement multiple des données écologiques. 2. La structure des données écologiques. Masson, Paris, et Presses de l'Université du Québec, 197 et 247 p.

ORLOCI (L.), RAO (C.R.) & STITELER (W.M.), 1979. - Multivariate methods in ecological work, Statistical Ecology Series, Vol. 7, International co-operative Publishing House, Burtonsville, 400 p.

PIALOT (D.), 1985. - Analyse des données de milieu en hydrobiologie. Apports des techniques d'analyse multivariées. Thèse de 3ème cycle, Université de Lyon, 223 p.

PONTIER (J.), 1964. - Une méthode d'analyses factorielle, quelques applications à la biologie. Thèse de 3ème cycle, Université de Lyon, 115 p.

PRAT (N.F.), PUIG (M.A.), GONZALEZ (G.), TORT (M.F.) & ESTRADA (M.), 1984. - 19. Llobregat in *WHITTON*, 1984, 527-552.

SABATIER (R.), 1983. - Approximation d'un tableau de données. Application à la reconstitution des paléoclimats. Thèse de 3ème cycle, Montpellier, 184 p.

SAPORTA (G.), 1975. - Liaisons entre plusieurs ensembles de variables et codage de données qualitatives. Thèse de 3ème cycle, Université de Paris VI, 102 p.

WHITTON (B.A.), 1984. - Ecology of european rivers. Blackwell Scientific Publications, Oxford, 644 p.

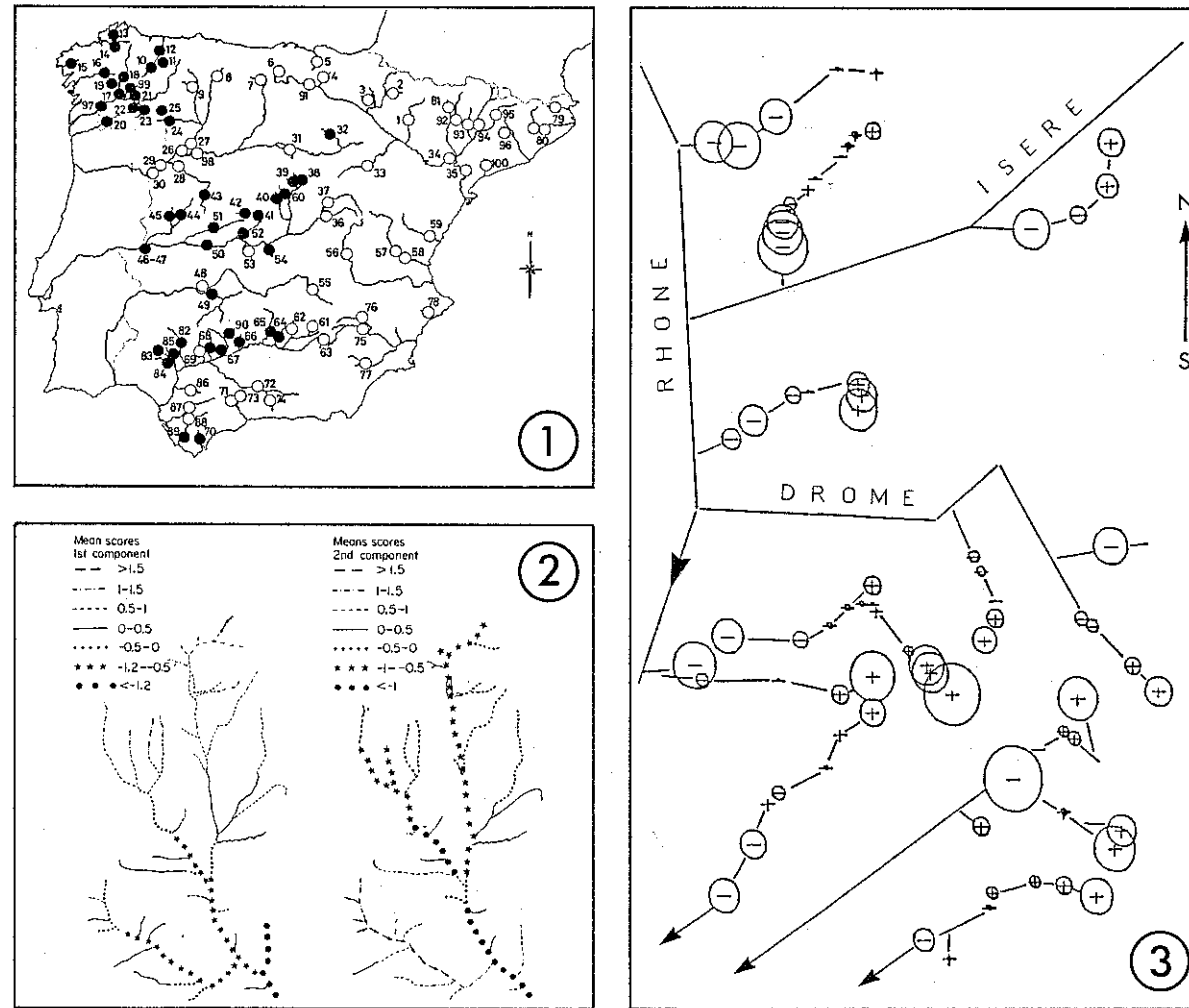


Figure 1 - Cartographie des coordonnées factorielles pour des A.C.P. sur des tableaux stations-variables en hydrobiologie.

1 - Le cercle est blanc si la coordonnée est supérieure à 0, noire si elle est négative. La valeur numérique est indiquée (ESTRADA, 1975). 2 - Le symbole indique une classe de valeurs des 2 coordonnées factorielles. Observation d'un gradient amont-aval sur F1 et typologie d'affluents sur F2 (PRAT & coll., 1984). 3 - Représentation par cercle et indication du signe. Observation d'un gradient amont-aval (PIALOT, 1985).

Code STATIONS			VARIABLES									
			NATURE	Altitude du site	Température de l'eau	Saturation en oxygène	Titre Alcalimétrique Complet (HCO ₃)	Dureté Calcique (Ca ⁺⁺)	Sulfates	Silice	Demande Biologique en oxygène (DBO ₅)	Nitrates
Code	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A		
A ALLONAL	Source du Soujet	250	11,3	82,3	312,8	111,3	11,0	8,0	3,4	45,0	8,3	
B CHALLES	Source du Moulin de Gramans	540	9,5	98,3	293,3	98,3	13,7	4,4	1,8	35,8	3,1	
C CORVEISSIAT	Grotte de Corveissiat	350	9,8	93,3	321,8	108,0	7,1	4,2	2,1	46,1	3,9	
D ENRAGE	Résurgence de l'Enragé (usine)	350	7,9	91,3	238,5	74,3	4,8	2,5	3,1	37,2	3,4	
E FETIGNY	Source du Valsin	470	8,8	95,5	288,5	95,8	5,7	2,8	1,7	28,5	2,3	
F GUYOTTES	Source du ruisseau des Guyottes	275	11,3	73,8	322,5	113,3	14,5	8,3	2,1	37,4	4,5	
G HERIA	Puits Blanc (aval)	720	8,5	91,5	207,5	68,5	4,2	1,5	1,8	30,7	1,5	
H LA BALME	Source de la Grotte	400	10,1	81,0	353,8	118,3	8,0	5,4	2,8	37,9	3,0	
I LOISIA	Source du Suran	400	9,9	88,5	296,5	101,0	8,2	4,9	3,4	29,9	3,5	
J MAILLAT	Source du Carberan	550	8,8	86,3	250,5	85,5	7,9	3,8	2,2	38,8	10,4	
K NANTEY	Source du Lavoir	400	10,0	80,0	350,0	116,8	8,6	5,3	3,9	22,3	2,7	
L SAMOGNAT	Source de la Touvière	480	8,9	96,3	290,0	92,8	6,3	2,7	1,8	31,1	2,1	
M TARCIA	Source du ruisseau du Gos	420	10,4	85,5	313,3	108,5	7,4	4,6	1,8	23,2	2,4	
N VERJON	Source du Salnan	230	11,1	82,5	320,8	108,5	13,0	8,0	1,8	33,8	3,3	

Figure 2 - Données relatives à la qualité physico-chimique des eaux de 14 résurgences karstiques, appréhendée par 10 variables.

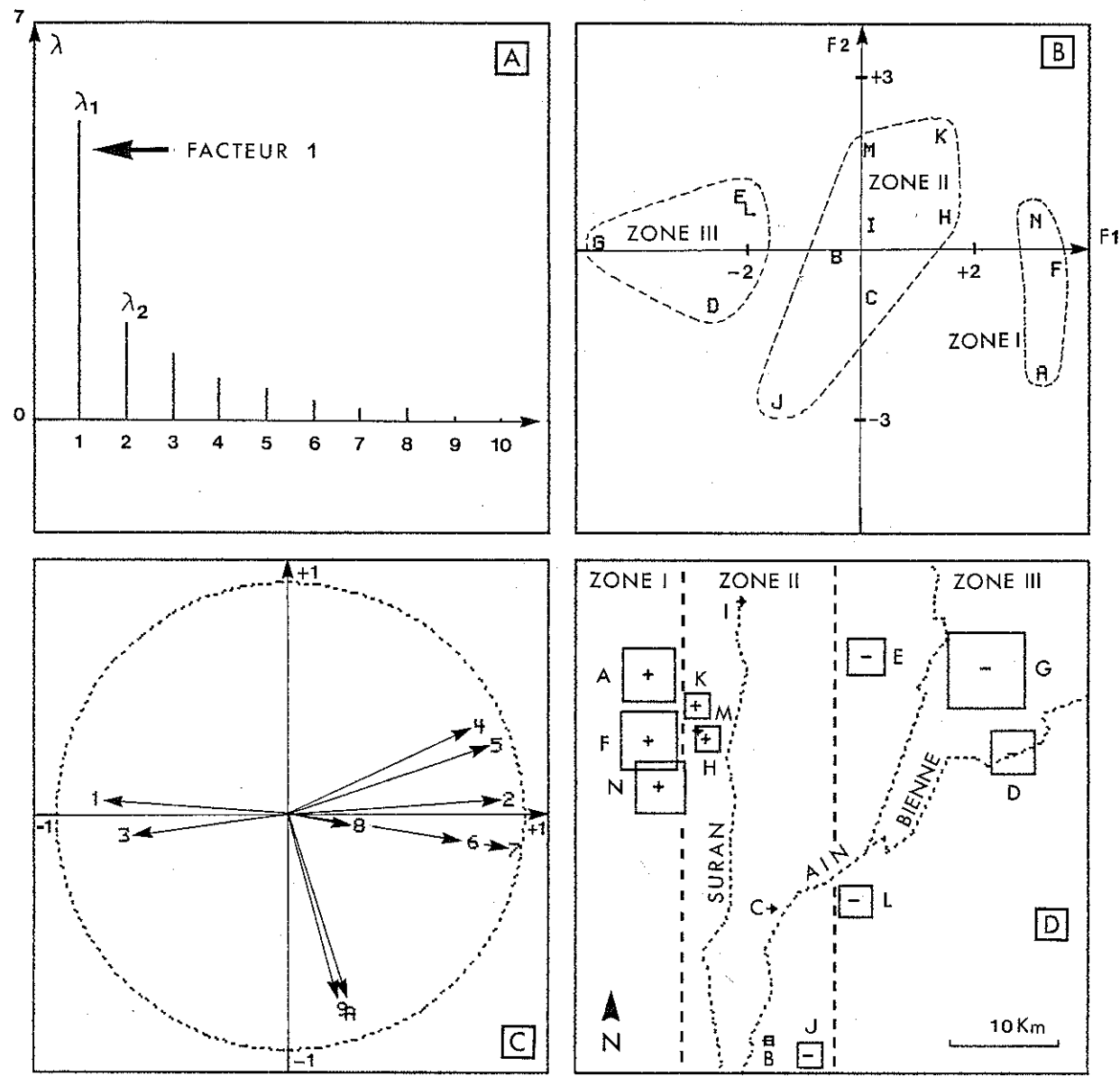


Figure 3 - Approche graphique classique du dépouillement d'une A.C.P.
A - Répartition de l'inertie entre les axes (graphes des valeurs propres) : le premier axe a une importance prépondérante. **B** - Carte factorielle des individus (F1 x F2). Les stations sont repérées par des lettres. **C** - Carte factorielle des variables (F1 x F2). Chaque variable est repérée par ses coefficients de corrélation avec les deux premières coordonnées factorielles. **D** - Cartographie par carrés des coordonnées factorielles sur F1. On notera la correspondance entre structures factorielles et structures géographiques.

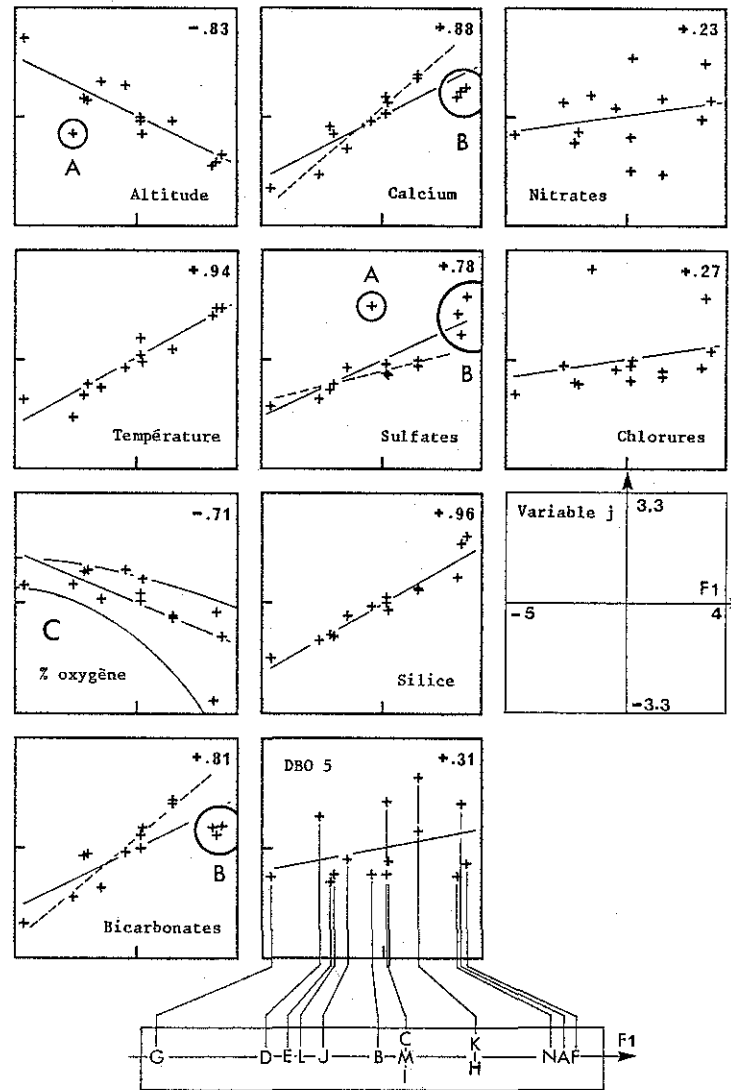


Figure 4 - Utilisation d'un graphe canonique pour le dépouillement d'une A.C.P.. Dans chaque fenêtre, les 14 stations sont positionnées en abscisse par leur coordonnée factorielle sur l'axe 1. En ordonnée, on utilise la valeur normalisée mesurée pour chaque variable. La droite est le meilleur prédicateur linéaire de la variable par les coordonnées factorielles.

Noter, A : la position isolée d'un point, B : les liaisons partiellement linéaires, le groupe mis en évidence a une minéralisation de composition originale, C : liaison non linéaire (ici, variable à seuil).

Les méthodes d'analyse des données dites linéaires peuvent montrer clairement (point de vue descriptif) des liaisons non linéaires.

DATE	N°	Code	VARIABLES																
			NATURE																
			Température de l'air	Température de l'eau	Conductivité	Potentiel Hydrogène	Saturation en oxygène	Transparence (disque de Secchi)	Dureté Totale (CaCO ₃)	Dureté Calcique (Ca ⁺⁺)	Dureté Magnésienne (Mg ⁺⁺)	Sulfates	Azote nitrique	Titre Alcalimétrique Complet (HCO ₃)	Matières en suspension	Matières Organiques Particulaires (MOP)	Chlorophylle a		
			°C	°C	µS/cm	pH	%	cm	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	µg/l	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F					
02.02.83	33	1	2	5,9	359	8,2	93	67	186	62,9	7,1	35	0,8	176,9	17,3	2,8	1,4		
22.02.83	53	2	2	3,4	348	7,9	92	203	178	57,7	7,8	42,1	0,8	158,6	3,7	0,9	1,6		
14.03.83	73	3	10	7,5	260	8	94	176	176	60,1	6,3	32,9	0,5	169,6	4,4	1,2	5,7		
19.04.83	109	4	16	9,1	298	7,9	101	85	165	57,7	5,1	32,8	0,6	161	22	3,7	6,2		
03.05.83	123	5	15	9,6	287	8,2	98	40	167	58,9	4,9	24,4	0,5	176,9	44,9	5,6	2,9		
09.05.83	129	6	10	10,1	277	8,2	98	28	165	57,3	5,3	28,6	0,5	170,8	92,4	8,8	9,2		
18.05.83	138	7	15	11,4	293	8,2	98	22	176	62,1	5,1	22,5	0,6	191,5	98	9,8	4,4		
24.05.83	144	8	12	9,5	295	8,1	98	55	170	58,9	5,8	29,8	0,5	168,4	40	4,4	10,6		
31.05.83	151	9	16	11	299	8,3	95	22	170	60,1	4,9	30,7	0,6	170,8	29,3	4,4	1,5		
07.06.83	158	10	23	16,3	243	8,1	93	73	135	45,3	5,3	33,5	0,5	126,9	28,6	5,4	6,4		
16.06.83	167	11	18	16,6	256	7,6	91	65	139	46,9	5,3	38,3	0,4	124,5	24,4	3,4	2,8		
22.06.83	173	12	18	18,5	276	7,6	88	120	152	51,3	5,8	39,5	0,4	134,2	11,8	2,2	2,5		
28.06.83	179	13	19	16,2	263	8,1	85	58	144	49,7	4,9	35,4	0,3	130,5	25,2	3,8	5,3		
05.07.83	186	14	23	17,2	266	8,1	94	104	142	46,9	6,1	39,9	0,3	128,1	16	2,7	2,7		
11.07.83	192	15	24	19,5	258	8,3	103	71	141	46,9	5,8	38,5	0,4	126,9	20,2	2,2	3,9		
19.07.83	200	16	23	22	248	8,1	102	100	122	44,1	2,9	45,6	0,4	112,2	13,8	2,2	1,9		
26.07.83	207	17	24	22,2	234	8	100	80	121	40,1	5,1	42,5	0,3	102,5	20	2,1	1,7		
01.08.83	213	18	24	24	225	8,1	94	81	116	37,3	5,6	40,9	0,4	95,2	15,9	1,8	3,1		
09.08.83	221	19	23	19,6	247	8,2	87	185	130	40,5	?	43,1	0,5	104,9	7,8	1,4	1,4		
16.08.83	228	20	19	20,2	233	8,1	86	150	120	37,3	6,6	39	0,4	95,2	11,5	1,5	3,8		
23.08.83	235	21	19	20,4	234	8,1	85	100	122	38,5	6,3	39,4	0,4	98,8	14,1	2,7	4,7		
30.08.83	242	22	22	20,6	249	8,1	84	98	130	42,9	5,6	37,7	0,4	109,8	14,2	3	1,8		
06.09.83	249	23	20	14,2	258	8	98	90	139	46,9	5,4	40,2	1	119,6	12,7	1,7	1,3		
12.09.83	255	24	12	16,5	253	8,1	97	90	134	44,5	5,8	37,9	0,5	111	18,4	2	1,7		
19.09.83	262	25	14	11,4	261	8,1	96	21	151	52,5	4,9	21,3	0,1	155	89,4	11,9	1,2		
26.09.83	269	26	14	16,6	266	8,1	95	187	145	48,1	6,1	40,3	0,3	125,7	10,2	1,5	5,2		
03.10.83	276	27	16	16,7	268	8	95	180	144	48,1	5,8	40,3	0,4	125,7	6,8	1,6	5,3		
10.10.83	283	28	14	15,4	245	8,1	91	176	144	47,3	6,3	44,7	0,5	117,1	8,6	1,3	2,8		
18.10.83	291	29	14	11,5	289	8,2	87	25	162	56,1	5,3	31,4	0,7	158,8	93,6	17,4	2,3		
24.10.83	297	30	6	10,6	294	8,1	86	170	158	53,3	6,1	37,8	0,7	146,4	7	0,9	0,8		
31.10.83	304	31	8	10,4	293	7,6	86	170	156	51,7	6,6	40,3	0,5	136,8	5,9	1	1,4		
07.11.83	311	32	10	10,3	306	8,1	85	180	164	52,5	8	39,5	0,7	141,5	6,3	1,1	1,1		
14.11.83	318	33	8	9,5	316	8	85	250	166	53,7	7,8	50,1	0,7	144	3,1	0,7	1,9		
21.11.83	325	34	3	7,4	320	8,1	85	220	202	66,5	8,8	40,4	0,7	141,5	4,1	0,9	2		
28.11.83	332	35	11	9,1	292	7,9	109	19	191	66,1	6,3	26,6	0,5	151,3	258,3	18,5	5,8		
05.12.83	339	38	-5	4,2	342	8,1	89	115	227	75,8	9,2	30	0,8	174,5	10,3	1,7	0,7		
19.12.83	353	37	6	5,9	343	7,9	78	150	209	70,1	8,3	34,5	0,8	152,5	9	1,1	0,3		
26.12.83	360	38	7	6,7	330	7,7	86	43	211	73,4	6,8	25,3	0,6	173,2	29,5	2,2	0,8		
02.01.84	367	39	2	5,8	349	7,8	77	165	176	59,7	6,6	34,5	0,4	170,8	5,9	0,6	0,7		

Figure 5 - Données relatives à la qualité physico-chimique des eaux du Rhône à Saint Benoit (département de l'Ain), enregistrées au cours de 39 dates. Les numéros indiqués après les dates correspondent aux nombres de jours les séparant du 1er janvier 1983.

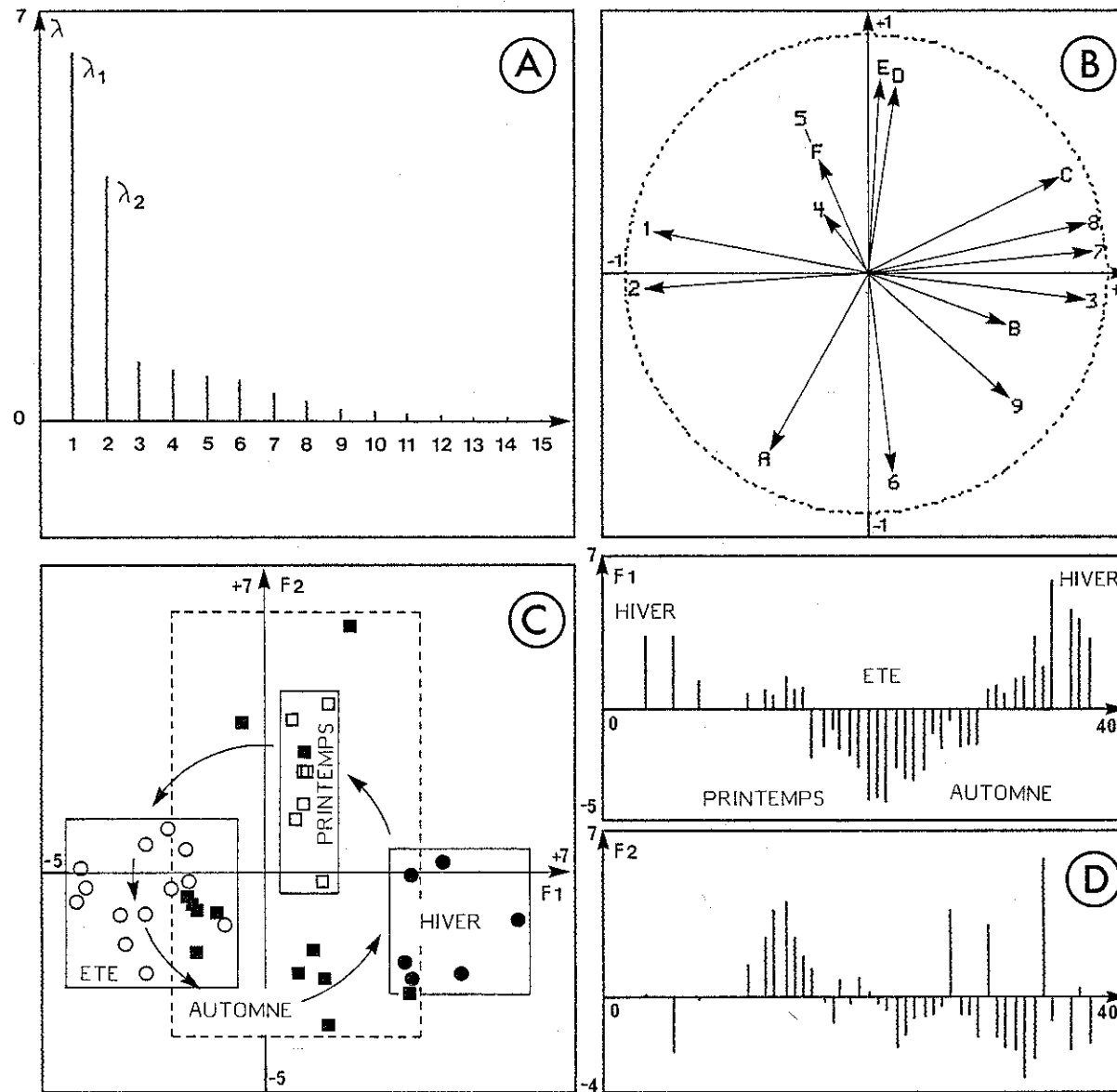


Figure 6 - Approche graphique classique du dépouillement d'une A.C.P.

A- Répartition de l'inertie entre les axes (graphes des valeurs propres) : on notera l'importance des deux premiers axes. **B-** Cercle de corrélation des variables (F1 x F2). Chaque variable est repérée par ses coefficients de corrélation avec les deux premières coordonnées factorielles. **C-** Carte factorielle des individus (F1 x F2). Les différents symboles distinguent les prélèvements appartenant aux quatre saisons. On remarquera la dispersion des échantillons automnaux et la similarité de certains d'entre eux avec les autres groupes saisonniers. **D -** Représentation des deux premières coordonnées factorielles des individus en fonction du temps.

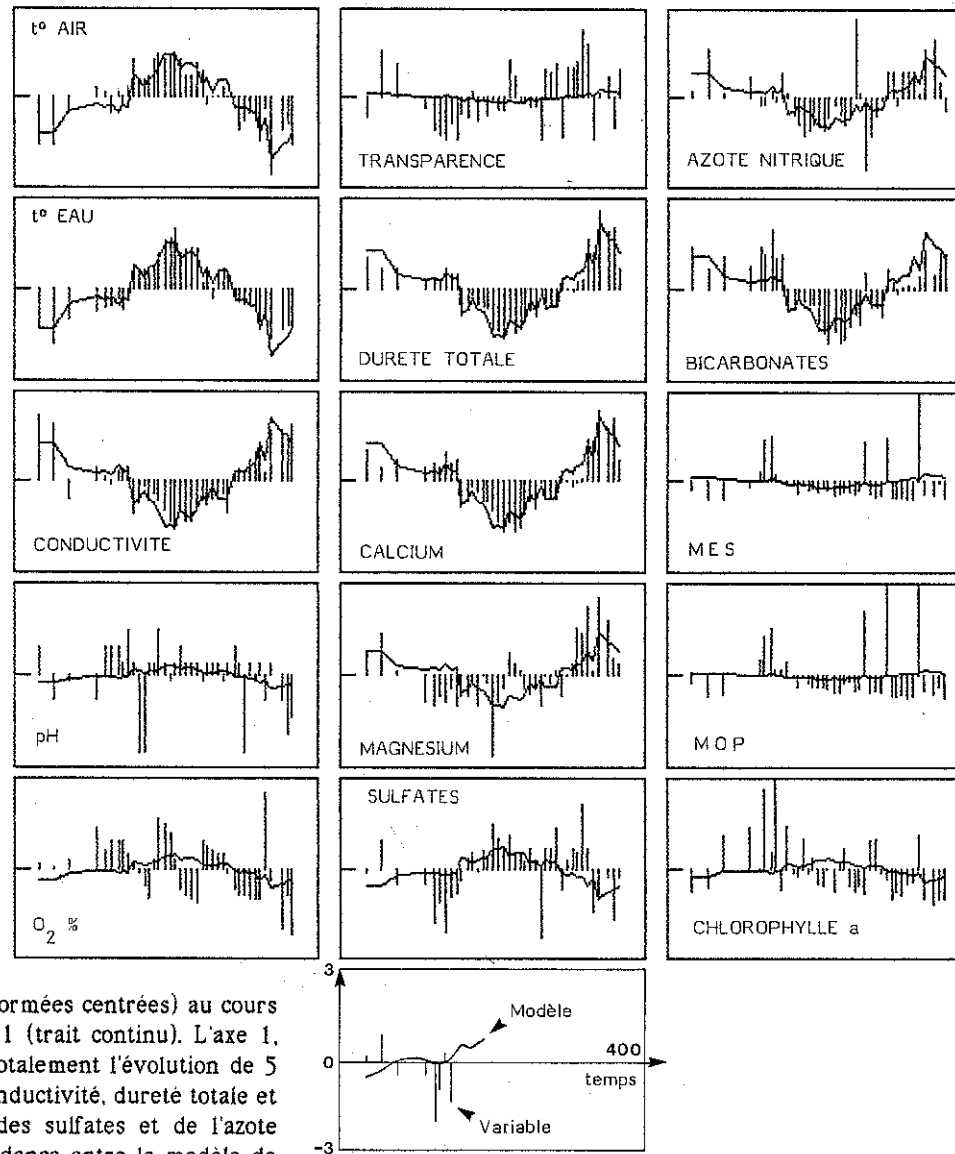


Figure 7 - Evolution des 15 variables (valeurs normées centrées) au cours du temps et superposition du modèle de rang 1 (trait continu). L'axe 1, représentatif d'un facteur saisonnier, explique totalement l'évolution de 5 paramètres : températures de l'air et de l'eau, conductivité, dureté totale et calcium, partiellement celle des bicarbonates, des sulfates et de l'azote nitrique. On signalera l'absence totale de concordance entre le modèle de reconstitution et certaines variables (MES, MOP, transparence).

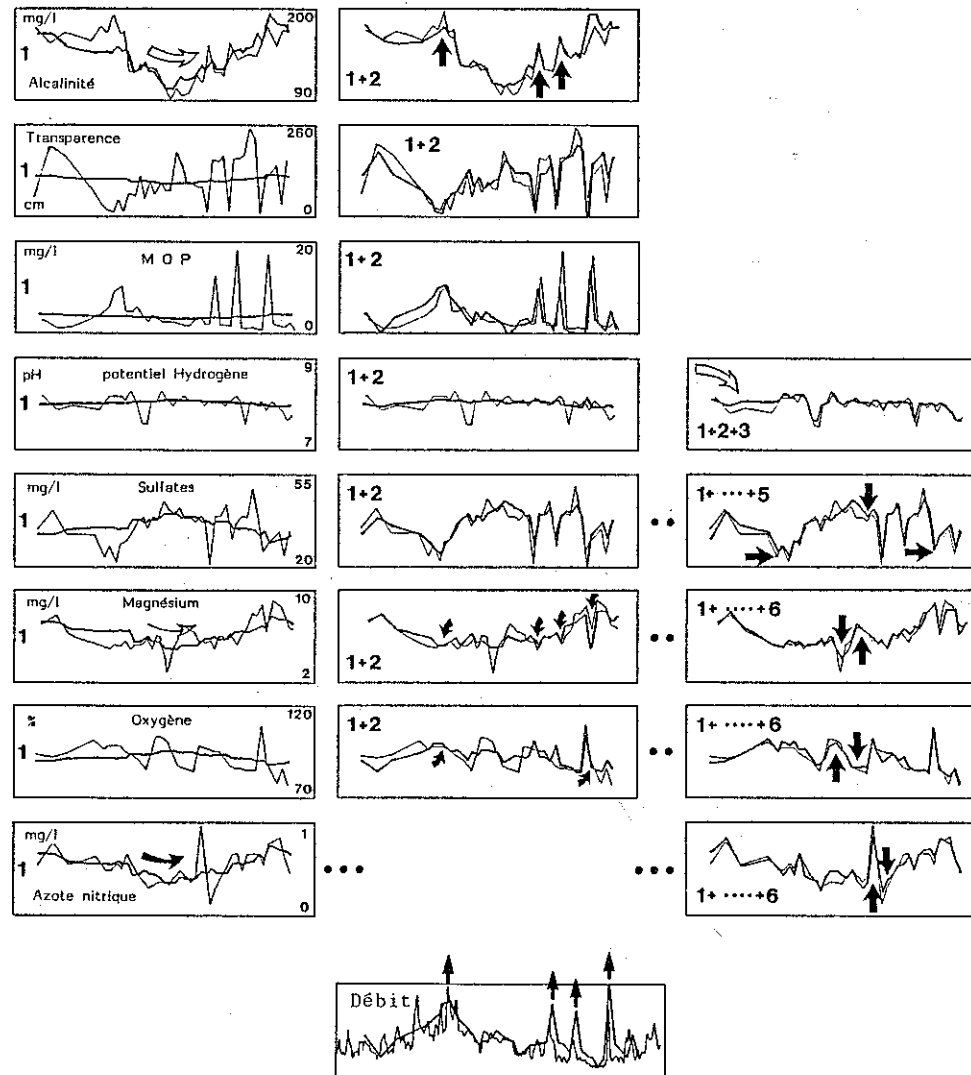


Figure 8 - La reconstitution successive par les axes factoriels est appliquée aux variables non ou partiellement expliquées par le modèle de rang 1 (figure 7). En trait fin : la variable, en trait gras : les modèles successifs.

ANNEXE II

Nous donnons ci-dessous les travaux permettant d'aider une personne confrontée aux problèmes de détermination des alevins. Ils concernent les espèces trouvées dans le Haut-Rhône français.

Ils se rapportent à l'espèce indiquée sauf si aucun travail la concernant n'a été trouvé. Dans ce cas, nous renvoyons à la famille ou au genre. Les références en **gras** concernent des travaux consacrés à la description du développement de l'espèce.

SALMONIDAE

- Truite fario** DORIER, 1925
(*Salmo trutta*)
Truite arc en ciel DORIER, 1925
(*Salmo gairdneri*)

THYMALLIDAE

- Ombre commun** PENAZ, 1975
(*Thymallus thymallus*)

ESOCIDAE

- Brochet** WURTZ, 1944
(*Esox lucius*) GIHR, 1957
KOBELTSKAIA, 1981

CYPRINIDAE

- Gardon** STANKOVITCH, 1921
(*Rutilus rutilus*) KRYZHANOVSKY, 1949
CERNY, 1980
KOBELTSKAIA, 1981
- Vandoise** WURTZ-ARLET, 1950
(*Leuciscus leuciscus*) KOBELTSKAIA, 1981
- Chevaine** STANKOVITCH, 1921
(*Leuciscus cephalus*) KRYZHANOVSKY, 1949
PENAZ, 1968
CERNY, 1977

- Blageon**
(*Leuciscus souffia*)
Vairon
(*Phoxinus phoxinus*)

- Rotengle**
(*Scardinius erythrophthalmus*)

- Tanche**
(*Tinca tinca*)

- Hotu**
(*Chondrostoma nasus*)

- Toxostome**
(*Chondrostoma toxostoma*)

- Goujon**
(*Gobio gobio*)

- Barbeau**
(*Barbus barbus*)

- Ablète**
(*Alburnus alburnus*)

- Spirlin**
(*Alburnoides bipunctatus*)

- PROKES & PENAZ, 1980**
KOBELTSKAIA, 1981

- STANKOVITCH, 1921

- STANKOVITCH, 1921
KRYZHANOVSKY, 1949
KOBELTSKAIA, 1981

- STANKOVITCH, 1921
KRYZHANOVSKY, 1949
CERNY, 1977
KOBELTSKAIA, 1981
FUIMAN et al., 1983

- STANKOVITCH, 1921
KRYZHANOVSKY, 1949
PENAZ et al., 1980
KOBELTSKAIA, 1981
FUIMAN et al., 1983

- PENAZ, 1974**
KOBELTSKAIA, 1981

- (?) cf. genre
KRYZHANOVSKY, 1949
KOBELTSKAIA, 1981

- STANKOVITCH, 1921
KRYZHANOVSKY, 1949
PENAZ & PROKES, 1978
PENAZ & PROKES, 1979
KOBELTSKAIA, 1981

- STANKOVITCH, 1921
PENAZ, 1973
KOBELTSKAIA, 1981

- STANKOVITCH, 1921
KRYZHANOVSKY, 1949
KOBELTSKAIA, 1981

- STANKOVITCH, 1921
PENAZ, 1974

Brème bordelière
(Blicca bjoerkna)

Brème commune
(Abramis brama)

Bouvière
(Rhodeus sericeus)

Carassin
(Carassius carassius)

Carassin doré
(Carassius auratus)

Carpe
(Cyprinus carpio)

KOBLITSKAIA, 1981

KOBLITSKAIA, 1981

STANKOVITCH, 1921
KRYZHANOVSKY, 1949
PENAZ & GAJDUSEK, 1979
KOBLITSKAIA, 1981

KRYZHANOVSKY, 1949
KOBLITSKAIA, 1981
FUIMAN et al., 1983

KRYZHANOVSKY, 1949
KOBLITSKAIA, 1981

STANKOVITCH, 1921
WANG & KERNEHAN, 1979
KOBLITSKAIA, 1981
FUIMAN et al., 1983

STANKOVITCH, 1921
KRYZHANOVSKY, 1949
WANG & KERNEHAN, 1979
KOBLITSKAIA, 1981
PENAZ et al., 1983
FUIMAN et al., 1983

COBITIDAE

Loche france
(Noemacheilus barbatulus)

Loche de rivière
(Cobitis taenia)

Loche d'étang
(Misgurnus fossilis)

STANKOVITCH, 1921
KRYZHANOVSKY, 1949
KOBLITSKAIA, 1981

KRYZHANOVSKY, 1949
KOBLITSKAIA, 1981

KRYZHANOVSKY, 1949
KOBLITSKAIA, 1981

SILURIDAE

Silure glane
(Silurus glanis)

KRYZHANOVSKY, 1949
KOBLITSKAIA, 1981

ICTALURIDAE

Poisson chat
(Ictalurus melas)

WANG & KERNAHEN, 1979

GADIDAE

Lote
(Lota lota)

KOBLITSKAIA, 1981
SNYDER, 1979

GASTEROSTEIDAE

Epinoche
(Gasterosteus aculeatus)

WANG & KERNAHEN, 1979

PERCIDAE

Perche commune
(Perca fluviatilis)

STANKOVITCH, 1921
ARLET, 1945
KRYZHANOVSKY et al., 1953
KOBLITSKAIA, 1981

Sandre
(Lucioperca lucioperca)

KRYZHANOVSKY et al., 1953
KOBLITSKAIA, 1981

Gremille
(Gymnocephalus cernua)

KRYZHANOVSKY et al., 1953
KOBLITSKAIA, 1981

Apron
(Aspro asper)

LEGER & STANKOVITCH, 1921

CENTRARCHIDAE

Blackbass
(Micropterus salmoides)

WANG & KERNEHAN, 1979
CONNER, 1979

Perche soleil
(Lepomis gibbosus)

WANG & KERNAHEN, 1979
CONNER, 1979

BLENNIIDAE

Blennie*(Blennius fluviatilis)*

(?) cf. famille

WANG & KERNEHAN, 1979

COTTIDAE

Chabot*(Cottus gobio)*

DORIER, 1942

ANNEXE III

Liste non exhaustive de travaux consacrés principalement aux techniques d'échantillonnage des larves de poissons d'eaux douces.

ARTICLES GENERAUX :

BAGENAL & BRAUM (1978)

SNYDER (1983)

ARTICLES RELATIFS A UNE OU DEUX METHODES**CAPTURES A L'AIDE DE NASSES OU DE TRAPPES :**

BREDER (1960)

KUSHLAN (1974)

PENAZ (1976)

ASSIE & LASSERRE (1977)

FABER (1981)

HAMMER (1983)

CAPTURES A L'AIDE DE FILETS :

(méthodes proches de celles utilisées pour l'étude de la dérive des invertébrés)

COOPER (1977)

GALE & MOHR (1978)

HODSON et al. (1981)

CAPTURES PAR POMPAGE :

GALE & MOHR (1978)

TABLEAUX

Tableau V - Résultats physico-chimiques : station PU (puits - hameau de la Saugé).

DATE	DEBIT	T°eau	µS	pH	O2 %	HCO3-	CaCO3	Ca++	Mg++	SO4=	N, NO3
60983	579	15,5	680	7,3	19	500,2	310	124,2	26,7	25,6	2,7
120983	619	15,2	553			357,5	322	98,6	18,5	22,4	6
190983	698	15,6	457	8		252,5	241	81,8	9	20,7	8,4
260983	313	15,7	500			295,2	266	86,9	11,9	21,8	7,5
31083	267	15,5	580	7,4		375,8	332	105	17	26,5	5,4
101083	278		652			447,7	377	115,4	21,6	23,9	5,1
181083	652	13,8	385	7,9	87	207,4	197	69,3	5,8	22,4	6,6
241083	298	12,8	489			267,2	269	85,4	13,6	26,1	5,7
311083	288	12,2	500	7,4	62	308,7	276	89,4	12,9	26,5	5,1
71183	191	12,4	535			319,6	288	89,8	15,6	27,1	5,7
141183	183	11,5	565	7,6	38	330,6	292	92,6	14,8	27,4	4,5
211183	183	9,7	563			337,9	359	115,4	17,3	25,7	4,8
281183	1169	10,6	500	7,4	63	278,2	316	104,2	13,6	26,1	4,8
51283	291	8,3	531			306,2	341	111,8	15,1	27,4	4,2
121283	299	8,4	546	7,6	60	323,3	351	115,4	15,3	26,6	5,1
191283	294	8,4	547	7,9	82	268,4	297	102,2	10,2	22,4	5,1
261283	551	7,9	420	7,7	84	207,4	247	87,8	6,8	18,5	4,5
20184	251	8,1	576	7,7	71	324,5	285	93,8	12,4	23,5	5,4
180184	684	7,6	538	7,8	83	312,2	277	92,2	11,4	20,2	5,1
300184	468	6	349	7,5	94	185,4	166	60,5	3,7	10	3,9
Effectifs	20	19	20	13	11	20	20	20	20	20	20
Moyenne	428	11,3	523	7,6	67,5	310,3	290,5	96,1	13,7	23,5	5,3
Ecartype	248	3,3	79,6	0,2	22,7	75,4	52,4	16,1	5,3	4,1	1,2

Tableau VII - Les sulfates - Valeurs moyennes mensuelles, débits, flux :
 l'Arve à Genève, le Rhône à Chancy-Pougny et à Saint Benoît
 (données relatives à l'année de référence et l'année 1983).
 (Origine des données relatives à l'Arve et au Rhône suisse: Service
 d'Hydrobiologie et de Microbiologie des Denrées Alimentaires de
 l'Institut d'Hygiène à Genève et laboratoire des Eaux des Services
 Industriels de la ville de Genève).

	JANVIER	FEVRIER	MARS	AVRIL	MAI	JUIN	JUILLET	AOUT	SEPTEMBRE	OCTOBRE	NOVEMBRE	DECEMBRE
ARVE (1935-1983)												
DEBIT MOYEN MENSUEL	45,9	55,2	62,9	85,5	110	133	117	95,6	74	52,4	62,2	50,1
Sulfates en mg/l	60	54,1	50,3	42,4	36,8	33,1	35,5	39,8	45,9	55,7	50,6	57,1
Flux en T/mois	7377	7227	8474	9386	10837	11401	11135	10118	8808	7820	8160	7667
ARVE (1983)												
DEBIT MOYEN MENSUEL	45,1	42,3	53,5	113	150	144	130	70	89	46,5	48,2	55
Sulfates en mg/l	60,6	62,8	55,1	36,2	30,9	31,6	33,5	47,4	41,4	59,6	58,4	54,2
Flux en T/mois	7320	6428	7891	10612	12421	11806	11663	8882	9554	7419	7294	7988
CHANCY (1925-1983)												
DEBIT MOYEN MENSUEL	229	256	261	284	353	512	547	482	363	255	249	232
Sulfates en mg/l	47,6	47,1	47	46,6	45,4	42,6	42,1	43,1	45,2	47,1	47,2	47,6
Flux en T/mois	29202	29176	30678	34302	40026	56568	61601	55678	42511	32189	30489	29550
CHANCY (1983)												
DEBIT MOYEN MENSUEL	284	326	359	489	581	564	597	419	437	266	205	277
Sulfates en mg/l	46,6	45,8	45,3	43	41,5	41,8	41,2	44,2	43,9	46,9	48,1	46,7
Flux en T/mois	35445	36152	43512	54515	64566	61060	65931	49607	49718	33433	25537	34667
ST-BENOIT (1925-1983)												
DEBIT MOYEN MENSUEL	372	416	431	446	486	563	593	526	430	353	389	382
Sulfates en mg/l	38,6	37,9	37,6	37,4	36,7	35,1	35	36,1	37,6	39	38,4	38,5
Flux en T/mois	38459	38142	43405	43236	47772	53041	55590	50859	41907	36874	38718	39391
ST-BENOIT (1983)												
DEBIT MOYEN MENSUEL	451	470	562	816	980	657	627	446	525	343	310	452
Sulfates en mg/l	37,3	36,9	35,5	31,6	29,4	34	34,5	37,4	36,1	39,2	39,7	37,3
Flux en T/mois	45057	41956	53437	66836	77170	57900	57938	44677	49125	36013	31900	45157

Tableau VIII - Teneurs moyennes en sulfates des principaux affluents du Haut-Rhône.
 (données 1976 et 1981, Inventaire du degré de pollution des eaux superficielles, Agence de Bassin R.M.C.)

AFFLUENT	ARVE	VALSERINE	LES USSES	FIER	SAVIERES
Année	1981-82-83	1976	1976	1981	1976
Nbre dates	62	4	4	4	4
Minimum	22,3	11	30	3	18
Maximum	88,3	14	41	15	41
Moyenne	49	12,5	36,25	9,75	27
AFFLUENT	SERAN	FURANS	GUIERS	AIN	BOURBRE
Année	1976	1976	1976	1976	1981
Nbre dates	4	4	4	4	11
Minimum	4	13	4	4	19,5
Maximum	22	23	10	17	32
Moyenne	16	16,5	7,25	9,5	25,5

Tableau IX - Profils des températures en fonction de la profondeur et du temps dans la Morte du Sauget.

*	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
1*	4.2	10.2	12.5	15.4	14.0	18.7	23.2	23.5	30.2	32.1	23.0	28.0	25.6	18.5	21.5	13.9	9.5	7.2	9.1	0.9	5.2	3.2	3.5
2*	4.2	9.8	12.0	15.1	13.3	17.1	22.8	23.3	29.2	28.2	22.7	26.4	25.3	17.3	20.1	13.5	9.4	7.1	9.1	2.5	5.1	3.2	3.3
3*	4.3	9.0	12.0	14.9	12.3	16.6	22.5	23.0	27.4	28.0	22.4	24.2	22.7	15.7	18.8	13.4	9.1	7.0	9.1	3.7	5.2	3.3	3.2
4*	4.4	8.8	12.0	14.1	11.7	15.9	21.8	22.1	26.0	26.7	22.1	23.2	21.5	15.0	18.1	13.1	9.0	7.0	9.0	3.9	5.1	3.5	3.2
5*	4.6	8.6	11.7	13.3	11.3	15.4	21.3	21.4	25.0	25.8	21.7	22.6	21.0	14.6	17.7	12.8	8.8	7.0	9.0	3.9	5.0	3.5	3.6
6*	4.8	8.4	11.5	12.7	11.1	14.7	20.5	20.7	23.6	25.4	21.4	22.3	20.8	14.2	17.5	12.7	8.6	7.0	9.0	3.9	5.0	3.5	3.8
7*	5.1	8.4	11.2	11.8	10.9	13.9	19.9	20.0	22.5	24.9	21.2	22.0	20.7	14.1	17.3	12.6	8.5	7.0	9.1	4.1	5.1	3.6	4.0
8*	5.1	8.2	10.5	11.1	10.8	13.4	19.5	19.2	21.8	24.0	20.7	21.8	20.6	14.0	17.2	12.6	8.5	7.0	9.0	4.4	5.2	4.0	4.2

Tableau X - Profils de l'oxygénation des eaux (% de saturation) en fonction de la profondeur et du temps dans la Morte du Sauget.

*	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
1*	53	92	92	82	86	94	73	92	60	136	68	121	125	32	71	90	125	47	60	30	31	44	74
2*	54	90	90	76	91	87	68	84	60	153	60	82	132	26	66	87	125	46	61	25	29	43	66
3*	53	81	90	67	88	81	68	76	31	106	48	24	61	18	41	83	105	46	60	23	28	41	52
4*	53	72	89	41	87	78	72	36	33	75	29	14	33	11	27	63	76	46	59	23	27	38	50
5*	53	67	85	33	87	74	59	13	38	39	19	8	25	8	19	47	60	46	58	21	27	35	43
6*	53	62	79	21	94	55	36	6	26	0	6	8	27	11	13	42	53	46	59	18	26	33	31
7*	58	60	56	19	94	44	25	1	0	0	0	4	14	14	5	37	52	46	58	14	13	29	23
8*	58	55	30	5	92	65	7	0	0	0	0	1	5	19	0	35	52	45	57	7	6	20	18

Tableau XI - Profils de la conductivité en fonction de la profondeur et du temps dans la Morte du Sauget.

*	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
1*	540	373	344	241	280	327	426	412	418	413	347	320	296	402	408	391	405	440	322	489	448	518	320
2*	540	373	341	226	278	316	417	412	416	404	346	319	295	395	410	390	408	441	324	499	444	514	364
3*	540	373	341	214	275	315	420	412	416	393	345	319	303	392	404	390	409	443	325	511	453	522	440
4*	560	373	341	231	277	319	424	418	425	412	347	328	304	396	410	392	409	444	326	511	458	529	443
5*	560	370	342	240	278	320	421	434	439	416	350	331	305	402	412	393	410	445	328	512	458	532	453
6*	560	374	339	242	281	321	422	458	456	431	352	336	306	407	413	394	410	446	327	518	463	536	462
7*	594	378	344	256	281	324	425	494	500	461	354	340	307	410	417	394	410	447	328	523	511	540	473
8*	594	379	346	278	284	354	437	517	526	511	426	345	311	415	422	394	411	448	328	539	546	550	492

DATES D'ENREGISTREMENTS DES PROFILS VERTICAUX
MORTE DU SAUGET
 (cf. tableaux IX, X et XI)

NUMERO	JOUR	DATE
1	53	22.02.1983
2	73	14.03.1983
3	109	19.04.1983
4	123	03.05.1983
5	138	18.05.1983
6	151	31.05.1983
7	167	16.06.1983
8	179	28.06.1983
9	192	11.07.1983
10	207	26.07.1983
11	221	09.08.1983
12	235	23.08.1983
13	249	06.09.1983
14	262	19.09.1983
15	276	03.10.1983
16	291	18.10.1983
17	304	31.10.1983
18	318	14.11.1983
19	332	28.11.1983
20	353	19.12.1983
21	360	26.12.1983
22	367	02.01.1984
23	396	30.01.1984

Tableau XII- Valeurs des débits calculés pour une interprétation des résultats physico-chimiques obtenus dans la Morte du Sauget.

1	489	11	747	21	438	31	294
2	363	12	595	22	446	32	201
3	437	13	518	23	579	33	195
4	812	14	592	24	443	34	193
5	897	15	686	25	710	35	1157
6	1266	16	628	26	474	36	620
7	1436	17	620	27	329	37	317
8	953	18	599	28	308	38	640
9	936	19	475	29	418	39	473
10	733	20	389	30	380	39	473
40	643						

LEGENDE DU TABLEAU XIII

Résultats physico-chimiques des stations RH, CH et SA
Tableau utilisé pour l'analyse des données

Légende des lignes (DATES)

RH	CH	SA	DATES	RH	CH	SA	DATES
1	40	79	02.02.83	21	60	99	23.08.83
2	41	80	22.02.83	22	61	100	30.08.83
3	42	81	14.03.83	23	62	101	06.09.83
4	43	82	19.04.83	24	63	102	12.09.83
5	44	83	03.05.83	25	64	103	19.09.83
6	45	84	09.05.83	26	65	104	26.09.83
7	46	85	18.05.83	27	66	105	03.10.83
8	47	86	24.05.83	28	67	106	10.10.83
9	48	87	31.05.83	29	68	107	18.10.83
10	49	88	07.06.83	30	69	108	24.10.83
11	50	89	16.06.83	31	70	109	31.10.83
12	51	90	22.06.83	32	71	110	07.11.83
13	52	91	28.06.83	33	72	111	14.11.83
14	53	92	05.07.83	34	73	112	21.11.83
15	54	93	11.07.83	35	74	113	28.11.83
16	55	94	19.07.83	36	75	114	05.12.83
17	56	95	26.07.83	37	76	115	19.12.83
18	57	96	01.08.83	38	77	116	26.12.83
19	58	97	09.08.83	39	78	117	02.01.84
20	59	98	16.08.83				

Légende des colonnes (variables)

1	température de l'air en °C
2	température de l'eau en °C
3	conductivité en μS
4	pH
5	oxygène en pourcentage de saturation
6	transparence en cm
7	dureté totale en mg/l de CaCO_3
8	dureté calcique en mg/l de Ca^{++}
9	dureté magnésienne en mg/l de Mg^{++}
10	sulfates en mg/l de SO_4^{-}
11	azote nitrique en mg/l de N.NO_3^{-}
12	bicarbonates en mg/l de HCO_3^{-}
13	matières en suspension en mg/l
14	matière organique particulaire en mg/l
15	chlorophylle a en μS

* 1	2.00	5.90	359.00	8.20	93.00	67.00	186.00	62.90	7.10	35.00	0.55	176.90	17.20	2.60	1.40	79*	2.00	5.90	359.00	8.20	92.00	67.00	186.00	62.90	7.10	35.00	0.55	176.90	17.20	2.60	1.40	80*	2.00	5.90	359.00	8.20	92.00	67.00	186.00	62.90	7.10	35.00	0.55	176.90	17.20	2.60	1.40	81*	10.00	7.50	260.00	8.00	94.00	103.00	176.00	60.10	6.20	32.90	0.78	158.60	3.70	0.90	1.60	82*	16.00	9.10	298.00	7.90	101.00	85.00	165.00	57.70	5.10	32.90	0.54	169.60	4.40	1.20	5.70	83*	15.00	9.60	287.00	8.20	96.00	40.00	167.00	58.90	4.90	24.40	0.63	161.00	22.00	3.70	6.20	84*	10.00	10.10	277.00	8.20	98.00	28.00	165.00	57.30	5.20	32.60	0.48	170.80	92.40	8.80	9.20	85*	15.00	11.40	292.00	8.20	98.00	32.00	176.00	62.10	5.10	22.50	0.55	191.50	98.00	9.80	4.40	86*	12.00	9.50	295.00	8.10	98.00	25.00	170.00	58.90	5.60	29.80	0.50	168.40	40.00	4.40	10.60	87*	16.00	11.00	299.00	8.30	95.00	22.00	170.00	60.10	4.90	30.70	0.65	170.80	29.20	4.40	1.50	88*	23.00	16.30	243.00	8.10	93.00	73.00	135.00	45.30	5.30	33.50	0.54	126.90	26.60	5.40	6.40	89*	15.00	9.60	287.00	8.20	96.00	40.00	167.00	58.90	4.90	24.40	0.48	170.80	92.40	8.80	9.20	90*	18.00	16.50	276.00	7.60	88.00	120.00	152.00	51.20	5.80	39.50	0.36	134.20	11.80	2.20	2.50	91*	19.00	16.20	263.00	8.10	85.00	58.00	144.00	49.70	4.90	35.40	0.30	130.50	25.20	3.60	5.30	92*	23.00	17.20	266.00	8.10	94.00	104.00	142.00	46.90	6.10	39.90	0.33	128.10	16.00	2.70	2.70	93*	24.00	19.50	258.00	8.30	103.00	71.00	141.00	46.90	5.80	38.50	0.36	126.90	20.20	2.20	3.90	94*	23.00	22.00	248.00	8.10	92.00	100.00	122.00	44.10	2.90	45.60	0.35	112.20	13.80	3.20	1.90	95*	24.00	22.20	224.00	8.00	100.00	80.00	121.00	40.10	5.10	42.50	0.33	102.50	20.00	2.10	1.70	96*	24.00	24.00	225.00	8.10	94.00	81.00	116.00	37.20	5.60	40.90	0.41	95.20	15.90	1.80	3.10	97*	23.00	19.60	247.00	8.20	87.00	185.00	130.00	40.50	7.00	43.10	0.48	104.90	7.80	1.40	1.40	98*	19.00	20.20	232.00	8.10	86.00	150.00	120.00	37.20	6.60	39.00	0.42	95.20	11.50	1.50	3.60	99*	19.00	20.40	234.00	8.10	85.00	100.00	122.00	38.50	6.30	39.40	0.36	98.80	14.10	2.70	4.70	100*	22.00	20.60	249.00	8.10	84.00	98.00	130.00	42.90	5.60	37.70	0.42	109.80	14.20	5.00	1.80	101*	20.00	14.20	258.00	8.00	98.00	90.00	139.00	46.90	5.40	40.20	0.96	119.60	12.70	1.70	1.30	102*	12.00	16.50	253.00	8.10	97.00	90.00	134.00	44.50	5.60	37.90	0.54	111.00	18.40	2.00	1.70	103*	14.00	11.40	261.00	8.10	96.00	21.00	151.00	52.50	4.90	21.20	0.12	155.00	89.40	11.90	1.20	104*	14.00	16.60	266.00	8.10	95.00	167.00	145.00	48.10	6.10	40.30	0.30	125.70	10.20	1.50	5.20	105*	16.00	16.70	268.00	8.00	95.00	160.00	144.00	48.10	5.80	40.30	0.42	125.70	6.80	1.60	5.30	106*	14.00	15.40	245.00	8.10	91.00	176.00	144.00	47.30	6.30	44.70	0.51	117.10	8.60	1.20	2.80	107*	14.00	11.50	289.00	8.20	87.00	25.00	162.00	56.10	5.30	31.40	0.66	158.60	93.60	17.40	2.30	108*	6.00	10.60	294.00	8.10	86.00	170.00	158.00	53.30	6.10	37.80	0.66	146.40	7.00	0.90	0.80	109*	8.00	10.40	293.00	7.60	86.00	170.00	156.00	51.70	6.60	40.30	0.48	136.60	5.90	1.00	1.40	110*	10.00	10.20	306.00	8.10	85.00	180.00	164.00	52.50	8.00	39.50	0.66	141.50	6.20	1.10	1.10	111*	8.00	9.50	316.00	8.00	85.00	250.00	166.00	53.70	7.80	50.10	0.66	141.50	3.10	0.70	1.90	112*	3.00	7.40	320.00	8.10	85.00	220.00	202.00	66.50	8.80	40.40	0.66	141.50	4.10	0.90	2.60	113*	11.00	9.10	292.00	7.90	109.00	19.00	191.00	66.10	6.30	26.60	0.54	151.20	258.20	16.50	5.60	114*	5.00	4.20	342.00	8.10	89.00	115.00	227.00	70.10	9.20	30.00	0.78	174.50	10.30	1.70	0.70	115*	6.00	5.90	343.00	7.90	79.00	150.00	209.00	70.10	8.30	34.50	0.84	152.50	9.00	1.10	0.30	116*	7.00	6.70	330.00	7.70	86.00	143.00	211.00	73.40	6.80	25.30	0.60	173.20	29.50	2.20	0.80	117*	2.00	5.80	349.00	7.80	77.00	165.00	176.00	59.70	6.60	34.50	0.45	170.80	5.90	0.60	0.70
-----	------	------	--------	------	-------	-------	--------	-------	------	-------	------	--------	-------	------	------	-----	------	------	--------	------	-------	-------	--------	-------	------	-------	------	--------	-------	------	------	-----	------	------	--------	------	-------	-------	--------	-------	------	-------	------	--------	-------	------	------	-----	-------	------	--------	------	-------	--------	--------	-------	------	-------	------	--------	------	------	------	-----	-------	------	--------	------	--------	-------	--------	-------	------	-------	------	--------	------	------	------	-----	-------	------	--------	------	-------	-------	--------	-------	------	-------	------	--------	-------	------	------	-----	-------	-------	--------	------	-------	-------	--------	-------	------	-------	------	--------	-------	------	------	-----	-------	-------	--------	------	-------	-------	--------	-------	------	-------	------	--------	-------	------	------	-----	-------	------	--------	------	-------	-------	--------	-------	------	-------	------	--------	-------	------	-------	-----	-------	-------	--------	------	-------	-------	--------	-------	------	-------	------	--------	-------	------	------	-----	-------	-------	--------	------	-------	-------	--------	-------	------	-------	------	--------	-------	------	------	-----	-------	------	--------	------	-------	-------	--------	-------	------	-------	------	--------	-------	------	------	-----	-------	-------	--------	------	-------	--------	--------	-------	------	-------	------	--------	-------	------	------	-----	-------	-------	--------	------	-------	-------	--------	-------	------	-------	------	--------	-------	------	------	-----	-------	-------	--------	------	-------	--------	--------	-------	------	-------	------	--------	-------	------	------	-----	-------	-------	--------	------	--------	-------	--------	-------	------	-------	------	--------	-------	------	------	-----	-------	-------	--------	------	-------	--------	--------	-------	------	-------	------	--------	-------	------	------	-----	-------	-------	--------	------	--------	-------	--------	-------	------	-------	------	--------	-------	------	------	-----	-------	-------	--------	------	-------	-------	--------	-------	------	-------	------	-------	-------	------	------	-----	-------	-------	--------	------	-------	--------	--------	-------	------	-------	------	--------	------	------	------	-----	-------	-------	--------	------	-------	--------	--------	-------	------	-------	------	-------	-------	------	------	-----	-------	-------	--------	------	-------	--------	--------	-------	------	-------	------	-------	-------	------	------	------	-------	-------	--------	------	-------	-------	--------	-------	------	-------	------	--------	-------	------	------	------	-------	-------	--------	------	-------	-------	--------	-------	------	-------	------	--------	-------	------	------	------	-------	-------	--------	------	-------	-------	--------	-------	------	-------	------	--------	-------	------	------	------	-------	-------	--------	------	-------	-------	--------	-------	------	-------	------	--------	-------	-------	------	------	-------	-------	--------	------	-------	--------	--------	-------	------	-------	------	--------	-------	------	------	------	-------	-------	--------	------	-------	--------	--------	-------	------	-------	------	--------	------	------	------	------	-------	-------	--------	------	-------	--------	--------	-------	------	-------	------	--------	------	------	------	------	-------	-------	--------	------	-------	-------	--------	-------	------	-------	------	--------	-------	-------	------	------	------	-------	--------	------	-------	--------	--------	-------	------	-------	------	--------	------	------	------	------	------	-------	--------	------	-------	--------	--------	-------	------	-------	------	--------	------	------	------	------	-------	-------	--------	------	-------	--------	--------	-------	------	-------	------	--------	------	------	------	------	------	------	--------	------	-------	--------	--------	-------	------	-------	------	--------	------	------	------	------	------	------	--------	------	-------	--------	--------	-------	------	-------	------	--------	------	------	------	------	-------	------	--------	------	--------	-------	--------	-------	------	-------	------	--------	--------	-------	------	------	------	------	--------	------	-------	--------	--------	-------	------	-------	------	--------	-------	------	------	------	------	------	--------	------	-------	--------	--------	-------	------	-------	------	--------	------	------	------	------	------	------	--------	------	-------	--------	--------	-------	------	-------	------	--------	-------	------	------	------	------	------	--------	------	-------	--------	--------	-------	------	-------	------	--------	------	------	------

Tableau XIII - Tableau général des données utilisé d'une part pour la représentation de la figure 66, d'autre part pour l'Analyse des données.

Les différences par rapport aux tableaux II, III et IV résident dans le fait qu'il a fallu, pour le traitement statistique, compléter les tableaux initiaux dans lesquels la valeur du pH n'était pas présente à toutes les dates. Les valeurs manquantes dans les tableaux utilisés pour l'A.C.P. ont été remplacées par pH = 8,1 dans le cas de la station RH (valeur communément enregistrée sur le Rhône dans le secteur de l'étude) et par les pH moyens obtenus à partir de la totalité des relevés pour les stations CH et SA, soit respectivement pH_{CH} = 7,9 et pH_{SA} = 7,5.

TABLEAU XIV - Etude de l'influence du formol 4% sur la longueur standard des larves de deux espèces (vandoise et hotu).

Légende des colonnes :

- 1 - taille de l'individu x au temps 0 (poisson anesthésié)
- 2 - taille de l'individu x après 12 heures de fixation
- 3 - taille de l'individu x après 36 heures de fixation
- 4 - taille de l'individu x après 108 heures de fixation
- 5 - taille de l'individu x après 1 mois de fixation.

FICHER: hotu

*	1	2	3	4	5
1*	9.36	9.36	9.36	9.20	9.25
2*	10.92	10.60	10.50	10.40	10.50
3*	10.92	10.40	10.40	10.40	10.29
4*	10.92	10.92	11.02	11.02	10.71
5*	10.92	10.92	10.81	10.92	10.81
6*	11.02	11.02	10.92	10.92	10.60
7*	11.02	10.92	10.92	10.92	10.92
8*	11.12	11.12	10.92	10.40	10.92
9*	11.33	11.54	11.54	11.44	11.33
10*	11.33	11.23	11.23	10.92	10.92
11*	11.33	11.23	11.23	11.12	11.02
12*	11.44	11.64	11.64	11.44	11.44
13*	11.44	11.44	11.44	11.33	11.23
14*	11.44	11.33	11.33	11.02	11.02
15*	11.64	11.85	11.64	11.64	11.54
16*	11.75	11.75	11.75	11.75	11.23
17*	11.75	11.96	12.06	11.85	11.75
18*	11.75	11.54	11.75	11.33	11.44
19*	11.75	11.44	11.44	11.54	11.44
20*	11.85	11.85	11.85	11.75	11.64
21*	11.85	11.64	11.64	11.44	11.33
22*	11.85	11.33	11.33	11.07	11.23
23*	11.96	11.75	11.85	11.64	11.54
24*	11.96	11.64	11.75	11.44	11.44
25*	11.96	11.54	11.54	11.75	11.64
26*	12.06	11.54	11.54	11.54	11.44
27*	12.06	12.16	12.16	11.85	11.96
28*	12.16	11.64	11.64	11.33	11.64
29*	12.16	11.75	11.75	11.44	11.64
30*	12.27	11.96	11.96	11.85	11.75
31*	12.27	12.37	12.27	12.06	12.06
32*	12.37	12.27	12.27	11.96	11.96
33*	12.37	12.27	12.16	12.06	11.96
34*	12.37	11.85	11.96	11.85	11.85
35*	12.37	12.06	12.06	12.06	12.16
36*	12.48	12.27	12.48	12.16	12.16
37*	12.48	12.06	12.06	11.96	11.96
38*	12.48	12.16	12.16	11.85	11.96
39*	12.48	12.06	12.16	12.06	12.06
40*	12.48	12.48	12.48	12.32	12.37
41*	12.48	12.58	12.37	12.27	12.37
42*	12.58	12.37	12.27	12.06	12.06
43*	12.68	12.79	12.68	12.48	12.48
44*	12.68	12.37	12.58	12.48	12.37
45*	12.68	12.16	12.37	12.06	12.06
46*	12.68	12.27	12.37	12.16	12.06
47*	12.68	12.27	12.27	12.11	12.27
48*	12.79	12.79	12.89	12.48	12.37
49*	12.79	12.79	12.68	12.79	12.58
50*	12.89	12.58	12.58	12.37	12.27

FICHER: vand

*	1	2	3	4	5
51*	13.00	12.89	12.79	12.48	12.58
52*	13.00	12.79	12.89	12.68	12.68
53*	13.00	12.89	12.79	12.68	12.58
54*	13.00	12.79	12.79	12.58	12.48
55*	13.10	12.58	12.89	12.68	12.68
56*	13.10	12.89	12.89	12.79	12.68
57*	13.10	12.58	12.68	12.48	12.48
58*	13.31	13.31	13.10	12.89	12.89
59*	13.31	13.31	13.10	13.05	13.00
60*	13.31	13.10	12.68	12.79	12.79
61*	13.41	13.31	13.41	13.31	13.31
62*	13.41	13.10	13.00	13.00	12.79
63*	13.51	13.10	12.89	13.00	12.79
64*	13.51	13.20	13.00	12.89	13.00
65*	13.51	13.31	13.31	13.10	13.00
66*	13.51	13.41	13.31	13.00	13.10
67*	13.51	13.20	13.20	13.10	13.20
68*	13.62	13.20	13.51	13.31	13.20
69*	13.72	13.31	13.20	13.15	13.00
70*	13.72	13.51	13.41	13.31	13.31
71*	13.72	13.20	13.20	13.10	13.10
72*	13.72	13.31	13.41	13.20	13.10
73*	13.83	13.51	13.62	13.31	13.41
74*	13.83	13.31	13.41	13.31	13.31
75*	13.93	13.72	13.51	13.51	13.31
76*	13.93	13.51	13.72	13.51	13.51
77*	13.93	13.72	13.62	13.41	13.51
78*	14.03	13.83	13.83	13.62	13.62
79*	14.03	13.72	13.72	13.51	13.51
80*	14.14	14.24	14.24	14.14	14.24
81*	14.14	14.24	13.83	13.72	13.83
82*	14.35	14.35	14.35	14.35	14.24
83*	14.35	14.45	14.24	14.03	14.03
84*	14.55	14.14	14.24	14.14	14.03
85*	14.76	14.35	14.35	14.35	14.35
86*	14.87	14.45	14.55	14.45	14.35
87*	14.97	14.45	14.87	14.35	14.55
88*	15.07	14.76	14.76	14.66	14.55

*	1	2	3	4	5
51*	11.96	12.16	12.16	12.16	12.16
52*	11.96	11.44	11.44	11.44	11.44
53*	11.96	11.75	11.96	11.64	11.54
54*	11.96	11.64	11.64	11.44	11.44
55*	11.96	11.54	11.75	11.54	11.54
56*	11.96	11.85	11.85	11.54	11.54
57*	11.96	11.75	11.85	11.64	11.64
58*	11.96	11.64	11.44	11.44	11.54
59*	12.06	11.54	11.70	11.54	11.64
60*	12.06	11.85	11.96	12.06	11.96
61*	12.06	11.64	11.96	11.64	11.70
62*	12.06	11.64	11.75	11.54	11.64
63*	12.06	11.75	11.96	11.75	11.75
64*	12.06	11.36	12.16	11.85	11.85
65*	12.16	12.16	12.16	12.06	11.96
66*	12.16	11.96	11.64	11.75	11.75
67*	12.16	12.06	11.85	11.75	11.75
68*	12.16	11.96	11.96	11.85	11.96
69*	12.16	12.06	12.06	11.85	11.85
70*	12.27	12.16	11.96	11.96	11.96
71*	12.27	12.06	12.27	11.96	12.06
72*	12.27	12.16	12.06	11.96	11.85
73*	12.37	11.75	11.85	11.75	11.75
74*	12.48	12.37	12.16	12.16	12.06
75*	12.48	12.06	12.06	11.85	11.96
76*	12.48	12.16	12.06	11.85	12.06
77*	12.48	11.75	12.16	11.75	12.06
78*	12.48	12.58	12.48	12.37	12.16
79*	12.48	12.27	12.16	12.27	12.16
80*	12.48	12.48	12.48	12.16	12.16
81*	12.48	12.27	12.37	12.27	12.16
82*	12.58	12.37	12.06	12.48	12.27
83*	12.58	12.58	12.27	12.37	12.48
84*	12.58	12.48	12.58	12.37	12.16
85*	12.58	12.48	12.58	12.37	12.27
86*	12.58	11.96	12.16	11.96	11.96
87*	12.68	12.37	12.37	12.37	12.37
88*	12.68	12.58	12.48	12.48	12.27
89*	12.68	12.37	12.27	12.16	12.27
90*	12.68	12.06	12.16	12.06	11.96
91*	12.68	12.37	12.37	12.16	12.37
92*	12.68	12.37	12.27	12.16	12.27
93*	12.68	12.06	12.16	12.06	12.16
94*	12.79	12.48	12.48	12.37	12.27
95*	12.89	12.27	12.58	12.48	12.48
96*	12.89	12.58	12.58	12.68	12.68
97*	12.89	12.37	11.54	11.44	12.06
98*	13.00	12.79	12.79	12.58	12.58
99*	13.10	12.89	12.89	12.89	12.79
100*	13.10	12.89	12.89	12.89	12.79

101*	13.10	13.00	13.10	12.58	12.89
102*	13.20	13.10	13.10	13.00	13.00
103*	13.41	13.20	13.31	13.31	13.10
104*	13.41	12.58	12.27	12.27	12.27
105*	13.51	13.31	13.20	13.00	13.00
106*	13.51	13.31	13.20	13.00	13.00
107*	13.62	13.41	13.20	13.00	13.10
108*	13.62	13.31	13.51	13.31	13.20
109*	13.83	13.31	13.31	13.31	13.20
110*	14.24	14.35	14.24	14.24	14.03
111*	14.35	14.35	14.24	14.14	14.14
112*	14.55	14.55	14.45	14.24	14.24

TABLEAU XV
 RESULTATS DES PECHEES
 Morte du Sauget - 1983

Légende :

Numéro	Espèce	
1	Rotengle	- <i>Scardinius erythrophthalmus</i>
2	Perche-soleil	- <i>Lepomis gibbosus</i>
3	Brème bordelière	- <i>Blicca bjoerkna</i>
4	Chevaine	- <i>Leuciscus cephalus</i>
5	Gardon	- <i>Rutilus rutilus</i>
6	Vandoise	- <i>Leuciscus leuciscus</i>
7	Perche	- <i>Perca fluviatilis</i>
8	Brème commune	- <i>Abramis brama</i>
9	Tanche	- <i>Tinca tinca</i>
10	Poisson-chat	- <i>Ictalurus melas</i>

La deuxième colonne indique le N° du prélèvement.

MORTE DU SAUGET - RESULTATS DES PECHEES - 1983

DATES	N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
16.06.83	1	62										62
22.06.83	1	26										26
	2	50										50
	3				8	100						108
	4	106	71	6								183
28.06.83	1	17										17
	2	110	8									118
	3	20										20
	4	1				13	4	5				23
	5	36										36
	6	88										88
	7	197	20									217
05.07.83	1	104	45			11	4	23	3			190
	2	78	16									94
	3	48	2									50
	4	78										78
	5					6		29				35
	6	41										41
	7	16										16
11.07.83	1	43										43
	2	34	1									35
	3	107	1									108
	4	406	235									641
	5	25				13	4	4		1		47
19.07.83	1										526	526
	2	35	9									44
	3	16	5									21
	4	67	1									68
	5	10	33									43
	6	35										35
	7	4										4
	8	29										29
26.07.83	1	2	45									47
	2	103	30									133
	3	146	11									157
	4	88	3									91
	5	35	58									93
01.08.83	1	1	5									6
	2	6	37									43
	3	171	105									276
	4	43	6									49
09.08.83	1	2	2				2					6
	2	7	28									35
	3	17	1							1		19
	4										16	16
	5	47	63									110
	6	20	21									41
15.08.83	1	11	1									12
	2	12										12
	3	8										8
	4	44	15							1		60
	5	23	6				1					30
	6	17									2	19
22.08.83	1	45										45
	2	25	1							2		28
	3	12	1									13
	4	31	14									45
30.08.83	1	68	30				1			2		101
TOTAUX		2873	930	6	8	143	16	61	3	6	545	4591

Tableau XVII - Evolution de la croissance des rotengles de chaque cohorte au cours du temps.

	Degrés-jour	Cohorte A	Cohorte B	Cohorte C	Cohorte D
16.06.1983	0	8.5			
22.06.1983	117	10.5			
28.06.1983	240	11.5	7.5		
05.07.1983	382.5	14.0	10.5	6.5	
11.07.1983	514.5	18.5	11.5	9.0	
19.07.1983	701.5		15.5	11.5	
26.07.1983	877.0		18.5	14.5	10.5
01.08.1983	1033.0	26.0	21.5	17.5	12.0
09.08.1983	1208.5	28.5	24.5	19.5	12.5
15.08.1983	1335.0		25.5	21.5	15.5
22.08.1983	1490.0	32.5	27.5	24.5	
30.08.1983	1667.5		29.5	26.5	

Tableau XVIII - Distribution des effectifs par classes de taille des perches-soleil capturées dans la Morte du Sauget.

DATE	N°	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	TOTAUX	
22.06.83	4		6	52	13																											71	
28.06.83	2				3	5																										8	
	7	1	1	4	14																											20	
05.07.83	1		6	2		6	27	4																								45	
	2	1	6	3	3	2	1																									16	
	3			1	1																											2	
11.07.83	2				1																											1	
	3				1																											1	
	4		6	22	112	56	11	13	9.2	2.2																						235	
19.07.83	2					6	1	1																								9	
	3				1	1	3																									5	
	4				1	1																										1	
	5		2	6	4	13	6	2																								33	
26.07.83	1				1	4	2	3.1	4	17	7	5	1																			45	
	2						3	2	3	7	10	3	1	1																		30	
	3								5	2		1		2	1																	11	
	4								1	1					1																	3	
	5			6	15	5	7	11	9	4						1																58	
01.08.83	1									3				1																		5	
	2				1			2.5	9	14	6																					37	
	3			1	22	2	4.8	1.25	24	17	1																					105	
	4						1	1	3	1																						6	
09.08.83	1		NOMBRE DE JUVENILES												1		1													2			
	2								1	5	7	9		1	1	1	1						1	1								28	
	3								1	1																						1	
	5								1	5	10	12	9	9	4	6	5	2														63	
	6								2	2	5	3	3	1	2	3																21	
15.08.83	1														1																	1	
	4		LARVES												1	1		3	1	1	2	3	1							15			
	5										1	2		1	1		1															6	
22.08.83	2																															1	
	3																															1	
	4														5	2	1	2	1	2			1									14	
30.08.83	1														4	2					1	5	2	2	1	3	1	4	1		1	2	30
TOTAUX		2	25	87	185	96	84	72	79	92	59	36	17	17	18	13	11	9	5	4	3	4	1	6	1	0	1	2	0	0	1	930	

Tableau XIX - Evolution de la croissance des perches-soleil de chaque cohorte au cours du temps.

	Degrés-jour:	Cohorte A	Cohorte B	Cohorte C1	Cohorte C2	Cohorte D	Cohorte E
22.06.1983	1	7.5					
28.06.1983	123	8.5					
05.07.1983	265.5	10.5	6.5				
11.07.1983	397.5	11.5	8.5				
19.07.1983	584.5		10.5	8.5			
26.07.1983	760.0	19.0	13.5	10.5	9.5		
01.08.1983	916.0			13.5	11.5	8.5	
09.08.1983	1091.5	24.0	18.5	15.5	14.5		
15.08.1983	1218.0	27.5	21.5		17.5	14.5	
22.08.1983	1373.0		24.5	22.5	20.5	17.5	
30.08.1983	1550.5		31.5	27.5	25.5	21.5	15.5

TABLEAU XX
 RESULTATS DES PECHEES
 Lône des Chèvres - 1983

Légende :

Numéro

Espèce

1	Gardon	-	<i>Rutilus rutilus</i>
2	Ablette	-	<i>Alburnus alburnus</i>
3	Spirilin	-	<i>Alburnoides bipunctatus</i>
4	Chevaine	-	<i>Leuciscus cephalus</i>
5	Vandoise	-	<i>Leuciscus leuciscus</i>
6	Goujon	-	<i>Gobio gobio</i>
7	Hotu	-	<i>Chondrostoma nasus</i>
8	Brème commune	-	<i>Abramis brama</i>
9	Brème bordelière	-	<i>Blicca bjoerkna</i>
10	Blageon	-	<i>Leuciscus souffia</i>
11	Rotengle	-	<i>Scardinius erythrophthalmus</i>
12	Loche	-	<i>Noemacheilus barbatulus</i>
13	Vairon	-	<i>Phoxinus phoxinus</i>

Le nombre précédant la date correspond au N° du prélèvement.

Résultats des pêches - Lône des Chèvres - 1983

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	TOTAUX
1.070683					3									3
2	10													10
3	58				13		9							80
1.160683	28													28
2	127			1										128
1.050783	1			1										2
2	38	1	33	1	1		2							76
1.110783				28										28
2	20	6	1	8	1									36
3	50		1	2										53
4	1	4	3	25										33
5	12													12
6	117	60	14	182	3		3							379
7	132	14	42	40	4		1		1					234
1.190783		4	1	10			12						1	28
2	31	67	4	68										170
3	49	1	29	4	1									84
4	9		5	3										17
5	36	7	17	12									1	73
6	14	3	82											99
1.260783		28		19										47
2	2	3		5										10
3		4		11										15
4	77	6	26	9										118
5	39	9	7	24										79
6	10	5	1	25										41
7	114	144	8		1									267
1.010883	4	105	29											138
2	9				6									15
3	30	13	44		1									88
4	42	25	39		2									108
5	1	21	2											24
6	6	11												17
7	30	9	34	3	2									78
1.090883	34	172	9	1									1	217
2	18	2						4						24
3	37	25	3											65
4	16	66	20	1						1	1			105
1.160883	3		11	7		89								110
2	35	91	18	6	1								5	156
3	36	2	12	2	1									53
4	15	25	1	2	1					1				45
5	19	205	17	6	1									248
1.220883	1		5	1										7
2	11	12	7											30
3	15	7	22	8	2									54
4	9			2									1	12
5	10	15	1										1	27
1.300883	13		36	4									1	54
2	3		3											6
3			4											4
4	7		3	6	1								1	18
5	3			16									1	20
6	13			10						1				24
TOTAUX	1395	1172	594	553	45	101	15	4	2	2	1	1	12	3897

Tableau XXII - Distribution des effectifs par classes de taille de la totalite des alettes capturees dans la lône des Chevres.
Evolution de la croissance des alettes de chaque cohorte au cours du temps.

	Degrés-jour	Cohorte A	Cohorte B	Cohorte C	Cohorte D
11.07.1983	596.0	13.5	9.5		
19.07.1983	763.5		11.5		
26.07.1983	909.5	15.5	13.5	9.5	
01.08.1983	1045.5	17.5		12.5	
09.08.1983	1209.0		16.5	13.5	
16.08.1983	1349.0	22.5	17.5	15.5	
22.08.1983	1474.0	23.5		17.5	12.5

	COHORTE A	COHORTE B	COHORTE C
313.5	2	167.5	2
449.5	4	313.5	4
753	9	613	7
878	10	753	8

DATES	N°	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	TOTAUX	
05.07.83	2			1																			1
11.07.83	2			3		2		1															6
	4			1	2	1																	4
	6		14	28	12	4	1	1															60
	7		3	5	4		1	1															14
19.07.83	1	1		1	2																		4
	2			2	10	27	19	7	1	1													67
	3					1																	1
	5					1	5		1														7
	6						2	1															3
26.07.83	1		1	3	3	4	4	5	6	2													28
	2							1	1	1													3
	3		1					1	2														4
	4					1		1	2	2													6
	5			3	1	3	1			1													9
	6			1	1	1	1			1													5
	7				1	31	32	37	16	20	5			1		1							144
01.08.83	1			2	9	13	23	15	14	13	1	4+2	2+1	3	1+2								105
	3				1	7	2	1+1				1											13
	4	NOMBRE DE JUVENILES										1	1	1	7	9	3	2+1					25
	5				1		2	1	1	4	4	7	1										21
	6				1	2	4	3				1											11
	7				1	1	2	2	1			1			1								9
09.08.83	1				4	7	28	40	35	19	24	7	7										172
	2							1															2
	3			1		2	4	7	7	2	2												25
	4				1	3	13	20	19	3	4	1+1	1										66
16.08.83	2						3	3	17	28	12+8	4+4	2+2		4	1	1	2					91
	3											1	1										2
	4								1	1	6	6+2								1	4	4	25
	5				1	9	12	17	44	47+2	48	17+4	2	1+1									205
22.08.83	2										1	3	2	1					1	2	1		12
	3	LARVES										1		1	1	2							7
	5					2	1			1	3	2	3	2	1								15
TOTAUX		1	19	51	54	114	168	167	170	150	120	76	35	17	13	7	6	2	1	0	1		1172

Tableau XXIII - Distribution des effectifs par classes de taille de la totalité des spirilins capturés dans la lône des Chèvres.
Evolution de la croissance des spirilins de chaque cohorte au cours du temps.

DATES	N°	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	TOTAUX	
05.07.83	2		1	4	4	7	15	2																		33	
11.07.83	2		1																							1	
	3				1																					1	
	4		1	2																						3	
	6		3	8		1	1		1																	14	
	7		6	9	7	12	3		3	1	1															42	
19.07.83	1			1																						1	
	2			1	1	1	1																			4	
	3					8	13	1	3	1	1	2														29	
	4				2	2		1																		5	
	5			3	6	7								1												17	
	6			6	9	11	27	17	6	5	1															82	
26.07.83	4					3	5	8	4	1	5															26	
	5				3	2	1		1																	7	
	6					1																				1	
	7			1	1	1	1	1	1				1			1										8	
01.08.83	1		1	2	4	4	2	6	7		3															29	
	3			2	10	9	9	5	2	3	4															44	
	4				1	1	4	5	6	8	8	4			1		1									39	
	5					1		1																		2	
	7			1	1			1	3	3	11	6	3	2	1	2										34	
09.08.83	1					1	2	1	1	1			2		1											9	
	3									1		1		1												3	
	4				3	3	2		5	1	2	1		3												20	
16.08.83	1						1	1				2		1	1+1	3	1					1				11	
	2						1	3	3+1	3				1	3	1	1					1				18	
	3										2				2	1+3		1				1				12	
	4									1																1	
	5					1	1	3	3	3	1	2			1	1	1									17	
22.08.83	1					1															1	1				5	
	2							1									2	1		1	1	1				7	
	3						1	1				1	4	3		3	3	1		3	1		1			22	
	5									1																1	
30.08.83	1														2	5	6	4	6	6	3	1	3			36	
	2														1	1							1			3	
	3																						1	1		4	
	4																1	1				1				3	
TOTAUX			10	34	39	69	77	61	50	45	38	36	21	8	13	19	21	10	10	11	9	4	6	2	0	1	594

Dates	Degres-jour	Cohorte A	Cohorte B	Cohorte C	Cohorte D	Cohorte E	Cohorte F	Cohorte G
05.07.1983	468.5	13.5	10					
11.07.1983	596.0	14.5	11.5	9.5				
19.07.1983	763.5	17.0	14.5	12.5	11.5			
26.07.1983	909.5		17.5	14.5				
01.08.1983	1045.5		21.5	17.5	15.5	11.5	10	
09.08.1983	1209.0			20.5	17.5	15.5	12.5	
16.08.1983	1349.0	31.5	27.5	22.5	20.5	13.5	15.5	
22.08.1983	1474.0			28.5	25.5	22.5	18.5	14.5
30.08.1983	1617.0				28.5	24.5	22.5	

COHORTE A		COHORTE B		COHORTE C		COHORTE D		COHORTE E		COHORTE F	
127.5	1	127.5	1.5	167.5	3	282	4	163.5	4	163.5	2.5
295.5	3.5	295.5	4.5	313.5	5	445.5	6	303.5	7	303.5	5.5
880.5	18	441	7.5	449.5	8	585.5	9	428.5	11	428.5	8.5
		577	11.5	596	11	710.5	14	571.5	13	571.5	12.5
		881	17.5	753	13	853.5	17				
				878	19						

Tableau XXIV - Distribution des effectifs par classes de taille de la totalité des chevaines capturés dans la lône des Chèvres.
Evolution de la croissance des chevaines de chaque cohorte au cours du temps.

DATES	H*	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	TOTAUX	
16.06.83	2			1																								1	
05.07.83	1				1																							1	
	2			1																								1	
11.07.83	1		4	13	6	3	2																					28	
	2		2	5	1	1	1																					8	
	3			1			1																					2	
	4		7	15	1	1	1																					25	
	6	1	21	93	35	24	5	2																				182	
	7	1		16	6	11	4	1	1																			40	
19.07.83	1			1	1	6	1	1																				10	
	2				10	51	4	3																				68	
	3					2		2																				4	
	4				1	2		2																				3	
	5	1	1	2	2	2		2		1		1		2														12	
26.07.83	1		1	2	4	5	6	1																				19	
	2			1	2	1	1																					5	
	3			1	3	2	2	2	1																				11
	4			1	1	1	2	2	1	1																			9
	5		2	2	6	8	5	5	1																				24
	6			3	1	6	8	3	2	1	1																		25
01.08.83	7						1	1	1																			3	
09.08.83	1																											1	
	4																											1	
16.08.83	1									1						2	2		1	1								7	
	2									1		1			1	1			1	1								6	
	3																			1	1							2	
	4																		2	1								2	
	5																			1	1	1						6	
22.08.83	1																											1	
	3																											8	
	4																											2	
30.08.83	1																											4	
	4																											6	
	5															1	2	2	1	2	4	1	1	1				16	
	6																1	1	1	2								10	
TOTAUX		2	36	150	80	119	45	30	7	7	2	5	3	4	3	7	8	7	6	8	5	5	8	1	2	1	2	553	

Degres-jour	Cohorte A	Cohorte B	Cohorte C	Cohorte D	Cohorte E	Cohorte F
16.06.1983	150					
05.07.1983	468.5					
11.07.1983	596.0			11.5	9.5	7.5
19.07.1983	763.5	20.5	17.5	15.5	13.5	11.5
26.07.1983	909.5			15.5	13.0	11.0
01.08.1983	1045.5					
09.08.1983	1209.0					
16.08.1983	1349.0		27.5	24.5	21.5	18.5
22.08.1983	1474.0		30.5	27.5	23.5	20.5
30.08.1983	1617.0		32.5	28.5	25.5	17.5

	COHORTE B	COHORTE C	COHORTE D	COHORTE E	COHORTE F		
585.5	10	585.5	9	167.5	2	167.5	1.5
710.5	13	710.5	12	313.5	4	313.5	3.5
853.5	15	853.5	13	753.5	10	753.5	9
				878	12	878	11
				1021	14	1021	13

Tableau XXV - Les principaux résultats physico-chimiques relatifs à la vidange de juin 1984. Données empruntées au rapport "CHASSES 1984" publié par la Compagnie Nationale du Rhône.

PARAMETRES	M.E.S.T.	pH	Oxygène	T°C	NH4+	DBO5	MEST	TONNAGES	VOLUME	
	max. g/l	min.	min. mg/l	max.	max. mg/l	max. mg O2/l	moyen g/l		transité en m3	
STATIONS										
VERBOIS Aval de l'usine	16,2 14.6.84 9h00	7,5 14.6.84 10h00	10,6 14.6.84 16h00	13,4 15.6.84 4h00	3,7 14.6.84 10h00		6,1	790 000	1 540 000	
POUGNY (Pont de)	30 15.6.84 9h00	7,3 14.6.84 16h00	9,3 14.6.84 10h00	13,3 15.6.84 5h00	3,8 14.6.84 12h00	29 12h00	5,26	770 000		
PYRIMONT (Pont provisoire)	10,2 14.6.84 15h00	7,1 15.6.84 10h00	10,1 16.6.84 15h00	14 15.6.84 7h00	3,2 14.6.84 20h00	21 15.6.84 15h00	3,33	675 000	1 135 000	envasement GENISSIAT 405 000 m3
SEYSSEL (Pont de)	9,7 15.6.84 16h00	7,6 14.6.84 20h00	8,8 14.6.84 17h00	14,3 15.6.84 9h00	2,8 15.6.84 8h00	25 16h00	3,95	814 000	1 645 000	désenvasement SEYSSEL 510 000 m3
VIONS (viaduc SNCF)	5 16.6.84 0h00		9,4 15.6.84 0h00	13,3 13.6.84 0h00			1,32	322 000	1 435 000	envasement retenue de CHAUTAGNE 210 000 m3
BELLEY (usine)	1,4 16.6.84 8h00	7,5 14.6.84 20h00	8,6 15.6.84 6h00	14,4 16.6.84 8h00	2,4 15.6.84 11h00	8 18h00	0,63	116 000	320 000	envasement retenue de BELLEY 1 115 000 m3

Nbres de morts						Nbres de morts cumulés						Nbres de morts cumulés (en pourcentage)						Pourcentages de survivants							
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	
1*	0	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
2*	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
3*	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	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5*	1	1	1	1	1	3	5	5	1	1	1	6	7	37	5	1	1	1	6	7	37	5	1	1	1
6*	15	6	3	2	0	1	2	0	6	4	3	1	7	9	37	6	1	0	7	1	7	9	37	6	1
7*	18	7	3	1	2	1	1	6	7	4	3	8	10	43	7	1	8	2	5	5	6	8	7	8	1
8*	21	8	0	3	1	1	1	9	8	7	7	4	9	11	52	8	1	8	8	6	7	6	9	11	52
9*	30	9	8	4	3	1	7	32	9	15	11	7	10	18	84	9	4	0	2	1	4	6	4	1	18
10*	33	10	2	3	1	2	0	4	10	17	14	8	12	18	88	10	4	5	6	8	9	2	2	0	4
11*	36	11	3	3	1	2	1	2	11	20	17	11	13	20	89	11	5	3	6	7	2	1	1	1	2
12*	39	12	3	3	1	1	1	3	12	23	20	12	14	21	92	12	6	1	7	2	1	1	1	1	3
13*	42	13	2	1	2	0	0	1	13	25	21	14	14	21	93	13	6	7	0	1	1	1	1	1	3
14*	45	14	3	1	2	0	1	0	14	28	22	16	14	22	93	14	7	1	1	1	1	1	1	1	3
15*	54	15	2	0	0	3	2	9	15	30	22	16	17	24	102	15	8	0	4	1	1	1	1	1	3
16*	57	16	1	0	1	0	3	2	16	31	22	17	17	27	104	16	8	3	1	1	1	1	1	1	3
17*	60	17	1	1	0	0	2	4	17	32	23	17	17	29	108	17	8	5	1	1	1	1	1	1	3
18*	63	18	0	2	0	1	1	1	18	32	25	17	18	30	109	18	8	5	1	1	1	1	1	1	3
19*	66	19	1	1	0	1	1	1	19	33	26	17	19	31	110	19	8	5	1	1	1	1	1	1	3
20*	69	20	1	0	0	0	0	0	20	34	26	17	19	31	110	20	9	1	2	1	1	1	1	1	3
21*	78	21	0	0	0	0	2	2	21	34	26	17	19	33	112	21	9	1	2	1	1	1	1	1	3
22*	84	22	0	1	1	1	3	5	22	34	27	18	20	36	117	22	9	1	2	1	1	1	1	1	3
23*	87	23	2	1	0	0	1	1	23	36	28	18	20	37	118	23	9	1	2	1	1	1	1	1	3
24*	90	24	2	3	0	0	1	7	24	38	31	18	20	38	125	24	10	1	9	1	1	1	1	1	3
25*	93	25	3	2	0	0	0	0	25	41	33	18	20	38	125	25	10	9	1	9	1	1	1	1	3
26*	+102	26	5	1	1	1	0	3	26	46	34	19	21	38	128	26	12	3	3	1	1	1	1	1	3
27*	+108	27	5	0	0	1	1	4	27	51	34	19	22	39	132	27	13	6	1	1	1	1	1	1	3
28*	+111	28	3	0	2	0	2	4	28	54	34	21	22	41	136	28	14	4	8	1	1	1	1	1	3
29*	+114	29	2	2	0	0	0	0	29	56	36	23	22	41	136	29	15	0	1	1	1	1	1	1	3
30*	+117	30	1	1	1	2	2	1	30	57	37	24	24	43	137	30	15	2	8	1	1	1	1	1	3
31*	+126	31	10	10	5	4	7	18	31	67	47	29	28	50	155	31	17	9	6	1	1	1	1	1	3

DATE	HEURE	TEMPS
13.06.84	0h00	0
	3h00	+3
	6h00	+6
	9h00	+9
	12h00	+12
	15h00	+15
	18h00	+18
	21h00	+21
14.06.84	6h00	+30
	9h00	+33
	12h00	+36
	15h00	+39
	18h00	+42
	21h00	+45
15.06.84	6h00	+54
	9h00	+57
	12h00	+60
	15h00	+63
	18h00	+66
	21h00	+69
16.06.84	6h00	+78
	12h00	+84
	15h00	+87
	18h00	+90
	21h00	+93
17.06.84	6h00	+102
	12h00	+108
	15h00	+111
	18h00	+114
	21h00	+117
18.06.84	6h00	+126

Station AMONT					Station AYAL				
*	1	2	3	4	1	2	3	4	
1*	0	8.0	14.4	11.2	298.0	7.90	13.60	11.50	295.00
2*	3	7.9	14.1	10.5	299.0	7.70	13.00	11.50	292.00
3*	6	7.8	13.6	9.7	303.0	7.70	13.30	11.40	290.00
4*	9	7.7	13.6	9.2	306.0	7.60	14.10	10.90	288.00
5*	12	7.8	17.0	8.7	305.0	7.70	14.40	10.60	286.00
6*	15	7.8	18.2	8.8	303.0	7.70	15.10	10.10	287.00
7*	18	8.0	19.1	10.4	302.0	7.60	15.60	10.20	291.00
8*	21	8.2	18.0	12.4	305.0	7.60	15.40	10.50	293.00
9*	30	7.8	15.6	10.8	314.0	7.60	15.00	10.60	290.00
10*	33	7.9	15.4	10.8	316.0	7.70	15.00	10.60	287.00
11*	36	7.8	16.0	8.4	326.0	7.70	15.40	10.10	284.00
12*	39	8.0	18.3	9.7	315.0	7.70	16.10	9.60	282.00
13*	42	8.2	18.5	11.7	313.0	7.50	16.10	9.80	283.00
14*	45	8.1	18.4	11.3	315.0	7.50	15.70	9.40	297.00
15*	54	7.9	17.0	11.1	318.0	7.60	15.20	10.20	300.00
16*	57	8.0	16.7	11.3	319.0	7.70	15.20	10.10	299.00
17*	60	8.0	18.0	11.3	315.0	7.60	15.00	9.80	299.00
18*	63	8.1	19.0	10.9	312.0	7.70	15.00	9.90	300.00
19*	66	8.0	19.3	11.1	312.0	7.50	15.00	9.90	300.00
20*	69	7.8	17.6	10.1	318.0	7.60	14.60	10.30	299.00
21*	78	7.5	16.1	8.8	318.0	7.50	15.10	10.50	289.00
22*	84	7.7	16.4	9.4	313.0	7.60	16.50	10.00	278.00
23*	87	7.8	17.6	9.5	314.0	7.70	16.90	9.90	274.00
24*	90	7.9	18.2	10.2	318.0	7.70	16.90	10.00	269.00
25*	93	7.9	18.0	10.4	319.0	7.70	16.60	10.00	266.00
26*	102	7.5	16.7	8.8	330.0	7.50	16.00	10.40	261.00
27*	108	7.8	16.9	9.5	321.0	7.90	16.60	10.20	260.00
28*	111	7.9	17.8	10.1	325.0	7.90	17.30	9.80	280.00
29*	114	8.0	18.4	10.7	323.0	7.70	17.40	10.10	297.00
30*	117	7.8	16.6	7.7	310.0	7.70	16.70	9.40	284.00
31*	126	7.6	14.5	7.8	281.0	7.60	15.20	8.70	273.00

Tableau XXVI - VIDANGE DE JUIN 1984 -
Mortalité des larves de hotus dans les deux stations
Paramètres physico-chimiques (pH, température, oxygène et conductivité)

NOMBRES D'INDIVIDUS DANS CHAQUE YIVIER AU TEMPS 0 (13.06.84 à 0h00)

- STATION AMONT
 - Yivier N°1 = 373 individus
 - Yivier N°2 = 157 individus
 - Yivier N°3 = 151 individus
- STATION AYAL
 - Yivier N°4 = 117 individus
 - Yivier N°5 = 128 individus
 - Yivier N°6 = 204 individus

PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES

- 1 - pH
- 2 - température de l'eau en °C
- 3 - oxygène en mg/l
- 4 - conductivité en µS

NOM : CARREL (avec précision du nom de jeune fille, le cas échéant) Prénoms : Georges		DATE de SOUTENANCE 21 janvier 1986
TITRE : CARACTERISATION PHYSICO-CHIMIQUE DU HAUT-RHONE FRANCAIS ET DE SES ANNEXES ; INCIDENCES SUR LA CROISSANCE DES POPULATIONS D'ALEVINS.		
NATURE :		Numéro d'ordre :
DIPLOME DE DOCT.	DOCTEUR-INGENIEUR	DOCTORAT D'ETAT
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		DOCTORAT DE 3e CYCLE
		Spécialité : Ecologie fondamentale et appliquée des eaux continentales.
Cote B.I.U. - Lyon : T 50/210/19 / et bis		CLASSE :
RESUME :		
<p> Ce travail est consacré à l'étude des caractéristiques physico-chimiques de certaines unités fonctionnelles du Haut-Rhône français et à la dynamique de leurs populations d'alevins. </p> <p> Les principaux ions majeurs (calcium, magnésium, bicarbonate, sulfate et nitrate), les paramètres associés (pH et conductivité) et ceux susceptibles d'influer sur les équilibres chimiques de l'eau et la vie aquatique (température, oxygénation, matières en suspension et chlorophylle a) ont été régulièrement enregistrés au cours d'un cycle annuel (février 1983 à janvier 1984) dans trois stations d'étude. Elles sont localisées dans la plaine alluviale de Brangues-Le Bouchage-Saint Benoît (Ain-Isère) et concernent le chenal "Rhône vif", un bras latéral du lit mineur (la lône des Chèvres) et un ancien méandre (la Morte du Sauget). </p> <p> Le tableau général des résultats a fait l'objet d'une Analyse en Composantes Principales normée, puis d'une reconstitution progressive des données, permettant d'appréhender le rôle fondamental tenu par la température et l'hydrologie comme facteurs régulateurs de la dynamique fluviale. </p> <p> La température intervient à plusieurs niveaux : 1) selon des processus physiques, sur les équilibres calco-carboniques, 2) indirectement sur l'activité métabolique des organismes vivants, 3) comme facteur météorologique déterminant, complémentaire des précipitations, dans l'évolution annuelle du débit. </p> <p> Elle imprime une dynamique saisonnière inverse aux ions calcium, magnésium et bicarbonate par le biais des lois physiques, de l'azote nitrique par suite de la consommation biologique. Son intervention dans la constitution du régime hydrologique fait du débit le facteur déterminant de l'hydrosystème dont l'impact général sur la plupart des paramètres physico-chimiques est avant tout perçu avec les sulfates et les matières en suspension. </p> <p> Les populations d'alevins ont été étudiées au cours de leur apparition et de leur développement dans le milieu. Les résultats concernent principalement la croissance larvaire des espèces dominantes dans deux annexes fluviales (rotengle, perche-soleil dans la Morte du Sauget - gardon, ablette, spirin et chevaine dans la lône des chèvres). La génération annuelle de ces espèces grégaires est représentée par une succession de cohortes dont la croissance, directement soumise à la température de l'eau, ne demeure pas moins variable sous l'influence de facteurs biotiques (compétition inter- et intra-spécifique trophique et spatiale) ou abiotiques (hauteur d'eau, vitesse du courant,...). </p> <p> L'impact le plus visible des caractéristiques abiotiques d'un fleuve aménagé sur les populations piscicoles est observé au cours des vidanges des barrages-réservoirs du Haut-Rhône. La brusque modification du milieu aquatique par le relargage massif des sédiments entraîne une altération répétée des potentialités halieutiques du fleuve, notamment par augmentation considérable de la teneur des matières en suspension. Une étude préliminaire de cet impact sur les populations larvaires de poissons a été entreprise en juin 1984. Il apparaît qu'une vidange, même contrôlée, conduit à une mortalité des jeunes poissons se situant préférentiellement pendant les périodes d'instabilité des conditions abiotiques (début et fin de vidange). Cette expérimentation "in situ" se présente comme une nouvelle base de recherche appliquée en hydrobiologie. </p>		
MOTS-CLES : Haut-Rhône français, physico-chimie, analyse en composantes principales, poissons, larves et juvéniles, croissance, barrages hydro-électriques, impact.		
Laboratoire(s) de recherches : Ecologie et Dynamique des Populations U.A. CNRS 367 - Ecologie des Eaux Douces Institut d'Analyses des Systèmes Biologiques et Socio-Economiques		
Directeur de recherches : Professeur A.L. ROUX		
Président du jury :		
Composition du jury : H.L. GOLTERMAN, J. JUGET, E. PATTEE, M. PENAZ, A.L. ROUX		