

006.581.5-

UNIVERSITE DE DROIT, D'ECONOMIE ET DES SCIENCES
D'AIX MARSEILLE III

FACULTE DES SCIENCES ET TECHNIQUES DE SAINT-JEROME

م. 113
2007-05-11
Cote

THESE

présentée par

Corinne P L A Y O U S

وزارة التعليم العالي
المعهد الوطني لتعليم العالي
تلمسان

pour obtenir le grade de Docteur en Sciences

de l'Université de Droit, d'Economie et des Sciences d'Aix-Marseille III

Spécialité: Ecologie (Zooécologie)

ETUDE D'UN RÉSEAU HYDROGRAPHIQUE MEDITERRANEEN DE BASSE ALTITUDE :
L'ARC (BOUCHES-DU-RHONE)

HYDROCHIMIE, COMMUNAUTES BENTHIQUES ET RIPICOLES,
IMPACT DES PERTURBATIONS

Hydrobiologie : l'ARC, Bouches du Rhône

Soutenue le 5 Février 1988 devant la commission d'examen :

A. CHAMPEAU
H. TACHET

} Rapporteurs

J. GIUDICELLI
J. CACAS
R. LOISEL
J. J. MUSSO

AVANT PROPOS

Avant d'exposer le résultat de mes recherches, je tiens à remercier tous ceux qui m'ont aidé à réaliser ce travail.

Ma reconnaissance va à Monsieur le Professeur J. GIUDICELLI qui m'a accueillie dans son laboratoire et confié un sujet de recherche ; je le remercie d'avoir suivi le déroulement de mes travaux en me faisant profiter de ses vastes compétences scientifiques.

Je suis particulièrement heureuse d'exprimer toute ma gratitude à Monsieur J.J. MUSSO. Toujours disponible et d'une patience inaltérable, il a été présent de la conception à la touche finale de cet ouvrage qui n'aurait pu se concrétiser sans lui. Qu'il veuille bien accepter toute ma reconnaissance et mon amitié sincère.

Monsieur le Professeur A. CHAMPEAU, Monsieur H. TACHET, Maître de conférence à l'Université Claude Bernard, Monsieur le Professeur LOISEL et Monsieur CACAS Ingénieur (I.G.R.E.F.) au C.E.M.A.G.R.E.F., Aix-en-Provence ont bien voulu juger ce travail. Je les en remercie vivement.

De nombreuses personnes ont participé à l'élaboration du mémoire. Je tiens particulièrement à exprimer ma gratitude à MM. J.J. MUSSO et G. PREVOT dont l'intérêt pour les Invertébrés ripicoles m'a permis de réaliser une partie originale de cette étude ; Madame A. CAZAUBON qui a effectué les comptages d'algues, en a dressé l'inventaire, et mis à ma disposition ses connaissances et sa documentation ; Monsieur P. LEGIER, toujours de bon conseil et prêt à utiliser son crayon de talentueux dessinateur ; Melle M. ILLY qui m'a initiée avec patience et gentillesse aux techniques d'analyses chimiques ; MM. R. GARNIER et J.C. HABAI, dont le dévouement et l'efficacité n'ont jamais été démentis au cours de nombreuses sorties sur le terrain.

Je remercie tous les spécialistes qui ont contribué à la détermination spécifique des Invertébrés : MM. C. BERTHELEMY, L. BIGOT, J. GIUDICELLI, A. THOMAS, F. VAILLANT, ainsi que MM. J.J. MUSSO et G. PREVOT (faune ripicole) et plus particulièrement Monsieur N. GIANI qui m'a si chaleureusement accueillie à Toulouse pour m'initier à la détermination des Oligochètes.

Melle HABAI a assuré la dactylographie de ce mémoire avec une grande compétence. Je l'en remercie vivement.

Pour terminer je tiens à exprimer mon amitié à mes camarades de laboratoire, ils ont contribué à entretenir une ambiance sympathique au sein de laquelle j'ai toujours eu plaisir à travailler.

*

*

*

S O M M A I R E

INTRODUCTION	1
CHAPITRE I - BASSIN VERSANT DE L'ARC	4
I -SITUATION GEOGRAPHIQUE	5
II -GEOLOGIE ET HYDROGEOLOGIE	5
II.1. Situation du bassin de l'Arc	5
II.2. Cadre géologique	5
II.3. Hydrogéologie	7
II.3.1. Unités hydrogéologiques	7
II.3.2. Vallées alluviales	7
II.3.4. Lacs et barrages	10
III-CLIMATOLOGIE	10
III.1. Précipitations	11
III.2. Températures	11
III.3. Diagramme ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN	15
IV -CARACTERISTIQUES MORPHODYNAMIQUES	15
IV.1. Régime et débits	15
IV.2. Pente	15
V -VEGETATION	18
VI -ACTIVITES ANTHROPIQUES DU BASSIN DE L'ARC	22
VI.1. Urbanisation	22
VI.2. Activités industrielles	23
VI.2.1. Zone industrielle de Rousset	23
VI.2.2. Zone industrielle de Gardanne	24
VI.3. Agriculture	24
VI.3.1. Les activités culturelles	25
VI.3.2. L'élevage	25
VI.3.3. Industries agricoles	25
VII-CHOIX ET DESCRIPTION DES STATIONS D'ETUDE	26
VII.1. Cours principal de l'Arc	26
VII.2. Affluents	30

CHAPITRE II - HYDROCHIMIE	33
I - ANALYSE SYNCHRONIQUE DES DESCRIPTEURS ABIOTIQUES	34
I.1. Température	34
I.2. pH.	35
I.3. Teneurs en oxygène dissous	35
I.4. D.B.O.5	38
I.5. Conductivité électrique	38
I.6. Teneurs en chlorures	40
I.7. Teneurs en alcalino-terreux.....	42
I.7.1. Calcium	42
I.7.2. Magnésium	43
I.8. Alcalinité	43
I.9. Teneurs en sulfates	43
I.10 Oxydabilité	44
I.11 Matières en suspension	46
I.11.1. Matières minérales	46
I.11.2. Matières organiques	46
I.11.3. Matières en suspension totales	46
I.12. Substances azotées	48
I.12.1 Azote ammoniacal	48
I.12.2 Nitrites	50
I.12.3 Nitrates	51
I.13 Orthophosphates	53
I.14 Conclusion	55
II - SYNTHESE DU FONCTIONNEMENT HYDROCHIMIQUE DE L'ARC	56
II.1. Analyses et composantes principales : avantages et caractéristiques	56
II.2. Synthèse globale du fonctionnement hydrochimique	58
II.3. Hiérarchisation des situations hydrochimiques	58
II.4. Conclusion	70
CHAPITRE III - COMMUNAUTES ALGALES	73
I - ETUDE QUALITATIVE DE LA FLORE ALGALE	75
I.1. Inventaire floristique	75
I.2. Richesse spécifique	75
I.3. Degré de trophie des eaux	75

II - ETUDE QUANTITATIVE DE LA FLORE ALGALE	76
II.1. Comparaison stationnelles de quelques coefficients écologiques des communautés épilithiques	76
II.1.1. Densité et biomasse	76
II.1.2. Abondance relative des groupes d'algues	78
II.1.3. Remarques sur les caractéristiques écologiques des espèces dominantes de chaque station	80
II.1.4. Conclusion	
II.2. Teneurs en pigments chlorophylliens des communautés épilithiques et en dérive	81
II.2.1. Chlorophylle a	82
II.2.2. Rapport chloro. c/chloro. b + chloro.c	82
II.2.3. Conclusion	84
III- CONCLUSION	85
CHAPITRE IV - COMMUNAUTES D'INVERTEBRES BENTHIQUES ET RIPICOLES AQUATIQUES	86
I - COMMUNAUTES DES INVERTEBRES BENTHIQUES	87
I.1. Analyse synthétique des données	87
I.1.1. Caractéristiques et interprétation des axes factoriels	88
I.1.1.1. Analyse prenant en compte l'ensemble des stations	88
- Ordination des stations sur l'axe I	88
- " " " " l'axe II	91
- " " " " l'axe III	92
I.1.1.2. Analyse prenant en compte les seules stations axiales	92
I.1.2. Recherche d'espèces associées à chaque groupe de stations	94
I.2. Données biocénotiques complémentaires	103
I.3. Conclusion	105
II - COMMUNAUTES DES INVERTEBRES RIPICOLES AQUATIQUES	107
II.1. Analyse et comparaisons stationnelles des communautés ripicoles aquatiques	108
II.1.1. Richesse spécifique	108
II.1.2. Structure du peuplement	109

II.2. Synthèse des données	111
II.2.1. Axe factoriel I	111
II.2.2. Axe factoriel II	113
II.2.3. Axe factoriel III	114
II.2.4. Conclusion	116
II.3. Conclusion	117
III.- COMPARAISON DES COMMUNAUTES BENTHIQUES ET RIPICOLES AQUATIQUES	119
III.1 Caractéristiques et interprétation des axes factoriels	119
III.1.1. Ordination des prélèvements sur l'axe factoriel I....	120
III.1.2. Ordination des prélèvements sur l'axe factoriel II ..	120
III.1.3. Ordination des prélèvements sur l'axe factoriel III..	122
III.2 Modalités de distribution spatiale des espèces	122
III.2.1. Répartition des espèces sur l'axe factoriel I	122
III.2.2. Répartition des espèces dans le plan factoriel II/III	126
III.2.2.1. Axe factoriel II	126
III.2.2.2. Axe factoriel III	128
III.2.2.3. Plan factoriel II/III	128
III.3 Conclusion	129
CONCLUSION GENERALE	131
BIBLIOGRAPHIE	137
ANNEXES	147

INTRODUCTION

I - SITUATION GEOGRAPHIQUE

L'Arc est un fleuve côtier méditerranéen dont le bassin versant (fig. 1) de 780 km² couvre une grande partie du département des Bouches-du-Rhône. Il prend sa source dans le Var à 467 m. d'altitude près du village de Pourcieux et se jette après un parcours de 85 kms, orienté est-ouest, dans la partie septentrionale de l'étang de Berre.

Dans sa partie supérieure, l'Arc reçoit les eaux de nombreux petits affluents dont beaucoup sont temporaires. On note en rive droite la confluence du ruisseau de la Tune venant de Pourrières et de l'Aubanède, du Vallat des Très Cabrès, du Longarel en rive gauche.

Dans son cours moyen, avant son passage dans la ville d'Aix-en-Provence, il a pour affluent de rive droite : le Bayeux, le Cause et la Torse. En traversant la plaine des Milles il reçoit le ruisseau de la Luynes qui draine le bassin de Gardanne.

Enfin, grossi par la Jouine et le Grand Torrent (déversoir du bassin du Réaltor) sur sa rive gauche, l'Arc traverse les plateaux de l'Arbois par les gorges de Roquefavour avant de déboucher dans l'étang de Berre.

II - GEOLOGIE ET HYDROGEOLOGIE

II.1. SITUATION DU BASSIN DE L'ARC

Le bassin de l'Arc situé en Provence occidentale calcaire est limité :

- au nord, par les reliefs de la Fare et les massifs du Concors au-delà de la crête de la Sainte-Victoire et de Pourrières.
- à l'est, par le Mont Aurélien qui borde le haut bassin de l'Arc.
- au sud, par les chaînons de l'Olympe, du Regagnas, puis de l'Etoile.
- à l'ouest, le bassin, compris entre la chaîne de la Nerthe et le Mont Callaraou, s'ouvre sur l'étang de Berre et le golfe de Fos.

décrire l'hydrogéologie du bassin de l'Arc :

1 - Unité de la Fare. Elle est constituée de calcaires urgoniens fracturés qui forment un *impluvium* remarquable et donnent lieu à des circulations karstiques importantes.

2 - Unité d'Aix. Dans ces terrains à dominance calcaire et argilo-gréseuse, on distingue 3 sous-unités :

- sous-unité d'Eguilles et de la Trévaresse : présence de nombreuses sources de faible débit sur le versant de la Trévaresse.

- sous-unité du Réaltor : les calcaires très étendus permettent la circulation de nappes souterraines sous le plateau tertiaire formé d'une alternance de calcaires lacustres et d'argiles rouges.

- sous-unité du Cengle : synclinal adossé au versant sud de la chaîne de la Sainte-Victoire, cette unité ne donne lieu qu'à un nombre restreint de sources.

3 - Unité de Gardanne. Le synclinal de Gardanne est formé de dépôts laguno-lacustres du Crétacé supérieur. Dans le Bégudien, les calcaires ou les grès sont le siège de circulations aquifères importantes. Les puits sont nombreux alors que les sources rares et de faible débit sont drainées par les bancs gréseux. Le Fuvélien (calcaires intercalés de marnes) est très peu perméable en surface (peu de puits et pas de source) mais très aquifère en profondeur.

4 - Unité de Sainte-Victoire - Pourrières. Constituée de calcaires et de dolomies du Jurassique à caractère karstique, elle présente quelques émergences liées à des accidents tectoniques. Mais la plus grande partie des eaux karstiques de la Sainte-Victoire semble alimenter des sources lointaines, telles les sources thermales d'Aix ou la source de l'Argens à Seillons.

5 - Unité de Saint-Zacharie.

- sous-unité du Regagnas : cette sous-unité pauvre en eau et sans exutoire superficiel semble être à l'origine des circulations profondes décelées sous le bassin de Gardanne par infiltration des eaux superficielles.

- sous-unité Aurélien-Olympe : elle n'intéresse le bassin de l'Arc que par sa bordure nord où quelques sources de faible débit résultent du contact Lias-Crétacé supérieur.

II.3.2. Vallées alluviales

La haute vallée de l'Arc est constituée par une épaisseur d'alluvions réduite ; la nappe des alluvions, alimentée par les terrains encaissants, est exploitée par puits.

La moyenne vallée de l'Arc est étroite et de puissance aquifère modeste.

Les alluvions de la basse vallée s'étalent sur plus de 60 km² ; la nappe phréatique continue se déverse dans l'étang de Berre, le delta de l'Arc constituant ainsi une importante réserve d'eaux souterraines dont le renouvellement est assuré par les apports des crues de la rivière. Les alluvions du delta sont très peu perméables (argiles) sauf près de la surface où elles deviennent graveleuses.

II.3.3. Sources

1 - Sources thermo-minérales d'Aix . Elles sont utilisées depuis la plus haute antiquité. Perdues lors d'une sécheresse exceptionnelle au XVIII^e siècle, les eaux jaillirent à nouveau plus chaudes et plus limpides par la suite mais certaines demeurent impropres à la consommation.

Les sources thermales d'Aix émergent au niveau d'un accident tectonique situé sur le prolongement de la Sainte-Victoire et de la vallée de Vauvenargues.

2 - Autres sources. Dans la région étudiée, les sources sont peu nombreuses et d'un débit toujours faible, situées essentiellement en bordure des plateaux.

II.3.4. Lacs et barrages

De nombreuses petites retenues se succèdent le long du cours de l'Arc. Quelques grandes étendues d'eau artificielles se situent sur son bassin :

- Bassin de Réaltor : alimenté par le canal de Marseille, c'est un bassin de décantation qui se déverse partiellement dans le ruisseau du Grand Torrent, sur la rive gauche de l'Arc.

- Barrages de Bimont et Zola. Ces retenues accumulent les eaux du canal de Provence sur le cours de l'Infernet, affluent dont l'appellation change à partir du Tholonet (Cause) avant sa confluence sur la rive droite de l'Arc.

III - CLIMATOLOGIE

Le climat du bassin de l'Arc est typiquement méditerranéen et présente les caractères excessifs du climat provençal : hivers doux, étés chauds et secs, avec des saisons de transition de courte durée.

Deux facteurs climatiques essentiels, la pluviométrie* et la température*, régissent le débit et le régime du réseau hydrographique de l'Arc. Ces paramètres permettent aussi de déterminer d'après le diagramme ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN la période "biologiquement sèche" de la région étudiée.

III.1. PRECIPITATIONS

Les pluies sont la conséquence des vents d'est et sud-est qui soufflent 80 jours par an.

On observe une augmentation sensible de la pluviométrie d'ouest en est due à la topographie (fig. 3), ce qui permet de diviser le bassin de l'Arc selon LAFFONT (1984) en 2 zones homogènes vis à vis des précipitations : le bassin de Gardanne et le bassin d'Aix-en-Provence.**

Les régimes annuel et pluriannuel sont irréguliers ; les précipitations même si elles peuvent être abondantes (638 mm/an de moyenne sur 18 années), sont réparties en peu de jours (65 jours/an en moyenne), et situées essentiellement au printemps et à l'automne.

La pluviométrie annuelle au cours de l'étude (tab. I) a été faible en 1983 (573 mm) et 1985 (460 mm), et très légèrement supérieure à la moyenne en 1984 (651 mm).

Les mois de février et d'octobre sont en général les plus arrosés (fig. 4), mais au cours des années relatives à ce travail, les maximums

* Données fournies par la Météorologie Nationale d'Aix-en-Provence.

** Seules les données de la station météorologique de cette agglomération seront prises en considération dans cette étude.

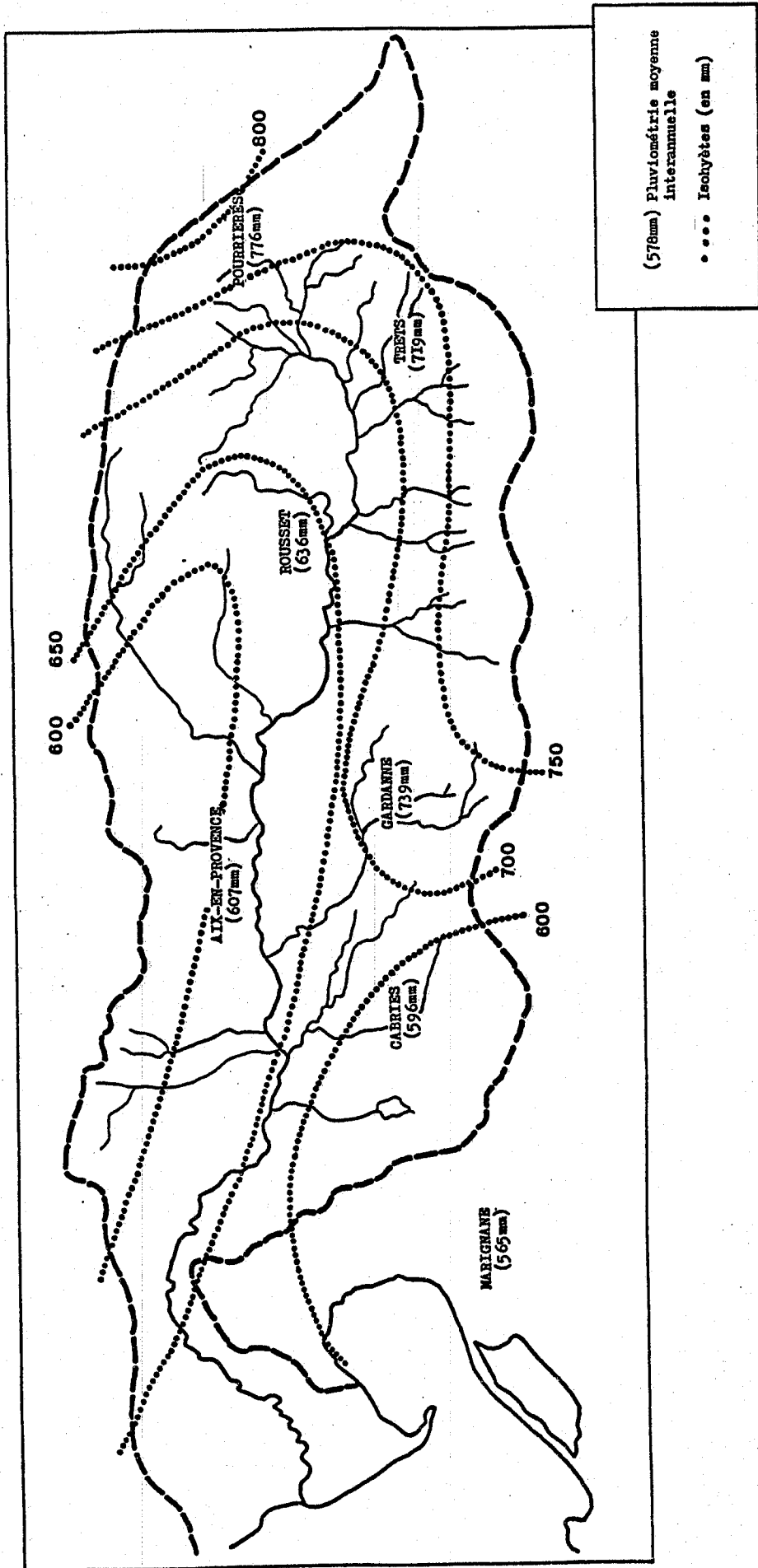


FIGURE 3 - CARTE DES ISOHYÈTES (d'après LAFFONT, 1984).

s'observent au printemps (mars et mai) et en automne (octobre et novembre).

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1985	1,6	8,1	7,6	12,6	14,6	19,0	23,8	21,5	20,9	16,5	6,7	7,7
1984	5,5	5,1	7,5	10,7	12,9	18,6	22,4	21,0	16,7	14,3	12,1	6,6
1983	6,9	4,3	8,9	12,0	15,0	19,8	26,0	22,3	19,5	14,4	11,4	7,1

TABLEAU I - Températures moyennes annuelles (°C)

Les pluies tombées en juillet - et dans de moindres proportions en septembre - au cours de ces 3 années, sont très largement inférieures aux précipitations moyennes de ces mois ; par contre, les mois de juin et août ont été plutôt mieux arrosés.

En définitive, la pluviométrie annuelle au cours de cette étude a été faible à moyenne, les valeurs mensuelles mettant en évidence une très grande irrégularité des précipitations, d'où une sécheresse qui semble due à une mauvaise répartition des pluies plutôt qu'à leur faible intensité. L'alternance d'un été très sec et d'un maximum automnal est caractéristique des régions septentrionales de la Méditerranée ; cette alternance est encore plus marquée au cours des 3 années d'étude que sur la moyenne de 18 ans.

III.2. TEMPERATURES

L'observation des températures moyennes en 2 points (Trets et Aix-en-Provence) montre qu'il n'y a pas de différence significative entre les parties amont et aval du bassin de l'Arc, (Laboratoire d'hydrologie et de molysmologie aquatique, 1984)*.

Les températures peuvent baisser très rapidement (de l'ordre de 10°C en 24 H) sous l'influence du mistral, qui souffle environ 100 jours par an (B.R.G.M. 1968).

Au cours de ce travail les températures moyennes mensuelles (tab. II) ont varié de 1,6°C(en janvier 85) à 26° C (en juillet 83), et sont restées homogènes d'une année à l'autre.

*Faculté de pharmacie, Marseille.

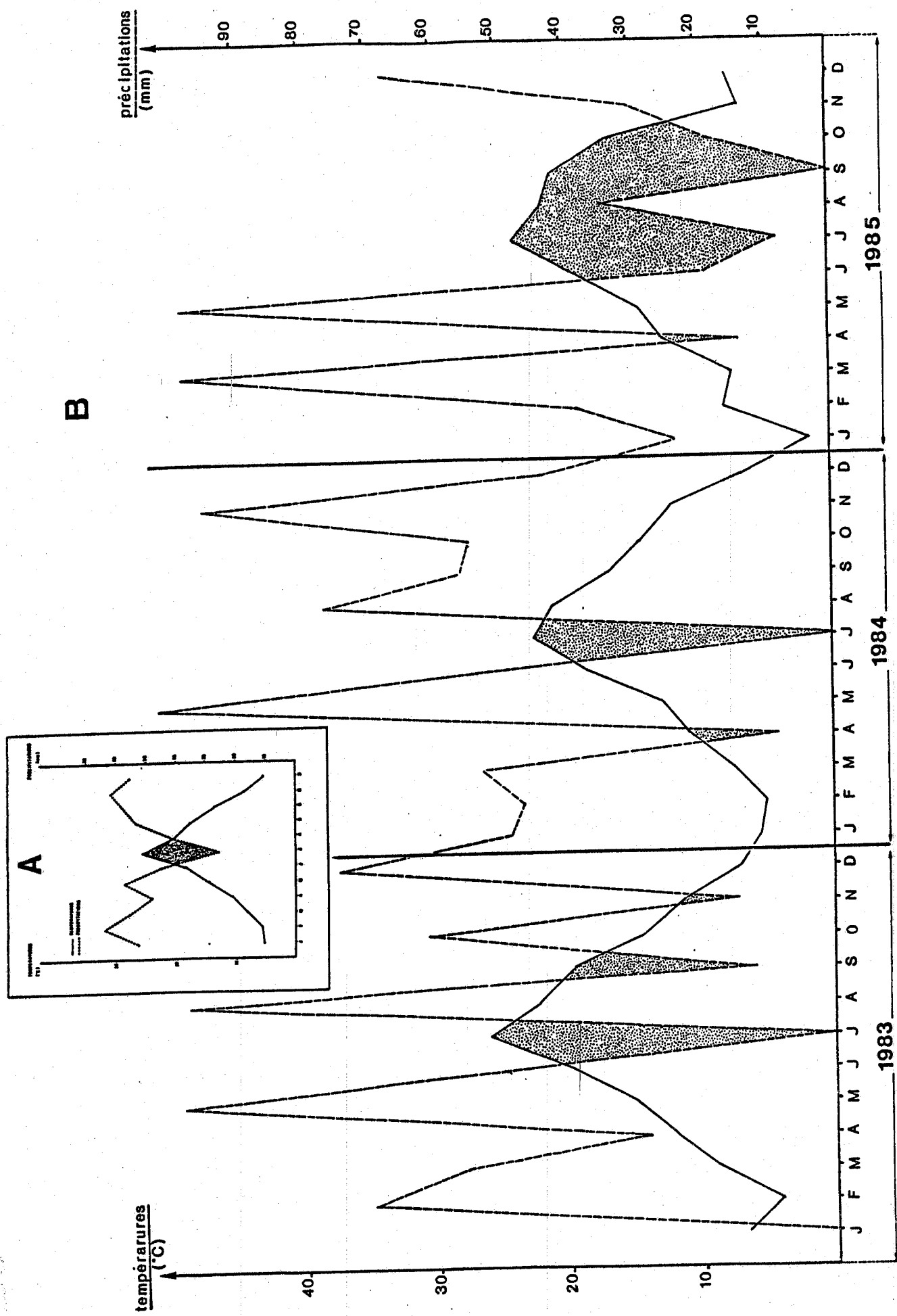


FIGURE 4 - DIAGRAMMES OMBROTHERMIQUES DE BAGNOULS ET GAUSSEN.

A- Moyenne des années 1962 à 1980.

B- Données relatives à la période d'étude (1983 à 1985)

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total annuel
1985	23	38	109	14	100	18	8	34	0,2	18	30	68	460
1984	49	47	53	9	114	54	0	77	56	55	95	43	651
1983	0,1	70	56	28	106	50	0	106	6,9	62	14	75	573

TABLEAU II - Précipitations mensuelles et annuelles (mm)

Les températures extrêmes peuvent causer des dégâts aux cultures (les gelées de fin avril et début mai ne sont pas rares), mais l'aridité de la région provient davantage de l'irrégularité des précipitations que des températures élevées.

III.3. DIAGRAMME OMBROTHERMIQUE DE BAGNOULS ET GAUSSEN

Ces diagrammes (fig. 4) permettent de définir une période "biologiquement sèche" à partir de la relation empirique : $P \leq 2 T$, où les précipitations P sont exprimées en mm, et les températures T en degrés Celcius.

La comparaison des diagrammes établis à l'occasion de ce travail avec la moyenne de 18 années met en évidence une sécheresse estivale très marquée en juillet 1983, 84 et 85, accompagnée de quelques périodes de sécheresse moins accentuées en septembre et novembre 83, avril 84, avril et septembre 85.

On observe que la courbe thermique évolue régulièrement au cours des années, seul le caractère sporadique des précipitations détermine les variations de l'aire correspondant aux périodes de sécheresse.

IV - CARACTERISTIQUES MORPHODYNAMIQUES

IV.1. REGIME ET DEBITS

2 types de données concernant les débits du réseau hydrographique de l'Arc ont été utilisés :

- Des jaugeages directs, réalisés simultanément aux prélèvements de faune.

Ces débits concernent essentiellement les affluents prospectés et sont exprimés en $l.s^{-1}$.

Stations	Mois	Novembre 1983	Mars 1984	Juillet 1984	Septembre 1984	Novembre 1984	Janvier 1985	Mai 1985	Juillet 1985
A3 - MARIUS		20	-	-	-	-	-	-	-
A9 - BERRE		1132	-	-	-	-	-	-	-
B1 - AUBANEDE		3	119	-	7	-	94	50	21
B2 - BAYEUX		66	111	76	72	105	211	127	76
B3 - CAUSE		236	-	53	51	55	62	156	46
B4 - TORSE		146	58	-	17	72	57	311	47
B6 - LUYNES		-	358	-	-	-	-	-	-
B7 - JOUINE		199	485	276	276	300	357	632	193
B8 - GRAND TORRENT		190	266	188	151	323	226	306	147

TABLEAU III - Débits instantanés ($l.s^{-1}$)

- Des valeurs mensuelles et annuelles moyennes, établies par le S.R.A.E.* , pour les stations limnigraphiques suivantes :

sur l'Arc : - Pourrières (bassin versant = 49 km^2)

- Pont de Bayeux (B.V. = 303 km^2)

- Saint-Pons (B.V. = 605 km^2)

- Pont de Mauran (B.V. = 728 km^2)

sur la Luynes :- St Jean-de Malte (B.V. = $52,9 \text{ km}^2$)

Ces données montrent que l'Arc possède un régime pluvial de rivière méditerranéenne à étiage très bas et crues très violentes : REPELIN (1914) signale un débit de $700 \text{ m}^3/\text{s}$ à l'embouchure de l'Arc lors d'une crue exceptionnelle alors que les valeurs peuvent être inférieures à $1 \text{ m}^3/\text{s}$ au Pont de Mauran en période estivale.

Les affluents sont de simples ruisseaux qui peuvent se transformer en torrents et avoir des régimes d'oueds africains (B.R.G.M. 1968).

Le débit annuel moyen de l'Arc est de $4,02 \text{ m}^3/\text{s}$ à Saint-Pons (fig. 5a). La période des hautes eaux atteint son maximum en mars ($8,9 \text{ m}^3/\text{s}$), l'étiage estival qui s'étale de juin à septembre sévit le plus durement en août : $1,55 \text{ m}^3/\text{s}$.

* S.R.A.E. : Service Régional d'Aménagement des Eaux.

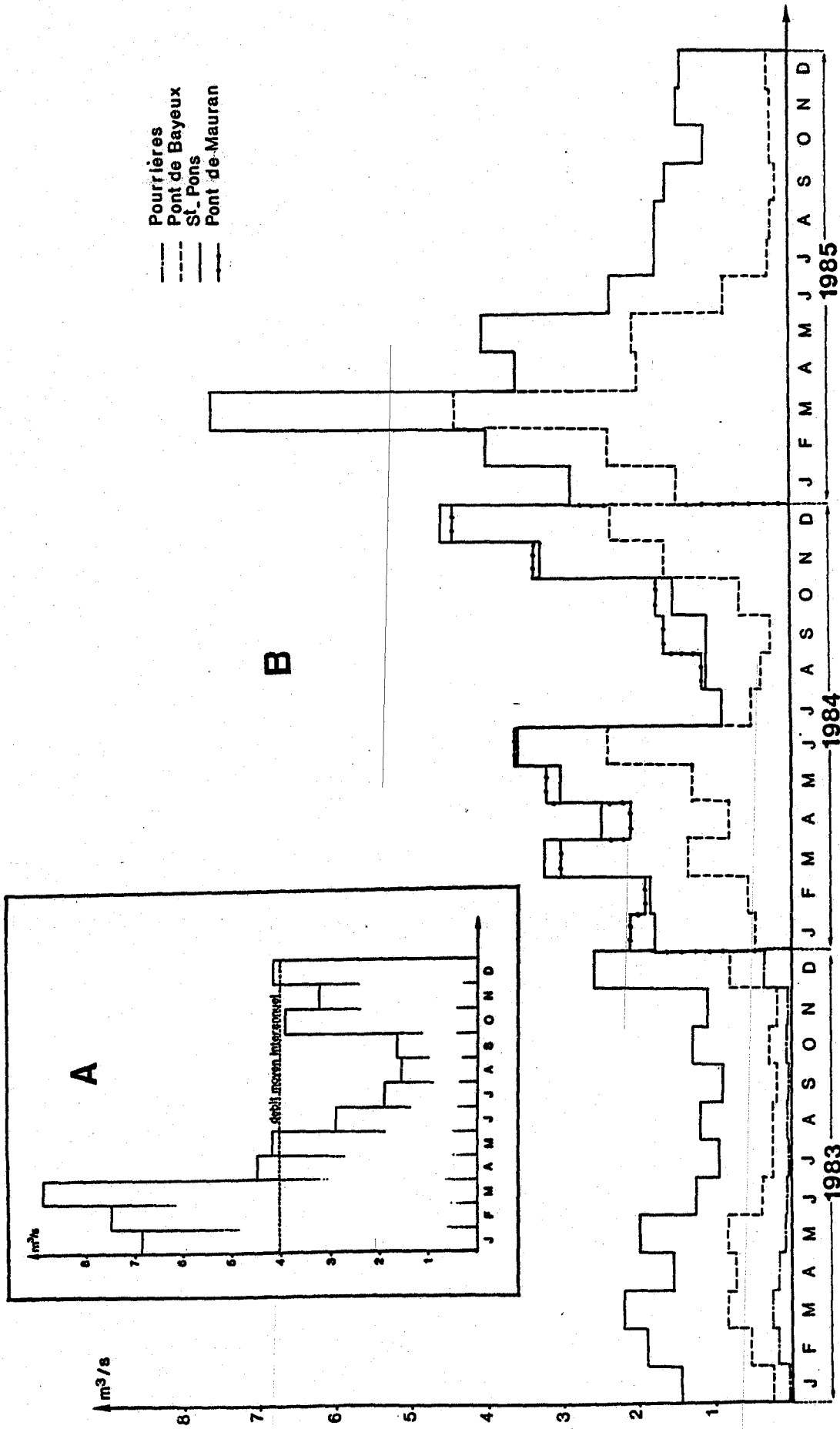


FIGURE 5-- A- Moyenne des débits mensuels à St-Pons de 1971 à 1981 (bassin versant = 605 km²)

B- Evolution des débits mensuels moyens de l'Arc à Pourrières (B.V. = 49 km²), Pont de Bayeux (B.V. = 303 km²), St-Pons (B.V. = 605 km²) et Pont de Mauran (B.V. = 728 km²) de 1983 à 1985.

Ces variations de débit sont en étroite relation avec les fluctuations de la courbe hydrique moyenne d'Aix-en-Provence représentée sur le diagramme ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN (fig. 4).

La figure 5b représente l'évolution du débit de l'Arc au début de son cours (Pourrières), au pont de Bayeux, à l'aval d'Aix (St-Pons), et près de son embouchure (Pont de Mauran). L'enrichissement progressif du volume d'eau est dû à l'apport d'affluents dont les débits sont très variables (tabl.III) : l'Aubanède et le Bayeux apportent peu d'eau dans la haute vallée de l'Arc, alors que la Luynes et la Jouine contribuent à la forte augmentation du débit en aval d'Aix.

On constate au cours de l'année 1984 (fig.5b) que les courbes représentant les stations limnigraphiques de Saint-Pons et Pont de Mauran ne montrent qu'une faible augmentation du débit de l'Arc en janvier, septembre et octobre, et même accusent une baisse de débit entre ces 2 points en mars et avril. Cette inversion du phénomène naturel d'accroissement du débit de l'amont vers l'aval permet d'apprécier l'importance de la ponction faite dans la dernière partie du cours du fleuve. En effet il existe une dérivation de l'Arc vers l'étang de Vaïne destinée à assurer l'approvisionnement des entreprises agricoles et industrielles de la région de Berré.

D'autres prélèvements et rejets susceptibles de modifier sensiblement le volume et la qualité biologique des eaux ont lieu sur toute la longueur du cours de l'Arc et de ses affluents, mais il est impossible d'en percevoir l'impact d'une façon précise.

IV.2. PENTE

L'Arc présente un faible dénivelé de 0,54 % en moyenne. (fig. 6). Après un maximum au cours des premiers kilomètres (1,95 %), la pente est ensuite globalement constante (0,36 %) jusqu'à l'embouchure (KIM et TRAVERS, 1985).

Les profils en long des affluents ont des déclivités plus marquées s'échelonnant de 5,2 % (Aubanède) à 1,4 % (Grand Torrent), ce qui leur confère le caractère de petits torrents en période de hautes eaux.

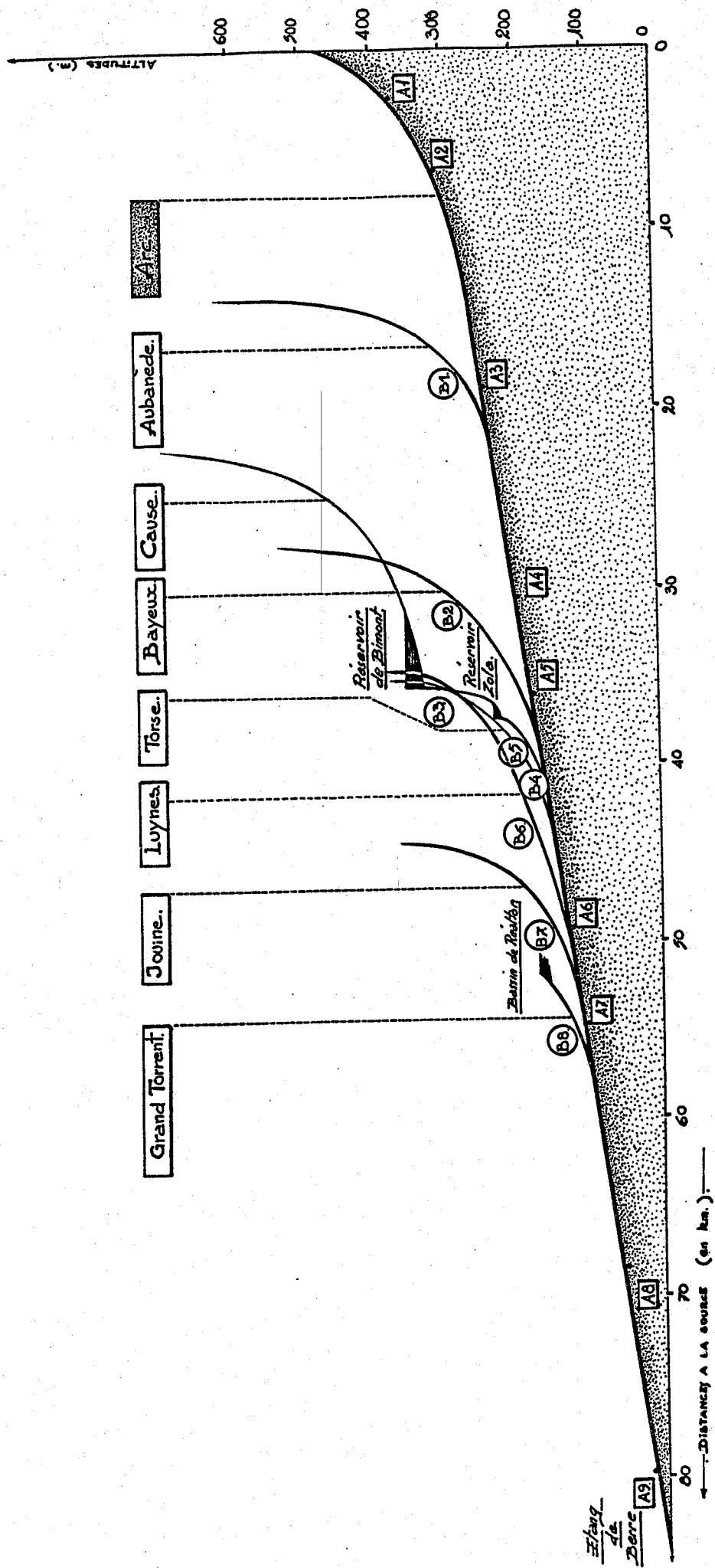


FIGURE 6 - PROFIL EN LONG DE L'ARC ET DE SES AFFLUENTS.

V - VEGETATION

La variété des paysages de la vallée de l'Arc est caractéristique des collines de Basse-Provence. Les adrets et les collines proches des agglomérations constituent de vastes zones dégradées en garrigues improductives. Les falaises et les rocailles représentent des milieux pauvres en sol et en végétation. Les pelouses à *Brachypodium phoenicoides* qui abondent auprès des axes routiers et dans les zones en cours d'urbanisation contrastent avec les vastes chênaies pratiquement climaciques des ubacs et vallons, dominées par les Chênes pubescents dans les zones les plus fraîches, ou par les Chênes verts dans les secteurs les plus arides.

Les dernières grandes forêts de Pins d'Alep ont pratiquement disparu ces dix dernières années ; ainsi, la végétation du versant sud du plateau du Cengle a été entièrement détruite par les incendies d'août 1986. Cette essence apparaît encore en plaine, au bas des versants, et autour des surfaces agricoles sous forme de bosquets ou de parcelles plus ou moins isolées.

La ripisylve de l'Arc, formation ligneuse assez claire, appartient à l'association *Populetum albae*.

Si l'on se réfère aux travaux de LOISEL (1976) "le *Populetum albae* n'est pas une association méditerranéenne bien que développée en bordure des fleuves méditerranéens : il doit être considéré comme une intrusion de la classe des *Querceto-Fagetea* en région méditerranéenne. La strate arborescente n'est jamais très élevée (7 à 8 mètres en moyenne) car souvent réduite par l'homme. Les arbres les plus fréquents sont outre les Peupliers, des Saules, des Frênes, de l'Orme... La strate arbustive est très pauvre et manque souvent ; elle est néanmoins bien individualisée dans la sous-association *ulmetosum*. La strate herbacée à recouvrement important est caractérisée par l'abondance d'*Arum italicum* et *Hedera helix*".

Toutes ces espèces ont été retrouvées dans l'une ou l'autre des stations prospectées, y compris les 3 Saules (*Salix alba*, *Salix elaeagnos*, *Salix cinerea*) caractéristiques d'une "immersion plus fréquente et prolongée" (MOLINIE et TALLON, 1950, in LOISEL 1976) ainsi que *Cucubalus baccifer*, *Iris foetidissima* et *Vinca major* dans la strate herbacée.

Cette ripisylve présente des stades de conservation très variables sur le cours de l'Arc.

Depuis sa source jusqu'aux environs de Pourcieux, l'Arc n'est constitué que par un petit ruisseau temporaire dépourvu de ripisylve : la végétation ripicole est alors essentiellement représentée par des Chênes pubescents. Le début de la véritable ripisylve (*Populetum albae* et son cortège floristique) n'apparaît qu'aux environs du Pont de Marius, mais déjà plus ou moins dégradée.

Entre Rousset et Aix-en-Provence, une belle forêt riveraine à Peupliers blancs alterne avec une strate arbustive très éclaircie par de récentes opérations de débroussaillage.

Les aménagements urbains au niveau d'Aix-en-Provence (routes, autoroute, bâtiments) et la présence de la zone industrielle de la Pioline à la sortie de la ville sont la cause de l'importante dégradation de la végétation dans cette zone.

L'association *Populetum albae* retrouve des conditions favorables et son aspect classique après la plaine des Milles, les activités humaines dans la basse vallée de l'Arc étant essentiellement agricoles. De remarquables sites présentant une strate arborescente haute et bien conservée (Peupliers blancs de plus de 10 m de haut) se rencontrent encore entre Saint-Pons et Coudoux.

Quant à l'embouchure de l'Arc, divers aménagements ont peu à peu dégradé ses rives et ses composantes floristiques naturelles.

La végétation riveraine qui colonise les affluents, surtout dans leurs derniers kilomètres, a souvent subi les mêmes dégradations que la ripisylve de l'Arc. C'est le cas de la Torse qui, au cours de la traversée de l'agglomération d'Aix-en-Provence, a perdu par endroit sa végétation à l'exception de quelques touffes de Ronces et arbustes épars.

A l'opposé, le ruisseau du Grand Torrent est bordé tout le long de son cours par une étroite ripisylve à Peupliers blancs avec son cortège floristique dans un bon état de conservation.

Les autres affluents présentent une végétation ripuaire plus ou moins altérée : l'Aubanède, petit torrent étroit sans véritable ripisylve, est bordé de Chênes pubescents et de Ronces. La végétation qui longe le Bayeux est très clairsemée avec quelques caractéristiques du *Populetum albae* telles que *Salix alba* et *Fraxinus angustifolia*. Le cours supérieur du Cause traverse

une chênaie à *Quercus pubescens*, puis présente un faciès à *Ulmus campestris*, *Cornus mas*, *Rubus sp.*. Une rangée de Peupliers blancs borde encore la Luynes dans son cours inférieur, situé dans la zone industrielle des Milles. Enfin, la Jouine coule sous une voûte végétale essentiellement constituée de Frênes, de Ronces, et de quelques Peupliers blancs.

Cette ripisylve joue un rôle de régulateur thermique des eaux des ruisseaux dont le couvert végétal est bien conservé. Ainsi, l'amplitude thermique la plus faible est observée dans le Grand Torrent alors que la basse Torse, dépourvue de végétation riveraine, est caractérisée par des écarts de température élevés.

Dans l'Arc, la ripisylve clairsemée favorise une instabilité thermique stationnelle et le réchauffement rapide des eaux d'amont en aval.

VI - ACTIVITES ANTHROPIQUES DU BASSIN DE L'ARC

L'Arc est l'exutoire principal des effluents issus des activités anthropiques de la partie Est du département des Bouches-du-Rhône.

Parallèlement à l'introduction de contaminants susceptibles d'altérer la qualité physico-chimique des eaux, des prélèvements réalisés tout au long de la rivière, destinés aux activités domestiques, industrielles et agricoles ont un impact difficilement appréciable sur le débit.

Les principaux foyers de pollution, localisés sur la figure 4, peuvent être répertoriés en 3 secteurs d'activités :

VI.1. URBANISATION

Son développement suit l'évolution démographique de la région qui a subi la plus forte croissance de France au cours des dernières années (Ministère de l'Agriculture, 1974).

Ce phénomène se traduit non seulement par l'évolution des grands centres urbains (Aix-en-Provence : plus de 140 000 habitants actuellement, croissance de 28 % de la population entre 1962 et 1968), mais surtout par le développement des communes rurales et hameaux tels que Bouc-Bel-Air, Eguilles,

Peynier ou Rousset dont la population a augmenté de 50 à 70 % pendant cette même période.

Les conséquences de la mutation des agglomérations sur la qualité des eaux du réseau de l'Arc sont d'autant plus importantes que l'équipement des communes en stations d'épuration ne suit pas l'expansion démographique, malgré un effort d'assainissement réalisé depuis quelques années. En particulier, les petites localités ne peuvent assumer financièrement l'achat et le fonctionnement d'un système d'épuration des rejets bien adapté quantitativement et qualitativement. (Rapport du laboratoire d'hydrologie et molysmologie aquatique - 1984).

Le problème devient plus aigu en été avec l'attraction touristique de la région et la surpopulation qui en résulte. C'est le cas de Chateauneuf-le-Rouge, commune de 285 habitants, qui accueille l'été près de 200 personnes supplémentaires. L'Arc et certains de ses tributaires doivent alors assurer en période d'étiage un rôle de véritable "égout" à ciel ouvert.

VI.2 . ACTIVITES INDUSTRIELLES

Deux foyers importants d'activités industrielles sont implantés sur le bassin de l'Arc :

- la zone industrielle de Rousset
- la zone industrielle de Gardanne qui affecte l'Arc par l'intermédiaire de la Luynes.

VI.2.1. Zone industrielle de Rousset

La Z.I. de Rousset est située en bordure de l'Arc. Trente deux industries d'importance variable y occupent environ 60 hectares.

Certaines d'entre elles évacuent des déchets à haut risque pour la qualité des eaux de l'Arc, d'autres n'utilisent l'eau qu'à des fins sanitaires ou pour le lavage des ateliers. Les établissements présentant le plus gros potentiel de pollution sont les suivants :

- "ORGAMETA" (fabrique d'oxyde de cadmium et de sels de nickel) rejette des effluents contenant des sels de calcium et de sodium, du cadmium, et surtout du nickel.
- "CHARFA et COFIRA" (fabrique de sacs en papier et d'emballages à base de

polyéthylène) rejette dans l'Arc des eaux riches en amidon, pigments, colorants et résines à base d'acétate de vinyle.

- "PEPRO" (production de pesticides) possède une station d'épuration et un traitement spécial pour l'endosulfan (organo-phosphoré très toxique). Les risques de pollution sont surtout importants dans les ateliers de préparation des produits liquides, en particulier par l'endosulfan.

- "FOURNIER DELILLE" (fabrication de détergents) élimine ses eaux résiduaires par l'intermédiaire d'une fosse septique. La perte ou l'entraînement accidentel de détergents peuvent provoquer une contamination.

VI.2.2. Zone industrielle de Gardanne

L'exploitation du bassin minier de Gardanne est à l'origine de l'installation de nombreuses industries ; deux d'entre elles prédominent, par leur importance et par les risques qu'elles présentent pour la qualité de la Luynes :

- "Aluminium Pêchiney" fabrique de l'alumine hydratée. Les résidus de boues rouges riches en silice, chaux, oxyde de fer et soude sont canalisés jusqu'à la fosse de Cassidaigne, au large de Cassis. Les risques de pollution proviennent d'éventuels accidents au niveau de l'évacuation des déchets.

- "Houillères de Provence" : le lignite du bassin de Gardanne alimente une centrale thermique. Le lessivage des aires de stockage du charbon et les rejets d'eau chaude peuvent avoir des conséquences importantes sur le cours d'eau.

Enfin, des entreprises plus modestes peuvent avoir un impact notable sur les eaux du bassin de Gardanne ; on peut citer par exemple une usine de carrelage, dont les particules minérales et de ciment sont entraînés par le ruisseau, et une fabrique de composés plastiques, dont les déchets non dégradables (billes de plastique de 2 à 4 mm de diamètre) provoquent une perturbation non négligeable, puisque ces résidus sont retrouvés intacts plusieurs kms en aval de la confluence de la Luynes avec l'Arc

VI.3. AGRICULTURE

L'agriculture, bien qu'elle ne soit pas l'activité économique dominante de la région, constitue un pôle d'activité encore important de la vallée de l'Arc. Culture et élevage s'orientent vers des pratiques plus intensives afin de compenser l'occupation de plus en plus grande des surfaces agraires

par de nombreuses résidences secondaires.

VI.3.1. Les activités culturelles

L'association "vignes-céréales-légumes de plein champ" est typique de la haute vallée de l'Arc et du pays d'Aix. Les cultures sous serres sont très répandues entre la Fare-les-Oliviers et l'étang de Berre.

Il est difficile cependant d'évaluer et de localiser les risques diffus de pollution du réseau de l'Arc provenant du lessivage par les eaux de pluie des épandages de fumures minérales et organiques utilisées pour ces cultures, fumures composées essentiellement d'azote, d'acide phosphorique et de potasse.

VI.3.2. L'élevage

La région de Trets-Rousset, dans la haute vallée de l'Arc, est soumise à une importante perturbation due à l'exploitation de vastes porcheries à proximité de l'Arc.

Le caractère industriel de cette production (18 000 porcs élevés par an), conduit à pratiquer l'élevage sur lisier pour 75 % du cheptel, d'où un problème d'élimination d'une très forte charge polluante composée de potassium, carbonates, phosphates et azote ammoniacal.

La gravité de l'impact sur la qualité des eaux varie en fonction de l'abondance du lisier, de la fréquence des rejets, de la proximité du lieu de déversement, de la nature du sol et de la saison.

Les élevages d'ovins, et surtout de bovins sont pratiquement absents de la vallée.

VI.3.3. Industries agricoles

L'industrie meunière, les silos de stockage, les fabriques de compost, les coopératives oléicoles (localisées à la Fare, Coudoux, Velaux) et vinicoles (situées surtout dans la haute vallée de l'Arc : 8 caves coopératives et 20 caves privées) représentent l'activité agro-alimentaire du bassin de l'Arc.

Les nuisances qui résultent de l'industrie vinicole sont les plus importantes. La production d'effluents à forte charge organique, riches en

substances azotées, pectiques, phénoliques et matières minérales variées (sulfates, phosphates, potassium, calcium, magnésium) provient, en période de vendange et de vinification, de diverses opérations : détartrage et désinfection des cuves, élimination des lies de vin, filtration sur plaque d'amiante ou filtres à diatomées.

VII - CHOIX ET DESCRIPTION DES STATIONS D'ETUDE

L'hétérogénéité du réseau hydrographique de l'Arc et la complexité des nuisances qui l'affectent ont orienté notre choix vers 2 types de stations d'étude :

- Des stations situées sur le cours principal de l'Arc

Les 9 stations (A₁ à A₉) situées sur l'Arc vont permettre d'établir un diagnostic écologique des eaux de ce fleuve, de suivre l'impact global de multiples apports exogènes, diffus ou localisés, et enfin, d'évaluer sa capacité d'auto-épuration.

- Des stations situées sur les affluents

Sept affluents sont prospectés, dont l'un en 2 points (stations B₁ à B₈). Chacun d'eux présente une situation écologique particulière liée à l'action - ou à l'absence - d'agents polluants d'origines diverses (urbanisation, industrie, agriculture). Les réponses du milieu aux problèmes spécifiques auxquels ils sont soumis pourront être analysées et comparées.

Les caractéristiques topographiques de chaque station (altitude, distance source-station ou source-confluence de l'affluent, largeur moyenne du lit, coordonnées Lambert) ainsi que leur codage sont rassemblées dans le tableau IV. Leur localisation est représentée sur la figure 1.

VII.1. COURS PRINCIPAL DE L'ARC

Station A₁ - St-Pilon

Un kilomètre en aval d'une retenue artificielle qu'alimentent les sources de l'Arc. Celui-ci est représenté par un petit filet d'eau à régime temporaire (à sec en novembre 83, septembre 84, juillet 85) qui coule sur un substrat de graviers et cailloux entre des berges escarpées colonisées par une

STATION	CODE	Altitude	Distance Source-Station ou Source-Confluence de l'affluent (km)	largeur du lit (m)	Coordonnées Lambert Zone III	
					x	y
ST PILON	A1	385 m	3	0,5	881,05	3134,93
POURCIEUX	A2	340 m	6,5	1,2	880,1	3134,93
MARIUS	A3	245 m	20	2,0	873,55	3137,5
ROUSSET	A4	195 m	31	4 à 5	863,43	3135,93
BACHASSON	A5	175 m	37	6	857,52	3137,55
PIOLINE	A6	120 m	47	10	848,35	3138,93
ST_PONS	A7	100 m	55	20	843,38	3138,43
COUDOUX	A8	41 m	68,5	10	833,63	3142,58
BERRE	A9	15 m	80	8	829,05	3138,05
ADBANÈDE	B1	240 m	21	1	873,4	3136,75
BAYEUX	B2	165 m	38,5	2	858,4	3139,05
CAUSE	B3	162 m	41,5	2	855,23	3139,55
BASSE TORSE	B4	159 m	43,3	2	852,68	3141,23
HAUTE TORSE	B5	300 m		0,6	854,3	3142,3
LUYNES	B6	119 m	50	3	847,68	3138,58
JOUINE	B7	102 m	55	2	843,93	3137,98
GD TORRENT	B8	92 m	58	2 à 4	841,55	3138,9

TABLEAU IV - Caractéristiques topographiques et codage des stations d'étude.

végétation riveraine à Chênes pubescents.

Station A2 - Pourcieux

L'Arc à l'est de Pourcieux est encore un petit ruisseau à régime temporaire. Les prélèvements sont réalisés en amont du passage du cours d'eau sous l'autoroute A8.

Cette station référence est située dans une zone naturelle, seules quelques terres agricoles dispersées en amont de ce point témoignent d'activités humaines.

Le lit, encaissé entre des rives abruptes colonisées par des Chênes pubescents et des Ronces, présente une succession de petits seuils formés par des affleurements de la roche mère, et de mouilles retenant un substrat graveleux et quelques galets encroutés.

Station A3 - Marius

Cette station est située au sud de Pourrières sous le pont de la D23.

A ce niveau, le fleuve véhicule les eaux de la Tunc, chargées des effluents de la commune de Pourrières.

Un faible débit, des berges meubles et peu en pente, une importante accumulation de matière organique végétale exogène (feuilles et brindilles), un substrat sableux et caillouteux, caractérisent cette station à faciès lénitique dominant.

Station A4 - Rousset

Ce site a été choisi en aval de la commune et de la zone industrielle de Rousset et du village de Trets autour duquel sont implantés de grands élevages porcins.

Le lit de l'Arc se présente sous la forme d'une retenue naturelle d'eau calme de 20 mètres sur 30 mètres en aval du pont de la D46b, puis se rétrécit, créant ainsi une zone de rapides où sont effectués les prélèvements.

La ripisylve à *Populetum albae* est de belle venue et envahit les berges peu élevées mais escarpées ; actuellement, (1987), seule subsiste la végétation arborescente, la strate arbustive ayant fait l'objet d'un débroussaillage au cours de l'été 85.

Le substrat - gros blocs et cailloux - est couvert par un abondant

périphyton ; quelques touffes de *Potamogeton filiforme* et d'*Apium nodiflorum* s'accrochent en bordure de la zone à faciès lotique, alors que les Scirpes se développent autour de la pièce d'eau.

Station A5 - Bachasson

Elle se situe 6 kilomètres en aval de "Rousset", au pont de la D58j. L'absence d'apport allochtone majeur entre ces 2 stations devrait permettre d'évaluer le pouvoir auto-épurateur ce tronçon de l'Arc.

Le lit est constitué de gros cailloux et de graviers recouverts de périphyton et de mousses ; les bords du cours d'eau sont parsemés de quelques macrophytes (*Apium nodiflorum*). La lame d'eau, de 20 à 30 cm d'épaisseur, s'écoule rapidement (80 à 150 cm/s) dans tout ce secteur.

Station A6 - Pioline

Cette station se situe entre la sortie sud-ouest d'Aix-en-Provence et la zone industrielle de la Pioline, à une centaine de mètres en aval du déversoir de la station d'épuration de la ville.

Le lit de l'Arc, calibré par de hauts remblais, est constitué d'affleurements de la roche mère et de galets dont les interstices sont colmatés par de la vase et par la décantation d'abondantes matières en suspension.

Station A7 - St-Pons

Au lieu-dit "St-Pons", l'Arc s'étale sous les piles d'un vieux pont (D.543) ; les berges sont escarpées et envahies par la végétation sur la rive droite, sableuses et à faible déclivité sur la rive gauche. Le fond du lit est constitué de sable, graviers et galets sur lesquels des Algues filamenteuses se développent abondamment.

Station A8 - Coudoux

En aval des gorges de Roquefavour, après le passage de l'autoroute A7, l'Arc présente un faciès homogène et régulier.

Les prélèvements sont réalisés en bordure du lit constitué de galets et graviers colmatés par de la vase.

Les berges peu élevées sont occupées par une importante ripisylve.

Station A9 - Berre

Située au nord de Berre (en aval de la ligne de chemin de fer) et

suffisamment en amont de l'embouchure de l'Arc (5 km) pour éviter l'influence des remontées d'eaux saumâtres de l'étang de Berre.

En période de hautes eaux, l'Arc profond de 1 à 1,5 mètres déborde et inonde alors sa rive droite, berge meuble et instable (vase) occupée par une belle roselière, située 50 cm au-dessus du lit mineur.

Le substrat vaseux est parsemé de blocs et cailloux entre lesquels s'accrochent quelques macrophytes.

VII.2. AFFLUENTS

Station B1 - l'Aubanède

Ce petit ruisseau a été prospecté 500 m en amont de sa confluence sur la rive gauche de l'Arc (pont de la D.23).

Sa situation dans la haute vallée de l'Arc et l'absence d'apport exogène notable permettent de le considérer comme une référence de l'état initial de l'Arc, référence complémentaire de la station de Pourcieux. Ce cours d'eau subit les mêmes influences que le cours supérieur de l'Arc, mais n'en possède pas les caractéristiques de temporarité.

Les berges sont abruptes mais stabilisées par la végétation riveraine ; le lit étroit présente une profondeur variant de quelques cm à 0,5 m ; le substrat est composé de galets complètement enrobés d'une croûte calcaire sur laquelle se développe modérément une communauté d'Algues phytoplanctoniques.

Station B2 - Le Bayeux

Ce ruisseau draine une partie des eaux du versant sud de la chaîne de la Sainte-Victoire, zone naturelle protégée, avant de se jeter sur la rive droite de l'Arc au lieu-dit "Pont de Bayeux" ; l'absence de perturbation dans ce secteur privilégié a déterminé le choix de cet affluent.

La station prospectée se situe 2 km en amont de la confluence Bayeux-Arc. Le cours d'eau, dont les rives sont instables, présente une alternance de seuils à substrat très encroûté et de mouilles à fond meuble argileux où prolifèrent des *Chara*.

Station B3 - Le Cause

Le cours du Cause est interrompu par 2 barrages artificiels au pied du versant nord de la Sainte-Victoire (retenues de Bimont et Zola), puis coule

entre des gorges étroites avant de traverser les agglomérations du Tholonet et de Palette, et de rejoindre l'Arc en aval de "Bachasson" (A5).

La station B3 est localisée entre ces deux communes, à 1,5 km de la rive droite de l'Arc. Le lit du ruisseau peut contenir un volume d'eau variant de 50 à 240 l/s entre des berges raides où se développe une belle ripisylve.

Le substrat, constitué de blocs et de galets, est recouvert par endroits d'une abondante couche de débris végétaux à divers stades de dégradation. L'épaisseur de la lame d'eau varie de 10 cm dans les zones rapides, à 60 cm dans les secteurs lents.

Stations B4 et B5 - La Torse

Ce ruisseau prend sa source au nord-est d'Aix-en-Provence dont il traverse la banlieue est avant de se jeter dans l'Arc.

Les stations B4 et B5 sont situées l'une (B5) en amont de la ville, au bord de la D10 ; l'autre (B4) en zone urbaine, au passage de la D17. L'étude de ces 2 points devrait permettre d'observer les réactions de l'hydrosystème "Torse" à des apports exogènes liés à l'urbanisation.

La "haute Torse" (B5) se présente comme un ruisseau étroit, de faible débit, avec succession de petites cascades dont les vasques sont peu à peu comblées par l'importante accumulation de débris végétaux. Le substrat est très encroûté, sous forme de dépôts irréguliers et spongieux caractéristiques des tufs. Il en est de même des feuilles en cours de dégradation qui sont complètement enrobées d'un encroûtement calcaire.

Au niveau de la "basse Torse" (B4), le lit du ruisseau profond de 10 à 50 cm est encaissé entre des berges hautes et abruptes, bétonnées par endroit. Le fond du lit est sableux, parsemé de graviers et de cailloux, mais aussi d'innombrables objets et déchets domestiques qui donnent à la station une véritable allure de "décharge" sauvage.

Station B6 - La Luynes

Ce ruisseau draine le bassin de Gardanne, traverse la commune de Luynes avant d'atteindre l'Arc dans la plaine des Milles.

La station B6 se situe 300 m en amont de la confluence, et doit

permettre d'évaluer les réponses de l'écosystème aquatique à une perturbation d'origine essentiellement industrielle. Sable, graviers et vase constituent le fond du lit, masqué en général par la turbidité de l'eau. Les berges escarpées sont très broussailleuses et difficilement accessibles.

Station B7 - La Jouine

La Jouine réunit les eaux du Grand Vallat et de la Petite Jouine qui traversent un secteur à vocation agricole parsemé de communes rurales et de nombreuses agglomérations résidentielles : Bouc-Bel-Air, Simiane, Cabriès.

Ce cours d'eau, prospecté 800 mètres avant sa confluence sur la rive gauche de l'Arc (sous le pont de la D65), recueille les rejets diffus et ponctuels de nutriments provenant des activités domestiques et surtout agricoles développées sur son bassin versant.

Au niveau de cette station, la Jouine est encaissée entre des berges abruptes et relativement stabilisées par des ronces et des plantes nitrophiles. Les zones à faciès lotique dominant dans cette portion du ruisseau ; la profondeur atteint 30 à 60 cm. Le substrat est composé de graviers et cailloux.

Station B8 - Le Grand Torrent

Trois cents mètres avant sa confluence avec l'Arc, au lieu-dit "Clos Marie-Louise", le Grand Torrent est encaissé entre une falaise calcaire en rive droite et une berge gauche moyennement abrupte. Il présente une alternance de zones étroites et profondes (1 à 1,5 m) à faciès lénitique, et de zones larges et de faible épaisseur (15 cm) à faciès lotique.

Le substrat caillouteux est parsemé de quelques gros blocs et troncs d'arbres contre lesquels s'accumulent les feuilles et débris végétaux emportés par le courant.

Les communautés d'Algues périphytiques sont peu développées, le ruisseau étant constamment protégé du soleil par une très belle ripisylve. Le débit est variable (150 à 320 l/s), le Grand Torrent est en effet alimenté, en plus de sa source, par la surverse du bassin du Réaltor situé 6 km en amont, sur le plateau de l'Arbois.

Les eaux de ce torrent traversant des espaces naturels constituent la seule arrivée d'eau non polluée dans le secteur aval de l'Arc.

CHAPITRE II

HYDROCHIMIE

Le chimisme des eaux de l'Arc est étudié (dans les 17 stations décrites) à l'aide de 18 paramètres (cf annexe I : méthodologie) au cours de 11 campagnes s'échelonnant de novembre 1983 à juillet 1985 (résultats : annexe II).

L'analyse synchronique de chaque descripteur physique ou chimique est réalisée dans le cours axial de l'Arc et dans les 7 affluents prospectés.

L'utilisation d'analyses multivariées permet ensuite de mettre en évidence le fonctionnement hydrochimique de l'Arc. Elle a pour but de dégager une hiérarchisation des diverses situations de l'hydrosystème "Arc" en fonction des 18 variables analysées à partir d'une matrice de données réduite à une série de prélèvements estivaux.

Enfin, à partir de cette hiérarchie j'essaierai d'établir une "typologie" de la qualité des eaux, chaque type déterminé étant représentatif d'une situation hydrochimique particulière, donc lié à la nature des éléments véhiculés par le milieu aquatique.

I - ANALYSE SYNCHRONIQUE DES DESCRIPTEURS ABIOTIQUES

I.1. - TEMPERATURE (fig. 7a)

Les températures mesurées dans l'ensemble du réseau varient de 4° C en janvier 85 en A₁ (St-Pilon) à 28,1° C en juillet 85 en A₆ (La Pioline).

L'amplitude thermique annuelle est faible (12° C) dans le crénon et l'épirhithron (stations A₁, A₂, A₃), puis augmente dans la moyenne vallée de l'Arc (16° à Rousset, station A₄) pour atteindre 20° C à la Pioline. Cette valeur se stabilise dans le potamon.

Les températures du Bayeux, du Cause, de l'Aubanède et du Grand

Torrent, qui traversent des sites encore naturels, ne dépassent pas 19,2° C au cours de l'année, l'amplitude thermique variant de 10,3 à 11,9° C. Par contre, dans la Torse, la Jouine, et la Luynes, qui reçoivent les effluents d'agglomérations ou d'industries, l'amplitude oscille entre 14,1 et 17,9° C, et les températures atteignent 25,6° C en B6 (La Luynes) et 25,2° C en B4 (Basse Torse) en juillet 85.

I.2. - pH (fig. 7a)

Les valeurs sont comprises entre 4 à la source de l'Arc, et 9,4 dans la Luynes.

A St-Pilon (A1) elles sont toujours très faibles au cours du cycle annuel (de 4 à 6,6). La seule hypothèse qui puisse être retenue pour expliquer ce phénomène particulier est la présence de CO₂ liée au passage de l'eau sur des sols humifères (ROUSSET, comm. oral.).

Dès Pourcieux les eaux deviennent neutres à légèrement alcalines, situation caractéristique des cours d'eau en région calcaire. (classes 3 à 5 de NISBET et VERNEAUX, 1970 *).

Les stations situées dans la partie inférieure de l'Arc (St-Pons, Coudoux, Berre) et certains affluents (Luynes, Jouine) présentent un pH moyennement alcalin qui correspond pour NISBET et VERNEAUX (1970) "aux zones inférieures des réseaux et aux eaux closes ou assimilées" (classe 6 : $8 \leq \text{pH} < 9$).

La forte alcalinité des eaux de la Luynes (pH maximal relevé : 9,4) est due aux apports de l'un de ses affluents provenant d'une retenue destinée à la décantation de l'effluent d'une usine de Gardanne et dont le pH peut atteindre 11,5 au cours de certaines périodes.

I.3. - TENEURS EN OXYGENE DISSOUS (fig. 7a)

Pour l'ensemble des stations et des prélèvements, le pourcentage de saturation en oxygène dissous est compris entre 42 et 130 %.

Les situations "critiques" vis à vis de cet élément (classe 4, c'est-à-dire un pourcentage de saturation en O₂ inférieur à 50 %) sont observées

* Dans la suite du texte, les classes utilisées pour les facteurs abiotiques, et leur seuil critique de pollution, sont ceux proposés par ces auteurs.

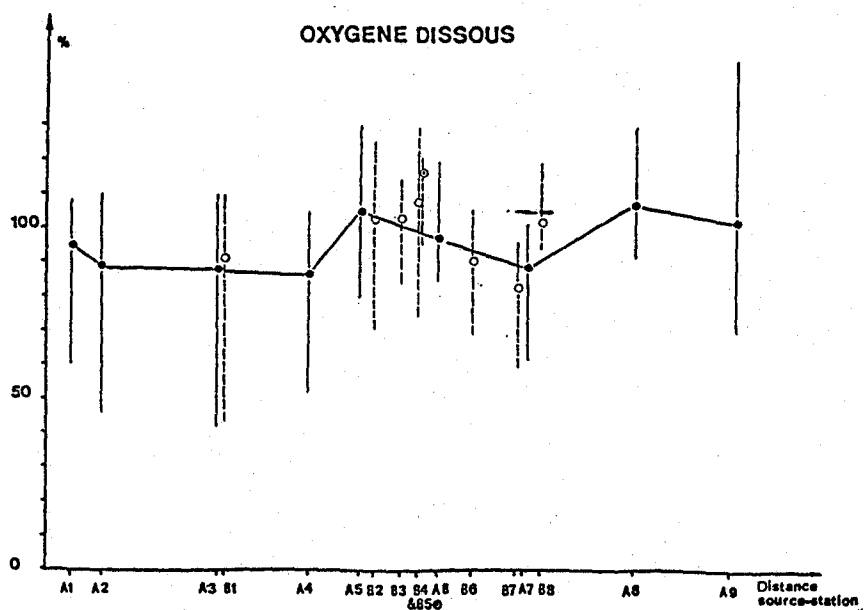
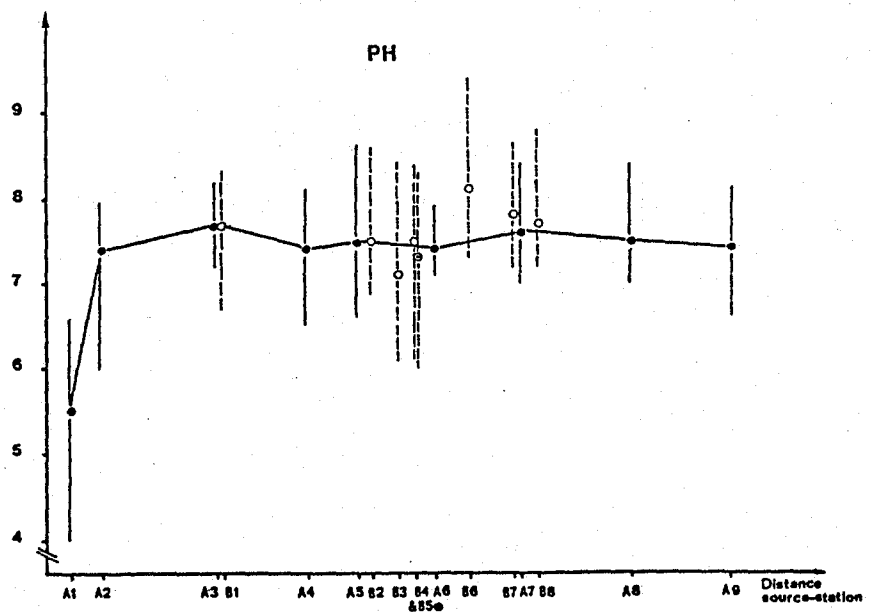
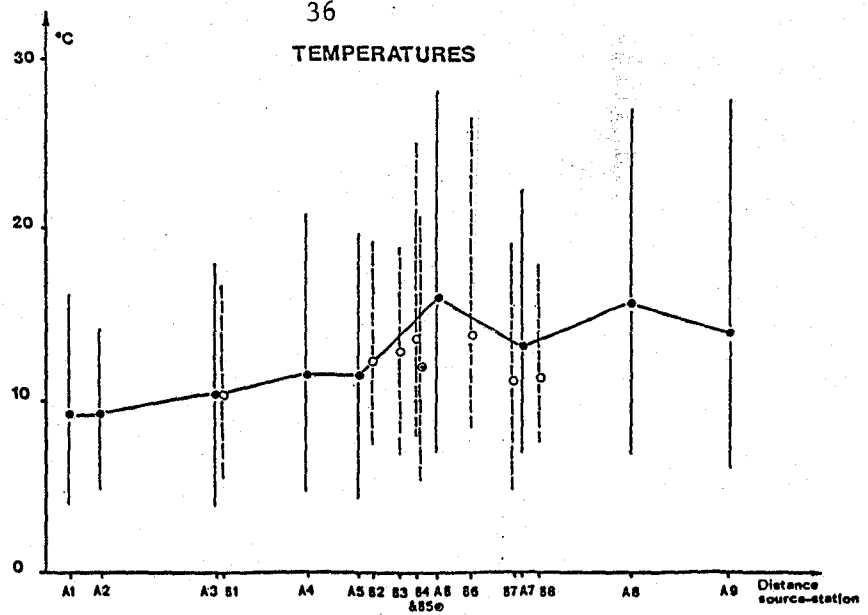


FIGURE 7a - Evolution spatiale des descripteurs physico-chimiques dans l'Arc (●:A1 à A9) et ses affluents (○:B1 à B8):moyenne des valeurs de 11 campagnes (novembre 1983 à juillet 1985), (●○:valeurs minimales et maximales).

de façon ponctuelle à Pourcieux (A2), et sont fréquentes jusqu'à Rousset (A4). A Bachasson (A5) l'oxygénation est toujours satisfaisante, voire même bonne ; cette situation se maintient jusqu'à Berre (A9).

Parmi les affluents certains présentent une saturation en O₂ plus élevée, parfois même une sursaturation (Bayeux, Cause, Aubanède, Torse, Grand Torrent). D'autres (Luynes, Jouine) n'atteignent jamais cette sursaturation mais demeurent cependant dans des limites normales.

Divers facteurs sont à l'origine de la variabilité des teneurs en oxygène dans un cours d'eau.

Certains favorisent un pourcentage de saturation en oxygène élevé : c'est le cas de l'activité photosynthétique des végétaux aquatiques, des faibles températures, et de la turbulence des eaux ; ces deux derniers paramètres caractérisent les affluents B₁, B₂, B₃, B₄, B₅ et B₈. A Bachasson (A5), le déficit amont en O₂ semble être compensé par la turbulence des eaux, comme le remarque également le laboratoire d'hydrobiologie de la faculté de Pharmacie de Marseille (1984) et par l'abondance des macrophytes aquatiques. C'est aussi le cas des stations situées en aval d'Aix qui équilibrent de cette façon, avec plus ou moins de réussite, les demandes en oxygène dissous du milieu.

L'action de facteurs antagonistes tels que les températures élevées et la biodégradation des multiples altéragènes riches en composés organiques tend à faire baisser la teneur en oxygène du milieu. Cette situation apparaît dès les premiers kilomètres de l'Arc où la capacité d'oxygénation du fleuve est médiocre en raison d'un très faible débit, et malgré une faible demande en oxygène du milieu. Entre Trets et Bachasson, l'enrichissement du cours d'eau en nutriments exogènes, notamment en ammoniac, à la suite du rejet des lisiers des 18000 porcs élevés chaque année dans la région de Trets, provoque une consommation en oxygène très élevée que le milieu ne peut compenser qu'à partir de Bachasson. Il se crée alors un équilibre fragile entre l'offre et la demande en oxygène tout au long de l'Arc, malgré les fortes sollicitations du milieu pour l'oxydation des matières organiques. Cet équilibre semble bien établi dans les derniers kilomètres.

Malgré un pourcentage de saturation en oxygène plutôt satisfaisant, à quelques exceptions près, sur l'ensemble du réseau, l'oxygène ne peut être considéré comme un indicateur de bonne qualité des eaux, l'analyse d'autres composants chimiques démontrant par la suite l'existence d'une pollution insidieuse ou franche dans de nombreux secteurs de l'Arc.

I.4. - D.B.O.5 (fig. 7 b)

Les valeurs mesurées, qui traduisent la charge de l'eau en matières organiques biodégradables, sont très variables pour une même station.

Le seuil critique estimé par NISBET et VERNEAUX à 3 mg/l est dépassé dès la station A₃ (Marius) de façon occasionnelle et régulièrement à partir de la station A₄ (Rousset).

Selon RAMADE (1982), ce seuil doit être fixé à 5 mg/l ; il ne serait alors franchi dans l'Arc qu'à partir de la Pioline (A6).

La situation reste "douteuse" ou "anormale" (classe 3 et 4 pour un ensemble de 4 classes) jusqu'à Berre (A₉ : 5,8 mg/l d'O₂ en moyenne) ce qui confirme l'existence d'une forte charge en matières organiques dans le cours principal de l'Arc.

L'ensemble des affluents se situe dans les classes 1 et 2, c'est-à-dire dans une situation "normale" ou "acceptable", la Luynes (B₆) et la Jouine (B₇) se différenciant une nouvelle fois par des valeurs très élevées : jusqu'à 10 mg/l d'O₂ dans la Luynes (classe 4).

I.5. - CONDUCTIVITE ELECTRIQUE (fig. 7b).

Elle varie de 200 à 950 μ S dans le réseau de l'Arc. Ces valeurs correspondent aux classes 5 à 8, et témoignent d'une minéralisation "assez forte à excessive".

Les stations A₁ et A₂ présentent une minéralisation élevée (classe 7) qui, en l'absence de tout contaminant, semble due à la stagnation des eaux dans le bassin de rétention situé immédiatement à l'aval de la source et à la faiblesse du courant dans toute cette zone.

L'augmentation des teneurs en sels minéraux en aval est due à la nature calcaire des terrains traversés. A ce phénomène endogène (augmentation du degré de minéralisation d'amont en aval) qui se manifeste dans la plupart des cours d'eau et qui a été observé dans notre région par de nombreux auteurs : GIUDICELLI et al (1980) dans l'Argens (Var), VESPINI (1985) dans le Buëch (Alpes de Haute Provence), ORSINI (1986) dans le Rizzanèse (Corse), se juxtapose un enrichissement artificiel dès la station de Marius (A₃) lié aux rejets des acti-

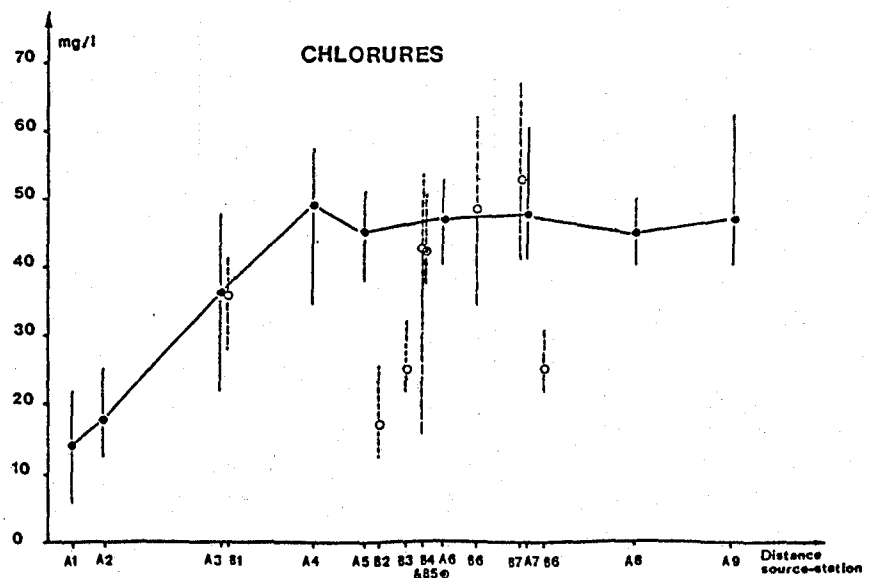
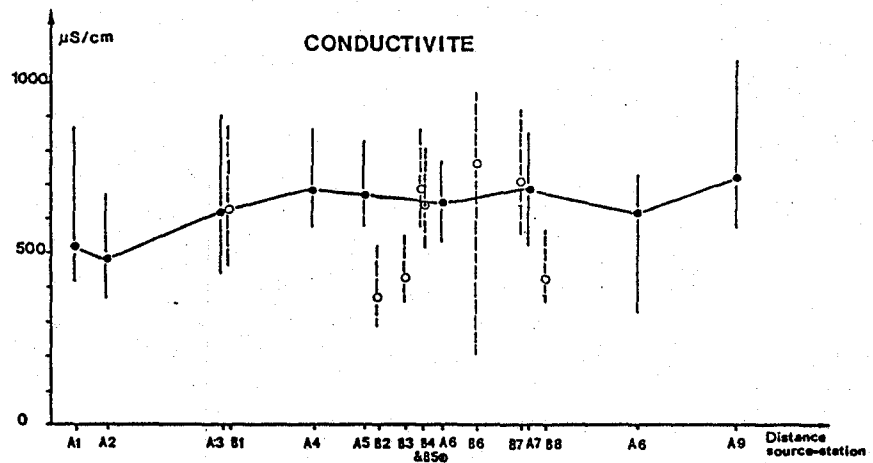
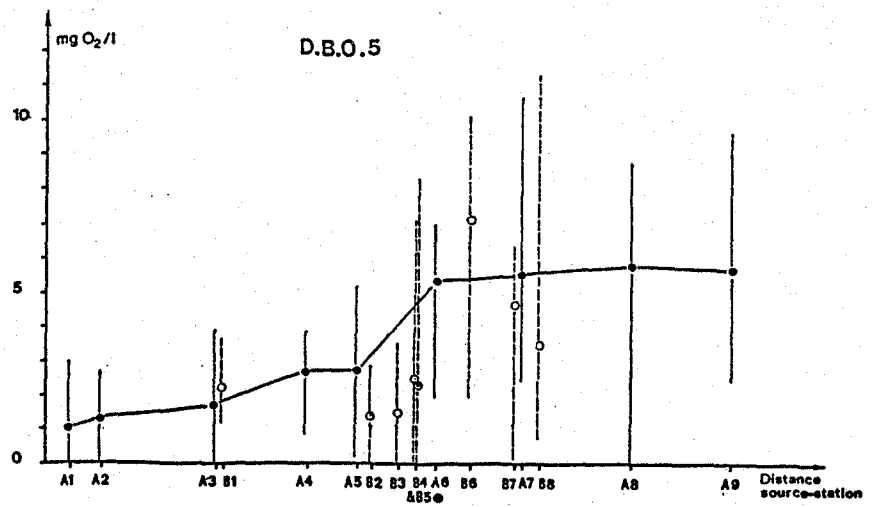


FIGURE 7b - Evolution spatiale des descripteurs physico-chimiques dans l'Arc (●:A1 à A9) et ses affluents(○:B1 à B8):moyenne des valeurs de 11 campagnes(novembre 1983 à juillet 1985),(○●valeurs minimales et maximales).

vités anthropiques implantées sur le bassin de l'Arc.

De même, une forte conductivité caractérise deux affluents : la Luynes (conductivité moyenne sur 11 prélèvements : 760 μS) et la Jouine (710 μS).

Dans l'Aubanède (B₁) et la Haute Torse (B₅), la minéralisation élevée des eaux est due à de fortes teneurs en calcium qui provoquent un encroûtement du substrat par précipitation du CO_3CA .

I.6. - TENEURS EN CHLORURES (fig. 7b)

Dès la station de Marius (A₃), les teneurs en chlorures dépassent dans l'Arc le seuil critique de pollution estimé par NISBET et VERNEAUX à 20 mg/l et atteignent 36,7 mg/l en moyenne ; le taux maximal a été observé dans la Jouine avec 67 mg de Cl^- par litre en mars 84.

L'étude synchronique de cet élément dans l'Arc montre une forte augmentation de la concentration en ions Cl^- jusqu'à Rousset (A₄, 49,2 mg/l) puis une stabilisation jusqu'à Berre (A₉, 46,7 mg/l) avec parfois un petit pic au niveau de St-Pons (A₇). Les teneurs varient ainsi entre 40 et 60 mg/l et témoignent d'une importante pollution chronique sans atteindre toutefois les valeurs extrêmes mesurées dans la moyenne Durance (280 mg/l) en aval des usines chimiques de St Auban par R. PREVOT (1984) ou les 250 mg/l observés dans la Saône par HERGUEZ (1965) *in* NISBET et VERNEAUX (1970).

La Luynes (B₆), la Jouine (B₇), et la Torse (B₄) ont également des teneurs très élevées (respectivement 49,5 et 43 mg/l en moyenne), "teneurs excessives très souvent indice d'une pollution urbaine ou industrielle particulière" (VERNEAUX, 1968), ce qui est le cas de ces 3 affluents.

Enfin le Bayeux (B₂), le Cause (B₃) et le Grand Torrent (B₈) ont des eaux riches en chlorures (taux voisin de 20 mg/l), phénomène fréquent et normal en région calcaire.

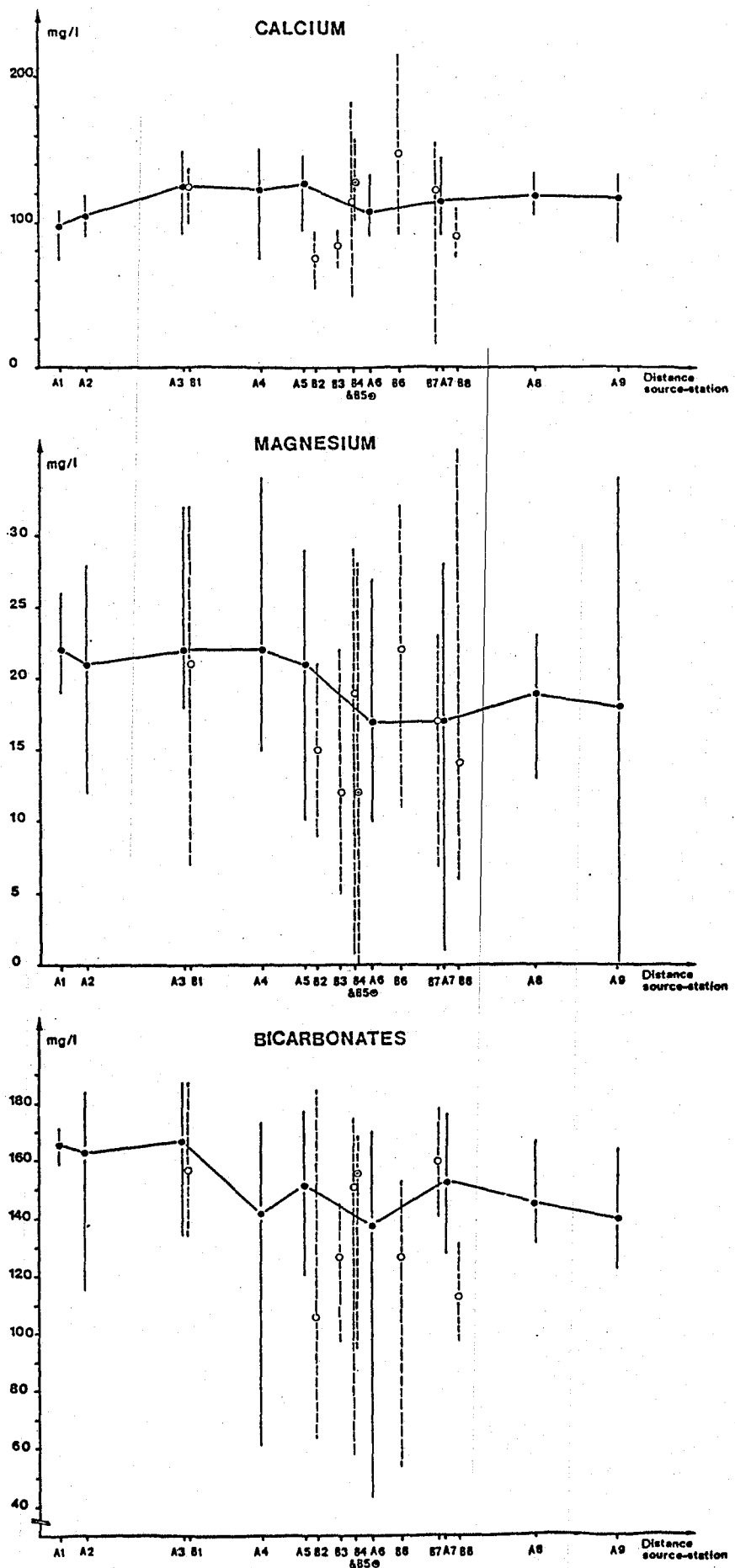


FIGURE 8a - Evolution spatiale des descripteurs physico-chimiques dans l'Arc (●:A1 à A9) et ses affluents(○:B1 à B8):moyenne des valeurs de 11 campagnes(novembre 1983 à juillet 1985),(●○:valeurs minimales et maximales).

I.7. - TENEURS EN ALCALINO-TERREUX

I.7.1.- Calcium (fig. 8 a)

Les teneurs en calcium, comprises entre 1 et 150 mg/l dans les eaux courantes naturelles selon la nature des terrains traversés, varient dans le réseau de l'Arc de 50 mg/l (Basse Torse en mai 85) à 216 mg/l (Luynes en septembre 84).

Dans l'ensemble, la dureté calcique des eaux est liée à la nature géologique du bassin étudié (région calcaire pour l'Arc). Les fluctuations constatées d'une station à l'autre suivent celles de la conductivité électrique.

Ainsi, dans le cours principal de l'Arc, les teneurs en calcium sont fortes dès sa source (74 à 108 mg/l) et augmentent d'amont en aval pour atteindre 86 à 160 mg/l à Berre. Cette évolution semble naturelle, sauf en 2 points où les concentrations en calcium augmentent brusquement : à la station de Marius (A3) dans la haute vallée (augmentation liée au déversement des eaux résiduaires de la ville de Pourrières), et à la Pioline (A6) (rejets de la station d'épuration d'Aix-en-Provence).

A l'opposé un phénomène de dilution semble se produire entre Bachasson et Aix, vraisemblablement par l'apport des eaux du Bayeux (B2) et du Cause (B3) moins chargées en ions Ca^{++} .

Dans les affluents, les teneurs sont très variables et permettent de dégager 3 groupes d'affluents vis à vis de cet élément :

- Le Bayeux (B2), le Cause (B3) et le Grand Torrent (B8) avec des teneurs en calcium relativement constantes (voisines de 100 mg/l) et qui reflètent la nature du substratum géologique de ces ruisseaux.

- L'Aubanède (B1) et la Torse (B4 et B5) dans lesquels les concentrations peuvent atteindre 150 mg/l. Ces deux affluents ne sont soumis en apparence à aucun rejet anthropique (sauf en B4) mais présentent un substrat très encroûté, lié à la présence de nombreux ions Ca^{++} .

- La Luynes (B6) et la Jouine (B7) avec des taux variant de 94 à 216 mg/l (moyennes respectives : 148 et 123 mg/l), valeurs élevées ayant vraisemblablement pour origine les activités industrielles et agricoles des bassins de Gardanne et de la Jouine.

I.7.2. - Magnésium (fig. 8 a).

Les valeurs extrêmes de magnésium relevées dans l'ensemble du réseau sont 0 et 36 mg/l. Les taux les plus fréquents appartiennent aux classes 4 et 5 (de 10 à 30 mg/l) et caractérisent un substrat de roches sédimentaires calcaïques et magnésiennes.

I.8. - ALCALINITE (fig. 8 a).

Pour l'ensemble des stations au cours des 11 séries de prélèvements, les valeurs mesurées correspondent aux classes 4 et 5 caractérisant une alcalinité moyenne d'eaux très productives et à pouvoir tampon élevé.

Le taux d'ions HCO_3^- est stable au niveau stationnel, et varie peu dans le réseau de l'Arc.

I.9. - TENEURS EN SULFATES (fig. 8 b)

La concentration en ions sulfates des eaux naturelles est très variable (de 30 à 50 mg/l dans les terrains pauvres en sulfates minéraux à 300 mg/l dans les zones contenant du gypse, selon RODIER, 1984).

Les valeurs mesurées dans le cours principal de l'Arc (20 à 150 mg/l) appartiennent aux classes 3 à 6 et témoignent d'une "situation particulière" due à des "eaux plus ou moins séléniteuses ou polluées".

L'enrichissement du fleuve en ions SO_4^{--} est régulier depuis la station A₃ (Marius, 87 mg/l en moyenne) jusqu'à la station A₉ (Berre, 112 mg/l) seule une légère baisse est enregistrée en A₆ (la Pioline, 88 mg/l) liée semble-t-il à la dilution des eaux de l'Arc en amont d'Aix par le Bayeux et le Cause, affluents moins chargés en sulfates (respectivement 42 et 29 mg/l).

L'influence du substrat géologique, bien que non négligeable (le Bayeux (B₂), le Cause (B₃), le Grand Torrent (B₈) présentent des teneurs élevées, de 10 à 100 mg/l, liées seulement au lessivage de leur bassin versant), n'explique pas à elle seule l'augmentation du taux de sulfates à partir de la station A₃. En effet, les effluents industriels et l'utilisation d'engrais chimiques riches en soufre entraînent un apport supplémentaire en ions SO_4^{--} que l'on décèle également dans la Jouine (teneurs variant de 100 à 150 mg/l) et surtout dans la Luynes. Les teneurs en sulfates y dépassent fréquemment

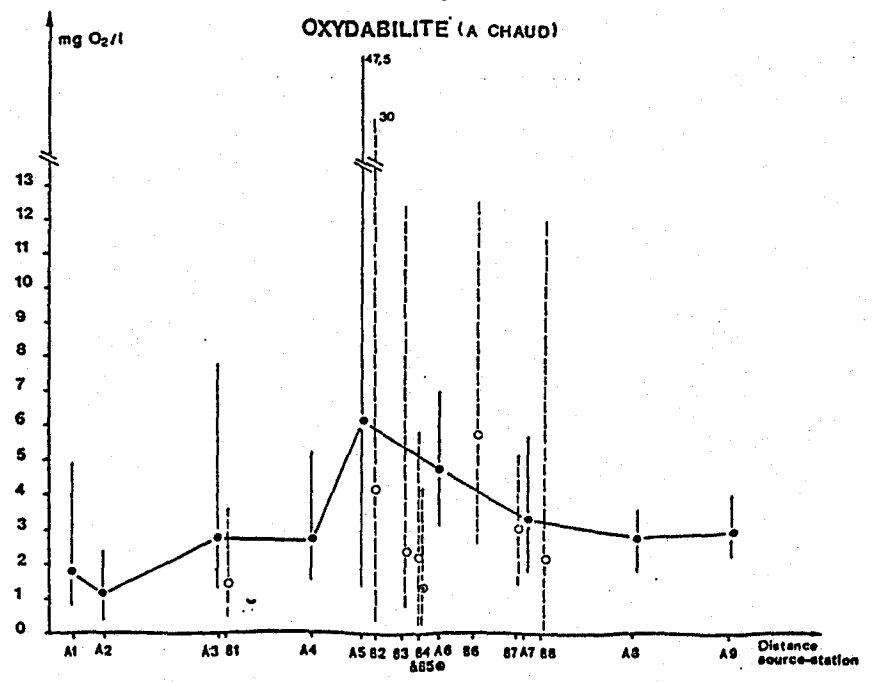
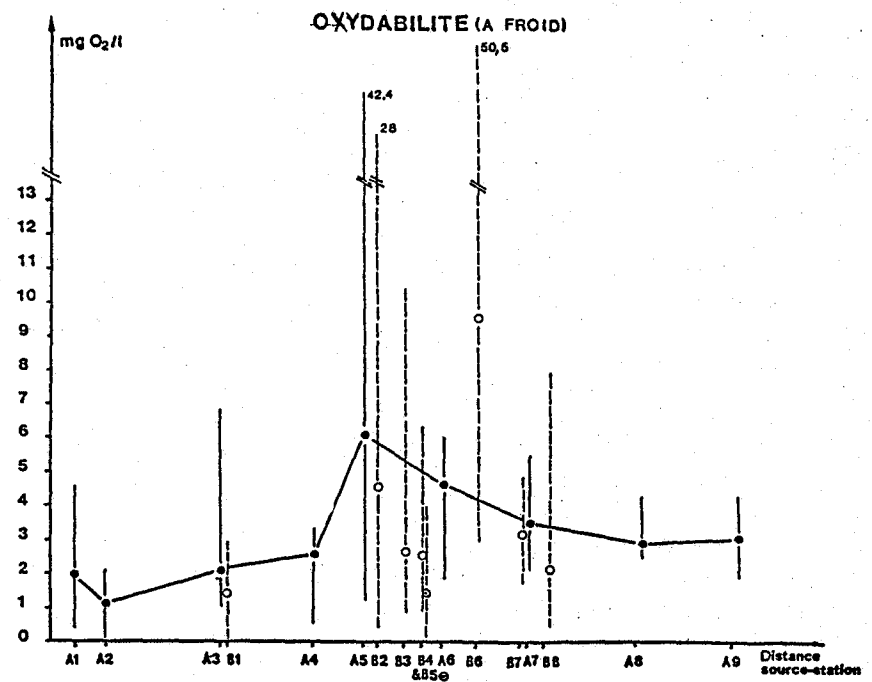
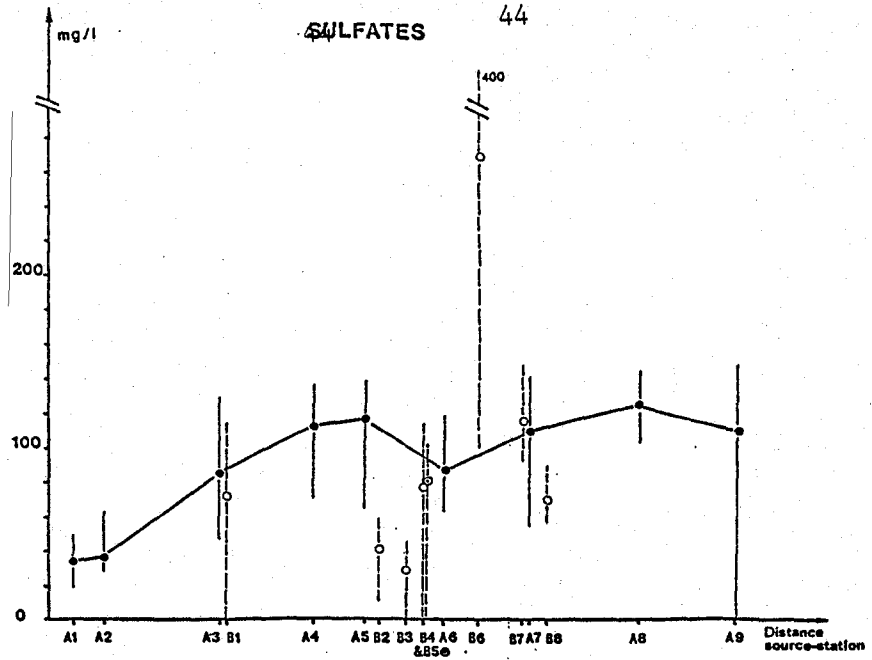


FIGURE 8b - Evolution spatiale des descripteurs physico-chimiques dans l'Arc (● : A1 à A9) et ses affluents (○ : B1 à B8): moyenne des valeurs de 11 campagnes (novembre 1983 à juillet 1985), (○ : valeurs minimales

200 mg/l et peuvent atteindre 400 mg/l, concentration maximale admissible adoptée par l'O.M.S. et teneur proche des 480 mg/l de SO_4^{--} qui rendent une eau impropre à l'agriculture (RODIER, 1984).

Les taux de sulfates mesurés dans la Luynes sont liés aux activités industrielles du bassin houiller de Gardanne, et sont proches des valeurs relevées dans le Riou-Mort qui passent de 15,4 mg/l à 598 mg/l sous l'influence du déversement d'effluents d'aciéries, houillères, et usines métallurgiques du bassin houiller de Décazeville (GIANI, 1983).

I.10. - OXYDABILITE (fig. 8b).

Les résultats concernant la concentration en matières organiques et en substances réductrices d'origine végétale (par l'oxydabilité à froid en milieu acide) et d'origine animale (par l'oxydabilité à chaud en milieu alcalin) sont comparables pour ces 2 méthodes dans l'ensemble des stations prospectées. Seuls quelques écarts sont notés dans la Luynes et le Bayeux, où les matières d'origine végétale sont prépondérantes, le phénomène s'inversant dans le Grand Torrent.

L'oxydabilité est très variable dans le réseau de l'Arc : les valeurs mesurées, de 0 à 50 mg/l, appartiennent aux 5 classes (classe 5 : > 6 mg d' O_2 /l).

Dans le haut bassin (stations A₁ et A₂) les teneurs sont faibles (inférieures à 2 mg/l) et caractérisent des "eaux courantes normales". il en est de même dans certains affluents : Aubanède (B₁), Haute Torse (B₅), Grand Torrent (B₈).

L'oxydabilité augmente d'amont en aval dans l'Arc, avec un pic de faible amplitude à la station A₄ (Rousset, 2,5 mg/l) et un pic plus important et constant à la station A₆ (Pioline, 4,6 mg/l).

La climatologie locale (violents orages caractéristiques de la région méditerranéenne provoquant un lessivage des sols du bassin versant) peut expliquer certains taux d'oxydabilité exceptionnellement élevés obtenus en novembre 83 (47 mg/l en A₅, 30 mg/l en B₂) et septembre 84 (50 mg/l en B₆), mais non les valeurs régulièrement comprises entre 3 et 8,2 mg/l mesurées dans le cours moyen et inférieur de l'Arc, ainsi que dans la Luynes et la Jouine.

Le pic observé à la station A₆ (la Pioline) est la conséquence de la situation critique de cette station immédiatement en aval des rejets de la station d'épuration d'Aix-en-Provence : elle accuse une charge organique qui traduit un état de pollution permanent dont l'influence est perceptible jusqu'à l'embouchure de l'Arc.

I.11. - MATIERES EN SUSPENSION (M.E.S.) (fig. 9)

I.11.1. - Matières minérales

Les valeurs oscillent entre 0,1 mg/l (à Pourcieux) et 85 mg/l (dans la Basse Torse en mai 85). Les taux mesurés, très variables au sein d'une même station et d'une station à l'autre, sont souvent liés à un facteur hydrologique particulier (courant plus important, crue de faible intensité, etc...). Cependant, on note régulièrement d'importantes quantités de M.E.S. minérales à la station B₆ (Luynes ; de 5 à 53 mg/l), inhérentes aux activités minières du bassin de Gardanne, et qui se traduisent par une forte turbidité des eaux. Il en est de même, mais à un degré moindre, des eaux de la station A₈ (Coudoux) qui présentent également une certaine opacité : le taux de M.E.S. minérales y varie de 5 à 43 mg/l.

I.11.2. - Matières organiques

Les teneurs très variables, comme pour les M.E.S. minérales, sont comprises entre 0 et 50 mg/l si l'on exclut les prélèvements de mai 85 effectués après une période d'orages et pour lesquels le taux de matières en suspension atteint jusqu'à 550 mg/l à la station B₄ (Basse Torse).

L'évolution spatiale de ce paramètre est marquée par deux points d'enrichissement : l'un à la station A₃ (Marius, 1,5 mg/l), sa régression ne s'effectuant qu'à partir de Bachasson (A₅) ; l'autre à la Pioline (station A₆, 9,2 mg/l), accentué à St-Pons par les apports de la Luynes (station B₆, 33 mg/l). Cette valeur se stabilise ensuite jusqu'à Berre.

I.11.3. - Matières en suspension totales

Hormis les situations extrêmes inférieures (source et certains affluents) et supérieures (station B₆ et prélèvements de mai 85), les eaux

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
المعهد الوطني للتحليل المائي في
تلمسان - البيولوجيا

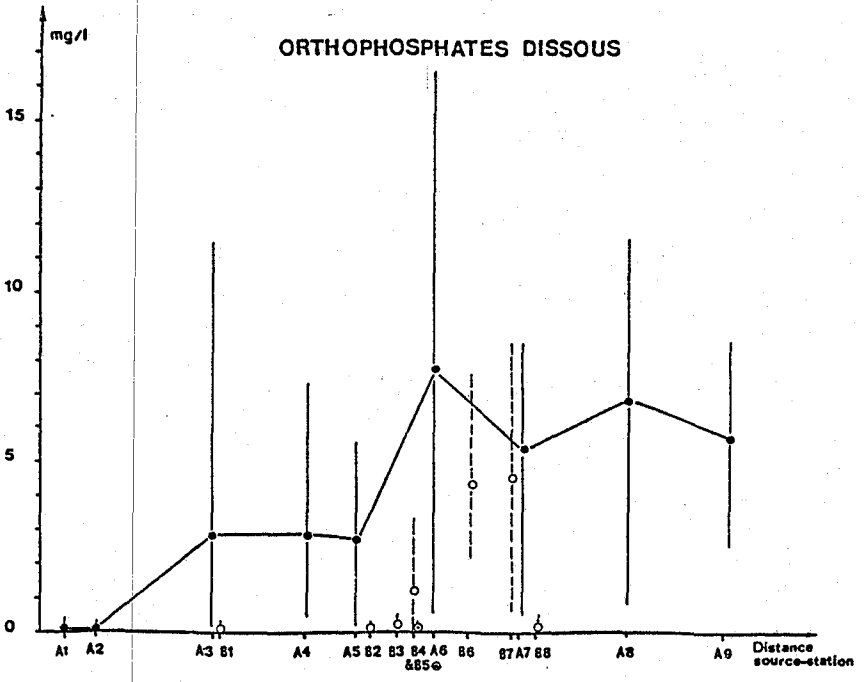
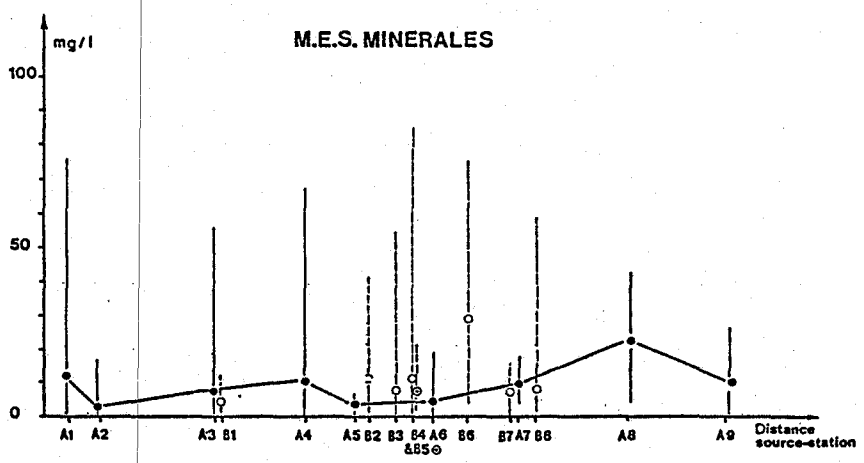
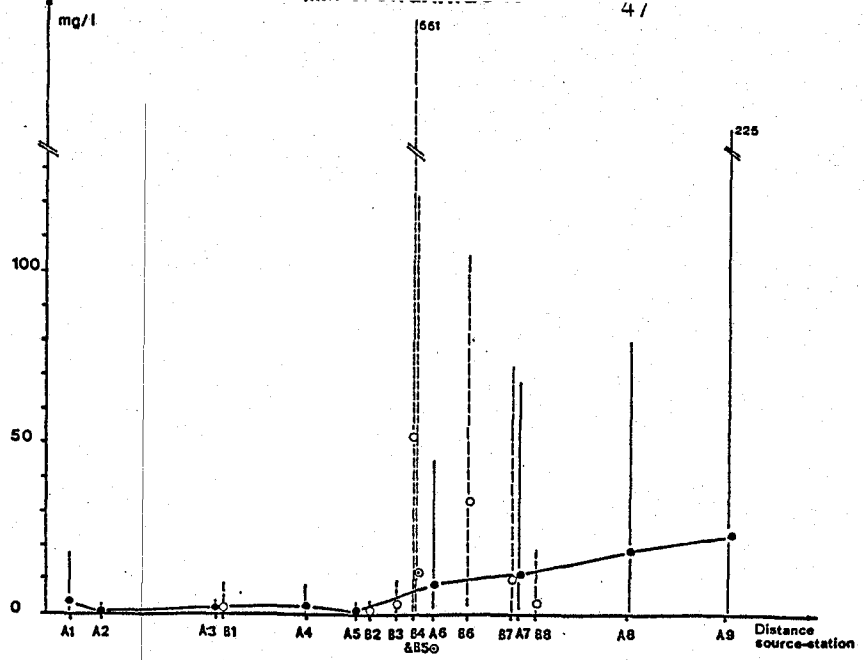


FIGURE 9 - Evolution spatiale des descripteurs physico-chimiques dans l'Arc (●:A1 à A9) et ses affluents(○:B1 à B8):moyenne des valeurs de 11 campagnes (novembre 1983 à juillet 1985), (●○:valeurs minimales et maximales.

de l'Arc et de quelques uns de ses affluents charrient des teneurs en M.E.S. traduisant une contamination insidieuse à franche sous l'influence des déversements urbains et industriels de Rousset, Aix, et Gardanne.

Des "billes" multicolores (d'un diamètre de 2 à 3 mm) provenant d'une fabrique de composés plastiques et flottant dans la Luynes sont retrouvées en aval de St-Pons (A7) et même jusqu'à Berre (A9). Cet exemple illustre de façon probante l'impact que peut avoir l'introduction massive de M.E.S. sur les eaux de l'Arc et de l'étang de Berre.

I.12. - SUBSTANCES AZOTEES (fig. 10)

La variabilité spatiale et temporelle des 3 formes d'azote dosées est sous la dépendance des cycles saisonniers (variation des débits), des différentes transformations de l'azote dans l'eau (nitrifications successives), des rejets et de la pollution diffuse.

Ces 2 derniers facteurs sont à l'origine des diverses fluctuations de l'azote ammoniacal, des nitrites et des nitrates dans l'Arc.

I.12.1. - Azote ammoniacal

L'ammoniaque, normalement absent des eaux naturelles, est considéré comme un élément polluant à de très faibles concentrations (quelques 1/100 de mg/l). Il atteint des taux très élevés dans le réseau de l'Arc, variant de 0 à 14,2 mg/l. Le seuil de pollution critique de 1 mg/l d'ion NH_4^+ est ainsi très largement dépassé dans l'Arc et 2 de ses affluents. Des valeurs similaires sont signalées par NISBET et VERNEAUX (1970) dans la Seine entre Paris et Rouen (6,5 à 11 mg/l) et dans les canaux extrêmement pollués du Nord de la France (10 à 30 mg/l).

Dans les stations A₁ (St-Pilon) et A₂ (Pourcieux), cet élément est absent ou à l'état de traces, situation normale pour des eaux naturelles.

Dès la station A₃ (Marius), les analyses révèlent la présence de quelques dixièmes de mg/l, ce qui indique une "pollution insidieuse sensible" (2^{ème} des 3 classes proposées) provenant des rejets de la commune de Pourrières.

En amont d'Aix (stations A₄ et A₅), les concentrations peuvent atteindre 1,7 mg/l. La station de Rousset est toujours plus chargée en ions

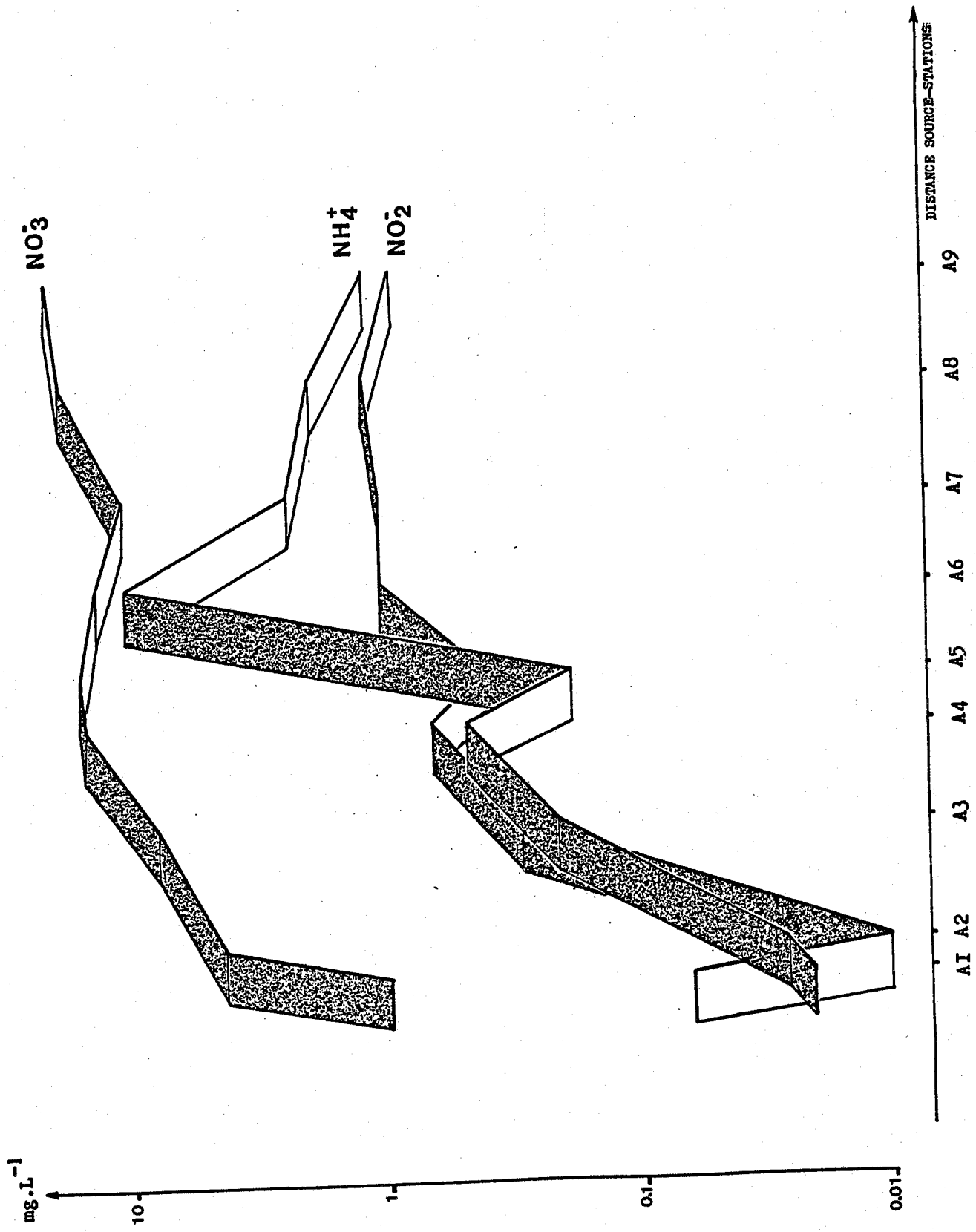


FIGURE 10 - EVOLUTION SPATIALE DES SUBSTANCES AZOTEES DANS L'ARC.

NH_4^+ que celle de Bachasson située 6 kilomètres en aval, ce qui met en évidence une auto-épuration des eaux sur cette faible distance.

Les concentrations (4 à 14 mg/l) mesurées à la Pioline (A6) au cours des 11 séries de prélèvements témoignent d'une pollution extrêmement sévère en aval d'Aix en relation avec les rejets de la station d'épuration d'Aix 100 m en amont. Par la suite, les concentrations en ions NH_4^+ diminuent à St-Pons, 8 km en aval (0,2 à 5 mg/l), sans toutefois retrouver les valeurs plus faibles relevées en amont d'Aix, puis se stabilisent avec une légère tendance à la diminution jusqu'à Berre (0 à 4,5 mg/l).

Deux affluents (la Luynes, B6, et la Jouine, B7) présentent des taux d'azote ammoniacal très élevés (quelques dixièmes à 8 mg/l). Dans les autres affluents, cet élément est absent ou à l'état de traces, seule la station B4 (Basse Torse) peut présenter quelques 1/10ème de mg/l (0,3 mg/l en mai 85).

En définitive, les 2 pics observés dans le cours principal de l'Arc sont en relation directe avec les effluents que la rivière reçoit au niveau de Rousset (porcheries) et de la Pioline, (station d'épuration d'Aix-en-Provence).

En aval du premier point de contamination, le mécanisme auto-épurateur du cours d'eau réduit les concentrations de 0,46 mg/l à 0,18 mg/l (valeurs moyennes calculées pour les 11 campagnes réalisées), ce qui constitue encore une situation de "pollution insidieuse sensible".

Par contre, les apports de la Pioline, 20 fois supérieurs à ceux de Rousset et augmentés par l'arrivée des 2 affluents chargés en ions NH_4^+ , ne sont transformés qu'en partie, et 1,1 mg/l d'azote ammoniacal subsiste encore à Berre.

I.12.2. - Nitrites

La présence de nitrites, stade intermédiaire fugace de l'azote, dans les eaux courantes, est l'indice d'une pollution d'origine organique provenant d'une oxydation de l'ammoniaque. Le seuil critique de quelques centièmes de mg d'ions NO_2^- par litre est souvent dépassé dans le réseau de l'Arc, où les situations sont très diverses, les taux variant de 0 à

2,9 mg/l. Aux fins de comparaison, le maximum d'ion NO_2^- mesuré dans le Lot, rivière perturbée par une pollution composite (organique et toxique) dépasse à peine 0,1 mg/l ; ce cours d'eau contient en moyenne 0,016 mg/l de NO_2^- sur l'ensemble des stations (CAPBLANCQ et TOURENQ, 1978). Ces valeurs sont proches des taux mesurés dans le Rhône au niveau de Tricastin (0,12 à 0,13 mg/l en 1985*).

Les nitrites sont absents ou à l'état de traces dans l'épirhithron de l'Arc. Leur évolution vers l'aval suit celle de l'azote ammoniacal, avec l'apparition sensible d'ions NO_2^- dès la station de Marius (A_3), puis avec la présence d'un pic à Rousset (A_4) et d'un autre à Coudoux (A_8), ce dernier étant décalé vers l'aval par rapport au maximum d'ions NH_4^+ obtenu à la Pioline (A_6).

Dans l'Aubanède (B_1), le Bayeux (B_2), le Cause (B_3), la Haute Torse (B_5) et le Grand Torrent (B_8) les nitrites sont absents ou à l'état de traces.

La Basse Torse (B_4) présente des taux indiquant une contamination sensible (0,6 mg/l) consécutive à la traversée de l'agglomération aixoise par ce cours d'eau.

Les stations B_6 (Luynes) et B_7 (Jouine), atteignent des concentrations respectives de 1,7 et 2,8 mg/l, témoins d'une "pollution critique" (4ème et dernière classe).

I.12.3. - Nitrates

Ils correspondent au stade final de dégradation de l'azote, forme oxydée plus stable que les nitrites et sont présents dans les eaux naturelles.

Les taux mesurés dans l'Arc (de 0,07 à 35,4 mg/l) couvrent les 6 classes proposées pour les nitrates, les 4 dernières ($[\text{NO}_3^-] > 3 \text{ mg/l}$) indiquant un "degré croissant de trophie" et un état de pollution critique.

Ces valeurs sont nettement supérieures aux taux maximums mesurés dans le réseau hydrologique durancien (dans l'Eze et le Mardaric, respectivement 8,3 et 12,7 mg/l en mars 87, 10,6 et 15 mg/l en juin 86; dans l'Anguillon, 11,7 mg/l en novembre 85 - ces 3 petits cours d'eau étant des affluents de la Durancé**) ou dans la zone aval du Lot (le taux de NO_3^- y varie de 1,4 à 2,3 mg/l

* Analyses communiquées par le C.E.M.A.G.R.E.F. d'Aix-en-Provence

**Recherches actuellement en cours, effectuées par le laboratoire d'Ecologie de la faculté des Sciences de St-Jérôme.

entre 1971 et 1975) où se concentrent des activités agricoles (CAPBLANCQ et TOURENQ, 1978).

Pour l'Arc, les concentrations en ions NO_3^- dépassent 1 mg/l dans la station A_1 , taux lié à la résurgence d'eaux souterraines nitrées. Cette situation se retrouve dans certaines sources du Sud-Est de la France ("source" du Buëch : 1,56 mg/l, VESPINI (1985) ; source du marais de Santa-Fé : 2 mg/l, SEGUIER, 1981). En aval (station A_3), le seuil de 3 mg/l est dépassé, et les taux de nitrates augmentent jusqu'à Bachasson (A_5) où ils atteignent 20 mg/l en juillet 85. A la Pioline (A_6), les taux varient de 4 à 24 mg/l, mais ne dépassent pas en général 15 mg/l ; on remarque surtout une baisse par rapport à la station A_5 , baisse qui se manifeste jusqu'à St-Pons. Enfin, les valeurs moyennes les plus élevées sont observées à Coudoux (A_8) et à Berre (A_9) (respectivement 18 et 19,8 mg/l).

Les taux de nitrates sont également très variables dans les affluents ils ne dépassent pas 10 mg/l (classe 4) dans le Bayeux, le Cause, la Haute Torse et le Grand Torrent, mais atteignent 25 mg/l (classe 6) dans l'Aubanède (taux inexplicé pour cet affluent qui semble exempt de pollution), la Jouine, la Luynes et la Basse Torse. Parmi ces 4 affluents la Jouine présente la moyenne la plus élevée (13,8 mg/l).

Les concentrations élevées des nitrates dans le réseau de l'Arc (35 mg/l à Berre en juillet 84) n'ont pas pour origine exclusive l'oxydation des nitrites en nitrates. L'apport diffus d'ions NO_3^- par le lessivage des terres agricoles enrichies en engrais azotés n'est pas à négliger dans cette étude : RAMADE et al (1984) soulignent l'importance que peut avoir la pollution de l'eau en milieu agricole, et constatent notamment que les nitrates de synthèse (et les superphosphates) provenant des fertilisants utilisés en agriculture "interviennent de façon déterminante dans la pollution des milieux dulçaquicoles".

Globalement, l'évolution des nitrates dans l'Arc est similaire à celle des nitrites et de l'azote ammoniacal, avec encore une fois l'existence de 2 pics, mais décalés vers l'aval par rapport aux maximums des ions NH_4^+ et NO_2^- .

Ainsi, le premier pic d'ions NO_3^- est enregistré à Bachasson. L'inver

sion de la courbe des nitrates par rapport à celles de l'azote ammoniacal et nitreux dans ce secteur montre que l'augmentation du taux de NO_3^- se fait aux dépens des 2 formes d'azote les moins oxydées par un processus d'auto-épuration incomplet, puisqu'il reste des concentrations notables en ammoniacque et nitrites à Bachasson (fig. 10).

Le second pic des nitrates apparaît à Berre, 33 kilomètres en aval de celui de l'ammoniaque, et 11,5 kilomètres en aval de celui des nitrites. Ce décalage des 3 pics des substances azotées en aval de l'agglomération aixoise témoigne d'une auto-épuration active entre les rejets des eaux résiduaires d'Aix et l'embouchure de l'Arc malgré des apports supplémentaires diffus (lessivages des terres agricoles) et localisés (apports chargés en azote ammoniacal, nitreux et nitrique véhiculés par la Luynes et la Jouine). Toutefois, ce processus de dégradation demeure incomplet, comme le traduisent à Berre les concentrations élevées en ammoniacque (1,1 mg/l en moyenne) et nitrites (0,86 mg/l).

De fortes variations saisonnières des teneurs en nitrates ont été constatées en 1977 et 1978 dans l'embouchure de l'Arc par KIM et TRAVERS, qui concluent que le taux élevé de cet élément est dû au lessivage des terrains agricoles associé aux rejets des élevages porcins implantés sur le bassin de l'Arc (1985b).

J'ajouterai, pour ma part, le rôle très important joué par les effluents de la station d'épuration de la ville d'Aix, qui semble avoir été négligé par ces auteurs.

I.13. - ORTHOPHOSPHATES (fig. 9)

Les phosphates en excès dans les eaux courantes proviennent essentiellement des détergents présents dans les rejets domestiques, et du ruissellement des eaux sur des terres agricoles soumises aux épandages d'engrais phosphatés.

Les teneurs mesurées dans le réseau de l'Arc dépassent largement le seuil de pollution de 0,3 mg/l puisqu'elles varient de 0 à 16,5 mg/l.

Dans le cours principal de l'Arc, les orthophosphates dissous absents en A₁ et A₂ (épirhithron) apparaissent à la station A₃ (Marius) et leur taux

augmente plus ou moins régulièrement jusqu'à la Pioline (A₆) où il peut atteindre 16,5 mg/l en juillet 85 : cette valeur semble très élevée, même pour des eaux enrichies par les effluents de la station de la Pioline, puisque RAMADE (1982) signale que "les eaux renferment à la sortie d'une station d'épuration en moyenne 8 mg de phosphates par litre". Enfin les ions PO_4^{3-} diminuent un peu à St-Pons, puis se stabilisent jusqu'à Berre (5,7 mg/l). Bons indicateurs du "degré de trophie des eaux" ils contribuent, en plus des éléments déjà étudiés, à caractériser les eaux du cours inférieur de l'Arc.

L'apport de l'Arc à l'étang de Berre en phosphore minéral est estimé en 1977-78 par KIM et TRAVERS(1985b) à 100 tonnes par an. Ces valeurs considérables sont nettement supérieures à celles estimées pour deux cours d'eau, la Touloubre et la Durançole, qui se jettent également dans l'étang de Berre (KIM, 1981), et aux taux mesurés dans le Rhône (BRUN, 1967) . Les dernières analyses effectuées dans ce fleuve indiquent des taux maximums de 1,1 mg/l d'ions PO_4^{3-} au niveau de Tricastin* et de 0,65 mg/l à Chasse-sur-Rhône, à l'aval de Lyon.** "L'arc joue ainsi un rôle très important dans le maintien des réserves de phosphates des étangs, permettant le développement continu d'un phytoplancton abondant" (KIM et TRAVERS, 1985b).

Dans le réseau de l'Arc, l'Aubanède, le Bayeux, le Cause, le Grand Torrent et la Haute Torse sont exempts d'orthophosphates dissous. Par contre la Basse Torse (B₄) présente des taux variant de 0,1 à 3,4 mg/l, du fait de sa situation en aval d'une zone urbaine. Des valeurs très importantes en ions PO_4^{3-} (0,8 à 8,5 mg/l) ont été également mesurées dans la Luynes (B₆) et la Jouine (B₇).

Hormis les premiers kilomètres de l'Arc et quelques affluents le réseau hydrographique étudié présente des concentrations en orthophosphates dissous indicatrices d'eaux nettement polluées ou très eutrophes. L'évolution régulière de cet élément tout au long de l'Arc (exception faite du pic de la station A₆, résultant des apports de la station d'épuration d'Aix) met en évidence l'aspect diffus de la contamination par le phosphore provenant du ruissellement des eaux sur des terrains agricoles.

* Analyses communiquées par le C.E.M.A.G.R.E.F d'Aix-en-Provence

** Analyses communiquées par l'Agence de bassin Rhône-Méditerranée-Corse.

I.14. - CONCLUSION

L'analyse des descripteurs abiotiques met en évidence la diversité des situations hydrochimiques représentées dans le bassin de l'Arc.

D'une eau naturelle à sa source, à une eau très eutrophisée dans le cours inférieur, tous les gradients de qualité des eaux peuvent être observés tout le long du parcours de cette rivière.

Les eaux de l'Arc sont des eaux dures, moyennement alcalines, au pouvoir tampon élevé; les teneurs en ions NH_4^+ , NO_3^- , PO_4^{3-} , Cl^- , SO_4^{--} , en matières organiques dissoutes et matières en suspension traduisent dès la station de Marius un état de pollution sévère qui atteint son maximum en aval d'Aix, et qui est loin d'être totalement résorbé à l'embouchure de l'Arc dans l'étang de Berre.

Les métaux lourds, dont le laboratoire d'hydrologie et de molysmologie aquatique (1984) souligne l'importance dans le cours axial de l'Arc, suivent la même évolution spatiale. La présence de mercure, cuivre, zinc, cadmium, plomb, manganèse, d'hydrocarbures et de dérivés du DDT est décelée dans les sédiments et la flore algale du secteur de Rousset, et surtout en aval d'Aix où les concentrations sont maximales. Cette pollution s'atténue ensuite nettement dans le potamon.

Parmi les affluents prospectés, la qualité de l'eau est également très variable.

L'analyse de l'ensemble des paramètres abiotiques permet de séparer 2 affluents, la Luynes et la Jouine, qui présentent des situations chimiques critiques similaires, à savoir des teneurs en sels largement supérieures aux seuils de pollution. Les maximums d'ions PO_4^{3-} et NO_3^- recensés dans la Jouine et d'ions SO_4^{--} et Ca^{++} mesurés dans la Luynes caractérisent ces cours d'eau et résultent de la dominance des activités agricoles et industrielles implantées sur leurs bassins versants respectifs.

Par ailleurs les analyses montrent une étroite parenté chimique entre le Bayeux, le Cause et le Grand Torrent, dont les eaux sont dures, très productives et fortement minéralisées, avec des teneurs en nitrates modérées et des ions NO_2^- , NH_4^+ et PO_4^{3-} absents ou à l'état de traces. Ces cours d'eau

présentent une situation hydrochimique normale, apparemment exempte de contamination.

L'Aubanède et la Haute Torse ont également des eaux de bonne qualité, mais caractérisées par une conductivité très élevée liée à de fortes teneurs en calcium.

La station B₄ (Basse Torse) se détache des deux précédentes par un excès d'ions NH₄⁺, NO₂⁻, NO₃⁻ et PO₄³⁻ qui résulte des rejets de l'agglomération d'Aix-en-Provence.

II - SYNTHÈSE DU FONCTIONNEMENT HYDROCHIMIQUE DE L'ARC

Le traitement statistique des descripteurs abiotiques par une analyse multivariée permet de mettre en évidence la dynamique spatiale et temporelle de l'environnement aquatique de l'hydrosystème Arc.

II.1. - ANALYSES EN COMPOSANTES PRINCIPALES : AVANTAGES ET CARACTÉRISTIQUES

Le type d'analyse utilisé - Analyse en Composantes Principales ou A.C.P.- " permet de déterminer un système d'axes de référence hiérarchisés tels que, en diminuant le nombre des dimensions de l'espace dans lequel on projette les points-observations, la perte d'information soit minimale" (DAGET, 1976).

L'application d'une A.C.P. normée* aux mesures de descripteurs physico-chimiques présente certains avantages.

D'une part, la normalisation, qui réduit les données de nature et d'ordre différents à la même échelle, permet d'utiliser des résultats bruts sans découpage en classes préalables.

D'autre part cette méthode factorielle construit de nouveaux caractères synthétiques (dits composantes principales) obtenus par combinaison linéaire des caractères initiaux (ici les descripteurs abiotiques) et non par sélection de certains d'entre eux.

* Logiciel Datavision II. M.ROUX. 12/84 sur Apple IIe.

Enfin, les relations entre descripteurs peuvent être représentées en un espace réduit.

Avant de réaliser une A.C.P. il paraît nécessaire, sans préciser tous les détails de la méthode, d'en exposer les caractéristiques principales afin de faciliter les interprétations ultérieures.

Les composantes principales successives (C1, C2, C3, etc...) correspondant à des fractions de plus en plus faibles de la variance totale, il faut déterminer le nombre de composantes interprétables en termes écologiques. LEGENDRE et LEGENDRE (1984) proposent de ne prendre en compte que les composantes dont les valeurs propres " λ " sont strictement supérieures à la moyenne des " λ ", toujours égale à 1.

La "part de variance expliquée" par 2 composantes principales est un indice qui correspond à la perte d'une partie de l'information initiale par projection du nuage de points-échantillons (stations) dans le plan formé par ces 2 composantes. Cet indice, qui varie de 0 à 1, est calculé en additionnant les pourcentages d'inertie des axes concernés ; la description des échantillons dans le plan est meilleure lorsque l'indice est élevé.

Les corrélations entre variables (ou descripteurs), indiquées par une matrice de corrélation R, sont représentées dans le plan par l'angle que forment entre eux les vecteurs descripteurs. De la même façon, les représentations spatiales décrivent la corrélation entre une variable et une composante principale par l'angle que forme le vecteur-descripteur avec un axe dans l'espace multidimensionnel. Cette corrélation est positive maximale lorsque l'angle est égal à 0°, négative maximale pour un angle de 180°, et nulle pour des vecteurs orthogonaux.

Les points-échantillons (stations) peuvent être projetés dans le plan que forment les axes (composantes principales) déterminés par les descripteurs, ceux-ci étant représentés sous forme de vecteurs.

La construction du cercle de contribution équilibrée des descripteurs de rayon $R = \sqrt{d/n}$ (d = dimension de la représentation, n = nombre de descripteurs) met en évidence les descripteurs qui ont une contribution négligeable dans l'analyse, c'est-à-dire ceux dont le vecteur est inférieur au rayon de ce cercle.

II.2. - SYNTHÈSE GLOBALE DU FONCTIONNEMENT HYDROCHIMIQUE

Une A.C.P. est réalisée à partir des 18 paramètres physico-chimiques mesurés dans les 17 stations d'étude au cours d'un cycle annuel (septembre 84 (code F), novembre 84 (code A), janvier 85 (code B), mars 85 (code C), mai 85 (code D) et juillet 85 (code E)) : la matrice de données "stations-descripteurs" est composée de 100 lignes et 18 colonnes.

L'ensemble des points-stations projeté dans le plan I/II constitue un nuage très dense à l'origine des axes : 2 points (B7D et B5D) ayant un poids trop important dans l'analyse (coordonnées négatives maximales sur l'axe II), j'ai effectué une nouvelle analyse sans ces 2 relevés. Les dimensions de la matrice de données sont alors 98 x 18. La part de variance expliquée (tableau V) par le plan I/II est faible (0,42) : l'information apportée par la composante C3 (10 %) ne doit pas être négligée

Les descripteurs les plus corrélés entre eux sont les ions NO_2^- , NH_4^+ , PO_4^{--} , la DBO5 et la matière organique dissoute (fig. 11A).

A cet ensemble, qui représente les éléments allogènes du cours de l'Arc, se rattachent les ions NO_3^- , SO_4^{--} , Ca^{++} .

Ces variables contribuent à la formation de l'axe I (corrélation avec la composante C1 importante) sur lequel les points figurant les stations du cours axial (fig. 11B) s'échelonnent du pôle positif au pôle négatif en respectant à peu près leur succession spatiale dans l'Arc.

Ainsi les stations A₁ (St-Pilon), A₂ (Pourcieux) et A₃ (Marius) situées sur l'Arc se succèdent normalement de la source vers l'épirhithron. L'évolution du chimisme des eaux de la haute vallée de l'Arc subit un enrichissement progressif en sels nutritifs, plus marquée en A₃ car on observe un déplacement plus important des points représentant cette station vers la gauche de l'axe I (les coordonnées en sont même négatives au cours des prélèvements de septembre et juillet).

Par la suite un bouleversement de la hiérarchie spatiale sépare 2 groupes de stations :

- les coordonnées des stations A₄ et A₅, qui sont encore parfois positives,

	Valeur propre	Pourcentage d'inertie	Variance cumulée
C1	5.04	28 %	28 %
C2	2.56	14 %	42 %
C3	1.7	10 %	52 %
C4	1.53	8.5 %	60.5 %
C5	1.35	7.5 %	68 %

TABLEAU V - Caractéristiques des 5 premières composantes principales de l'A.C.P.

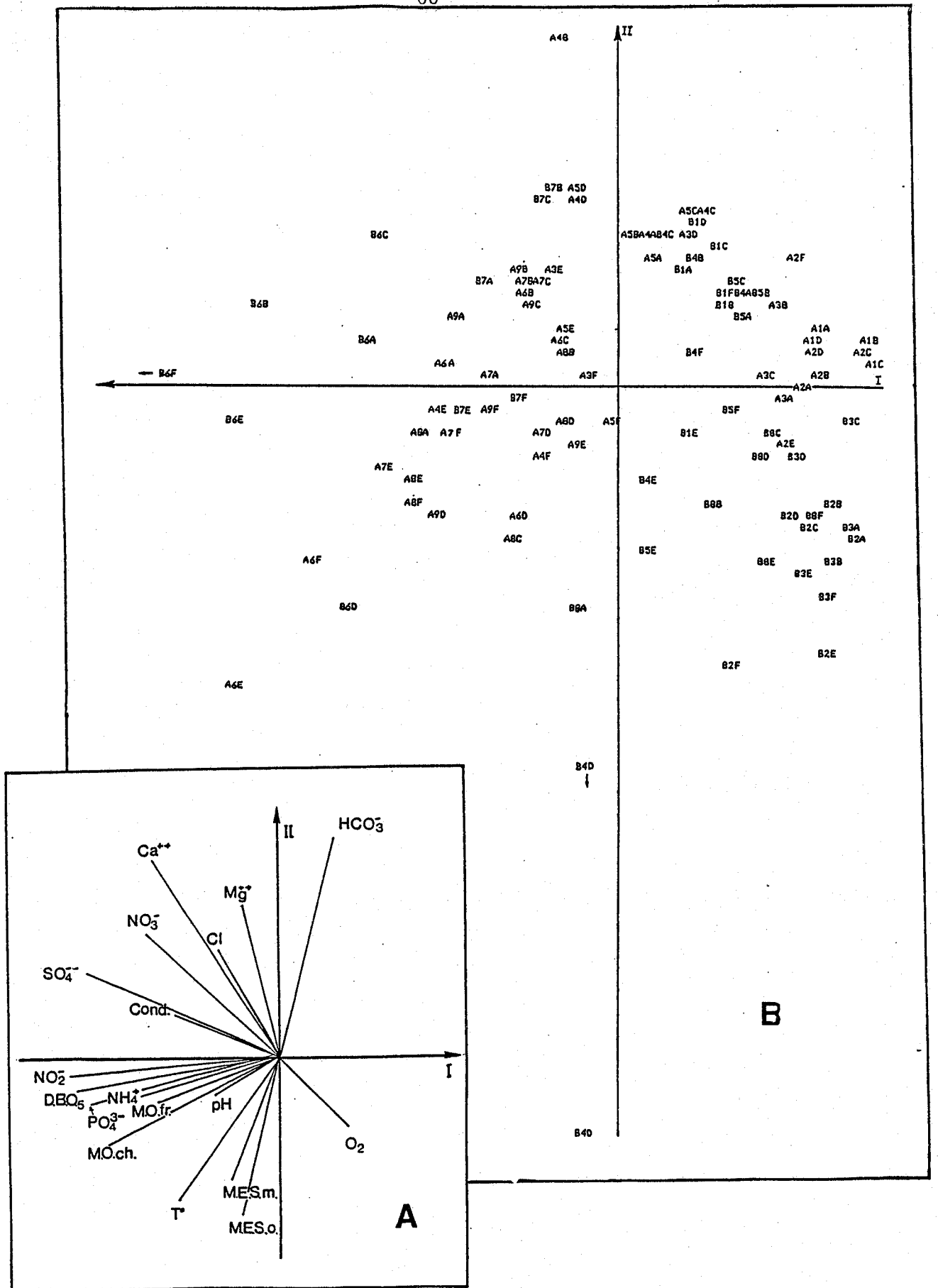


FIGURE 11 - Représentation dans le plan I/II de l'A.C.P. des 18 vecteurs-descripteurs(A) et des 98 points-échantillons(B). (le code de la station est suivi d'une lettre représentant le mois de prélèvement: septembre 84=F; novembre 84=A; janvier 85=B; mars 85=C; mai 85=D; juillet 85=E).

montrent que la station A₅ (Bachasson) est moins chargée en éléments polluants que la station A₄ (Rousset), située plus en amont. Celle-ci subit en effet un apport contaminant important (proximité d'élevages porcins) qui la place en situation négative sur l'axe I, en particulier en juillet.

- Les 4 stations du cours inférieur (A₆, A₇, A₈, A₉) se disposent toutes négativement sur l'axe I. La hiérarchie spatiale est à nouveau inversée, la station A₆ (Pioline, en aval d'Aix) étant toujours la plus corrélée au pôle négatif de l'axe, le point extrême correspondant au prélèvement de juillet. La station A₉ (Berre) est en général la moins chargée dans ce tronçon de l'Arc.

La courbe d'évolution de la moyenne annuelle des coordonnées stationnelles sur l'axe I de l'A.C.P. en fonction de leur distance par rapport à la source (fig. 12) confirme l'existence de 2 foyers majeurs de pollution situés à l'amont des stations A₄ (Rousset) et A₆ (Pioline), le second foyer étant beaucoup plus important que le premier.

Elle met surtout en évidence le fonctionnement du mécanisme auto-épurateur de l'Arc, phénomène déjà pressenti au cours de l'analyse synchronique de certains descripteurs abiotiques. On constate en effet que dans ces 2 secteurs de pollution le processus d'auto-épuration intervient, mais si la qualité de l'eau s'améliore nettement en amont d'Aix (coordonnées nulles de la station A₅) elle demeure très dégradée au niveau de Berre (coordonnées négatives de la station A₉).

La répartition des points-affluents sur cet axe I montre une grande variété du degré de trophie de leurs eaux. Les stations B₆ et B₇ d'une part (Luynes et Jouine, coordonnées négatives maximales), B₂ et B₃ d'autre part (Bayeux et Cause, coordonnées positives maximales) représentent les situations extrêmes : très polluées pour les premières, exemptes de pollution pour les 2 autres. Les affluents B₁ (Aubanède) et B₅ (Haute Torse) ont des coordonnées positives moyennes qui correspondent à un enrichissement modéré, mais accentué par rapport aux stations B₂ et B₃ en raison du faible écoulement de leurs eaux. Les prélèvements des stations B₄ (Basse Torse) et B₈ (Grand Torrent) ont parfois des coordonnées négatives. Dans le cas de la station B₈, sa valence très large par rapport à l'axe I est due aux mesures du mois de novembre (taux de matières organiques dissoutes très élevé) d'où le déplacement de ce point vers la gauche de l'axe. Hormis ce point, l'amplitude annuelle des paramètres abiotiques de la station B₈ se superpose de manière presque parfaite à celle de la station B₂.

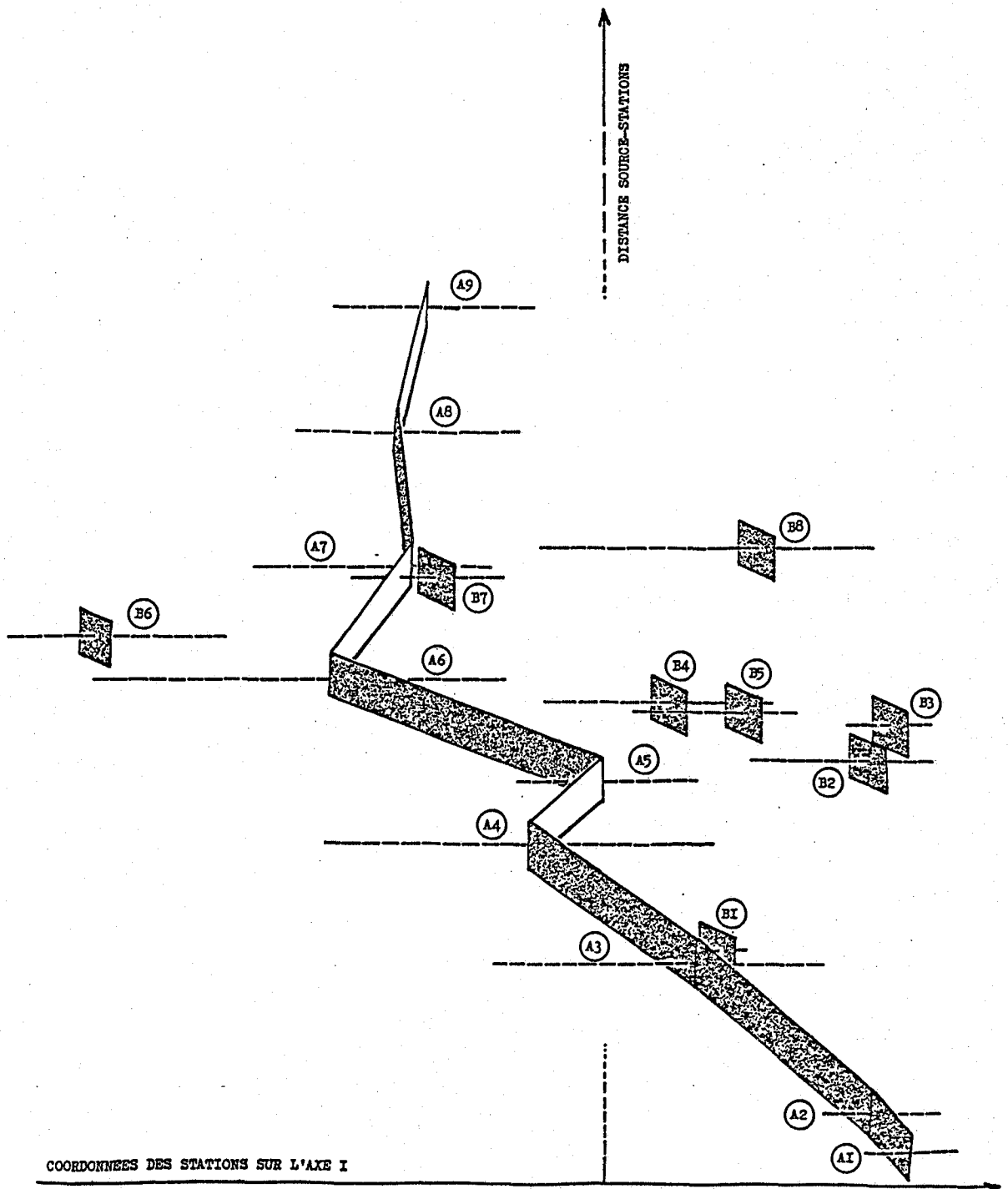


FIGURE 12 - Courbe d'évolution de la moyenne annuelle des coordonnées stationnelles de l'Arc et de ses affluents sur l'axe I de l'A.C.P. en fonction de leur distance à la source.

On remarque sur la figure 12 l'absence de relation entre le degré de trophie des affluents et l'évolution dans l'Arc de l'enrichissement en contaminants ; ceci montre la prépondérance de l'impact des apports extérieurs eutrophisants sur le fonctionnement intrinsèque du réseau de l'Arc.

Les variables "magnésium" et "bicarbonates", très corrélées entre elles s'opposent aux paramètres "matières en suspension minérales et organiques", ces 2 ensembles de descripteurs contribuant respectivement à la formation des pôles positifs et négatifs de l'axe II. (fig. 11A).

Les matières en suspension jouent un rôle essentiel dans la répartition des points-stations sur cet axe, les points de coordonnées positives étant surtout caractérisés par des taux normaux ou faibles de M.E.S., magnésium et bicarbonates étant des éléments relativement stables dans le réseau de l'Arc.

Les prélèvements du mois de mai 1985 (D), réalisés après une crue, sont responsables de l'importante contribution des M.E.S. dans la construction de cet axe II dont l'inertie est élevée (14 %).

Le "poids" des points B5D et B7D dans la première analyse (cf. page 19) est dû à la charge des M.E.S. dans ces stations au cours des prélèvements de ce mois. C'est également le cas du point B4D, dont les coordonnées sur l'axe II sont négatives maximales dans cette seconde analyse.

Les stations très eutrophisées et chargées en M.E.S. occupent le quadrant sud-ouest du plan I/II. Dans le quadrant sud-est on remarque la présence de la totalité des relevés effectués dans les affluents B₂, B₃ et B₈ dont les corrélations sont étroites avec le descripteur oxygène qui forme un angle à 45° avec les axes I et II.

Dans le plan I/III on observe (fig. 13) le glissement d'un ensemble de points vers le pôle positif de la composante C₃, très corrélée au descripteur température. Ces relevés appartiennent aux campagnes réalisées en été (juillet 85 : E, septembre 84 : F).

Le caractère de saisonnalité déplace les prélèvements effectués pendant la saison froide (novembre : A, janvier : B, mars : C) dans le demi plan négatif limité par l'axe III.

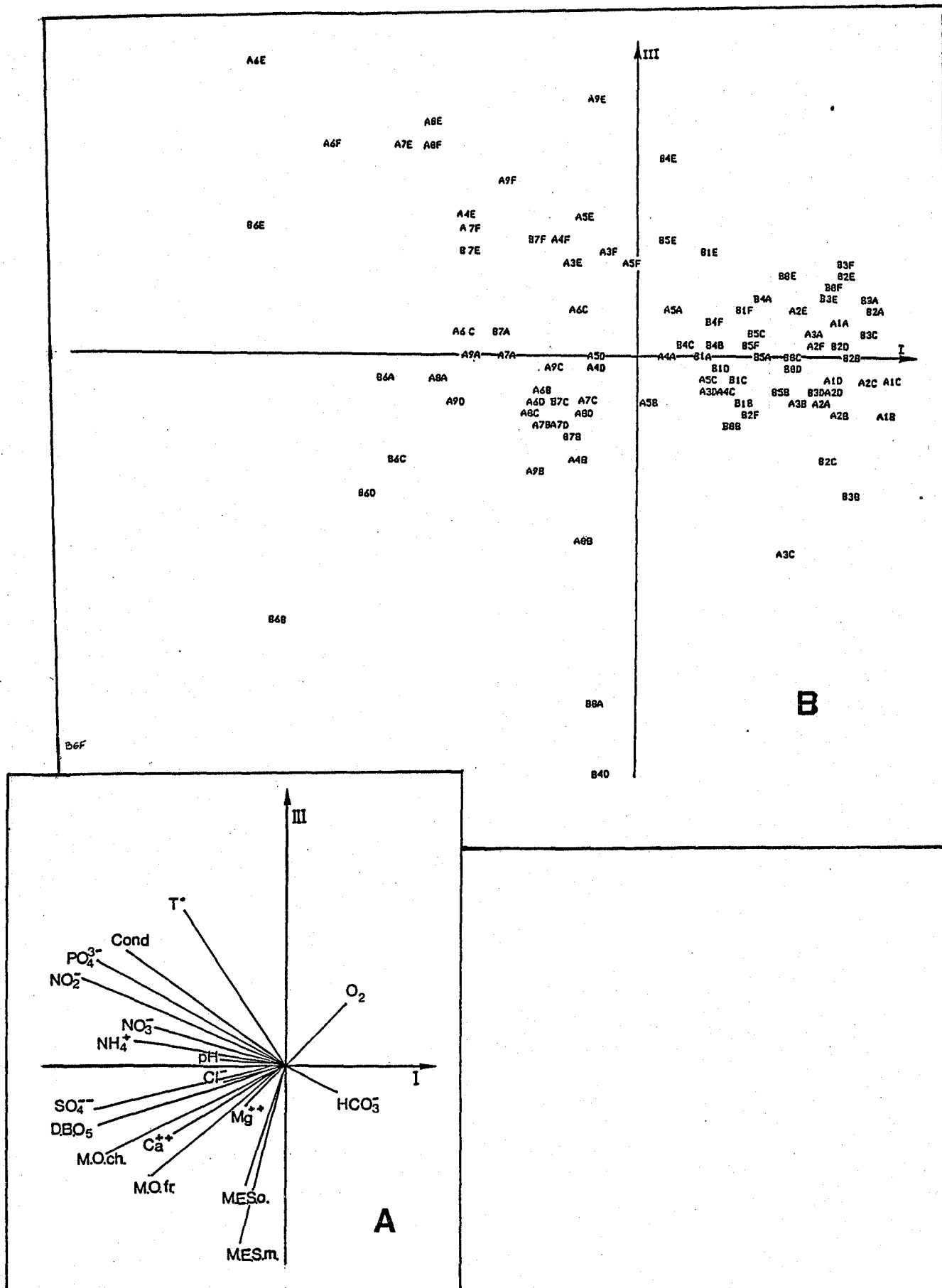


FIGURE 13 - Représentation dans le plan I/III de l'A.C.P. des 18 vecteurs-descripteurs(A) et des 98 points-échantillons(B). (le code de la station est suivi d'une lettre représentant le mois de prélèvement: septembre 84=F; novembre 84=A; janvier 85=B; mars 85=C; mai 85=E; D; juillet 85=D).

Les stations les plus marquées par les températures estivales sont aussi les plus eutrophes (A5, A6, A7, A8, A9, B6). A l'opposé, les stations les moins atteintes par l'élévation de la température (faible amplitude thermique) sont situées dans les affluents naturels (B2, B3, B8) et dans l'épirhithron de l'Arc (A₁ et A₂).

En définitive, cette A.C.P. réalisée sur 6 séries de mesures physico-chimiques met en évidence la dominance et l'importance de nombreux alteragènes dans le fonctionnement de l'hydrosystème Arc. Cet enrichissement provenant des nombreuses activités humaines du bassin versant est défini par DUVIGNEAUD (1974) comme une eutrophication, il est visualisé par la composante C₁.

Le deuxième axe apporte peu d'informations quant à la synthèse hydrochimique globale, car il est lié à un phénomène ponctuel (remise en suspension des matières organiques et minérales consécutives à une crue).

Enfin, les variations saisonnières représentées par la composante C₃ permettent de distinguer les campagnes d'été au cours desquelles on observe une augmentation des amplitudes des coordonnées des points-stations sur l'axe I, les écarts les plus grands étant relevés au cours du mois de juillet.

Les synthèses hydrochimiques du Buëch (VESPINI, 1985) et de l'Ardèche (DOLEDEC, 1985) au moyen d'une A.C.P. font apparaître la prépondérance de l'eutrophisation dans ces 2 cours d'eau. Cette évolution naturelle du degré de trophie des eaux d'amont en aval est traduite par la première composante de l'analyse dans le Buëch, par les axes I et II dans l'Ardèche ; le phénomène d'eutrophication révélé dans le Buëch par la composante C₂ est secondaire.

Comparativement, l'Arc apparaît comme un milieu particulièrement perturbé et désorganisé par les contaminants provenant des activités anthropiques implantées sur son bassin versant ; l'évolution spatio-temporelle naturelle de la rivière a disparu, ce qui n'est pas encore le cas du Buëch pourtant atteint par une importante pollution organique chronique (rejets des abattoirs de la ville de Laragne).

Le fonctionnement du Lot, dont l'étude a été réalisée au moyen d'une analyse factorielle des correspondances par ANGELIER et al (1978) est plus proche du cas de l'Arc : les auteurs interprètent le premier axe comme

représentant "la disposition naturelle amont-aval des stations et un enrichissement de l'eau en substances liées à l'activité humaine sous toutes ses formes", le deuxième axe de l'analyse étant influencé par la nature géologique de la roche-mère.

II.3. - HIERARCHISATION DES SITUATIONS HYDROCHIMIQUES

Parmi les 6 séries de prélèvements analysés précédemment, la campagne de juillet 1985 est la plus représentative de l'état hydrochimique de l'Arc (eutrophication maximale en A₃, A₄ et A₆, auto-épuration active régulière entre A₆ et A₉).

Ces relevés ont donc été choisis afin de réaliser une analyse simplifiée servant de support à la recherche d'une hiérarchisation des situations hydrochimiques de l'hydrosystème "Arc".

La matrice de données a pour dimensions 16 x 18. La variance de l'axe I est élevée (43,4 %) ainsi que la part de variance expliquée du plan I/II (0,57).

Les corrélations positives les plus importantes (supérieures à 0,800) observées sur la matrice de corrélation unissent les substances azotées, les phosphates, les matières organiques dissoutes, la conductivité, les ions chlorures, calcium et sulfate, qui représentent l'enrichissement exogène des eaux et s'opposent à la variable oxygène (fig. 14.A). Comme dans l'analyse précédente, la composante G₁ décrit ainsi un phénomène d'eutrophication.

Le pôle positif de l'axe II est composé essentiellement du descripteur magnésium.

La disposition des points-stations en arc de cercle centré sur l'origine des axes dans le plan I/II (fig. 14B) permet d'associer chaque demi-quadrant du plan à un lot de stations affines (fig. 15).

Les 2 quadrants situés à droite de l'axe II de part et d'autre de l'axe I sont occupés par des stations naturelles ou légèrement perturbées. Quatre affluents (Bayeux, Cause, Grand Torrent et Haute Torse) sont réunis dans le quadrant sud-est. Puis une station du cours supérieur (Pourcieux) asso-

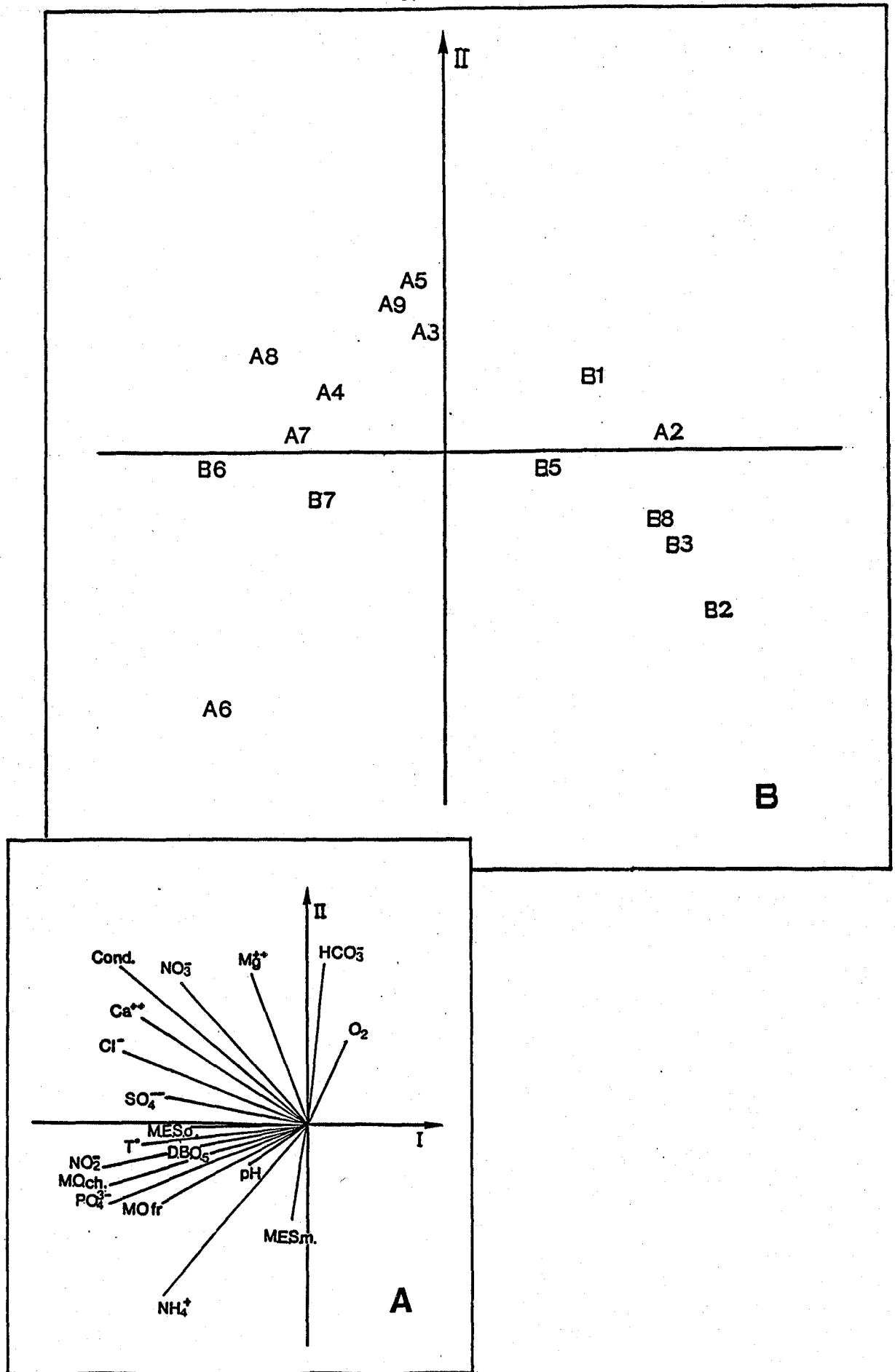


FIGURE 14 - Représentation dans le plan I/II de l'A.C.P. des 18 vecteurs-descripteurs(A) et des 16 points-échantillons(B). (campagne de juillet 1985).

ciée à l'Aubanède, affluent de la haute vallée de l'Arc, occupe la partie inférieure du quadrant nord-est. Enfin, la station "Basse Torse" est isolée, attirée par le pôle négatif de l'axe I.

Quatre sous-ensembles occupent la moitié gauche du plan I/II. Les stations situées à l'aval des zones à auto-épuration active mises en évidence précédemment (Bachasson et Berre) auxquelles se joint la station de Marius ont des coordonnées négatives faibles sur l'axe I. Un autre groupe de points réunit 3 stations-témoins des secteurs de pollution chronique critique situées sur le cours axial de l'Arc (Rousset, St-Pons, Coudoux). Ces 2 lots de stations occupent respectivement les parties supérieures et inférieures du quadrant nord-ouest. Enfin, les sulfates déterminent la position de 2 stations dans la zone supérieure du quadrant sud-ouest; la Pioline, très corrélée à la variable ammoniacale, est située dans la zone inférieure de ce quadrant.

Ces 7 lots de stations constituent ainsi les niveaux d'une hiérarchie déterminée par 57 % de l'information hydrochimique initiale (part de variance expliquée du plan I/II : 0,57).

Le choix d'un gradient de pollution selon le sens trigonométrique sur la figure 15 et d'une station-type représentative de chaque lot permet de numéroter ces types de 1 à 7 :

type 1	station type : Bayeux
type 2	" " : Aubanède
type 3	" " : Basse Torse
type 4	" " : Berre
type 5	" " : Saint-Pons
type 6	" " : Luynes
type 7	" " : Pioline

A l'issue de la détermination de "types" de situations chimiques suivant un gradient d'eutrophie basée sur une analyse multivariée, il paraît intéressant d'établir une relation entre chaque type et la nature du ou des contaminants qui le détermine.

L'origine des perturbations provenant des activités anthropiques des bassins versants des affluents étudiés étant les mieux circonscrites, le lien "type-nature du contaminant" est d'abord recherché pour ces stations.

Les types 1 et 2 sont liés à l'absence d'impact polluant de par

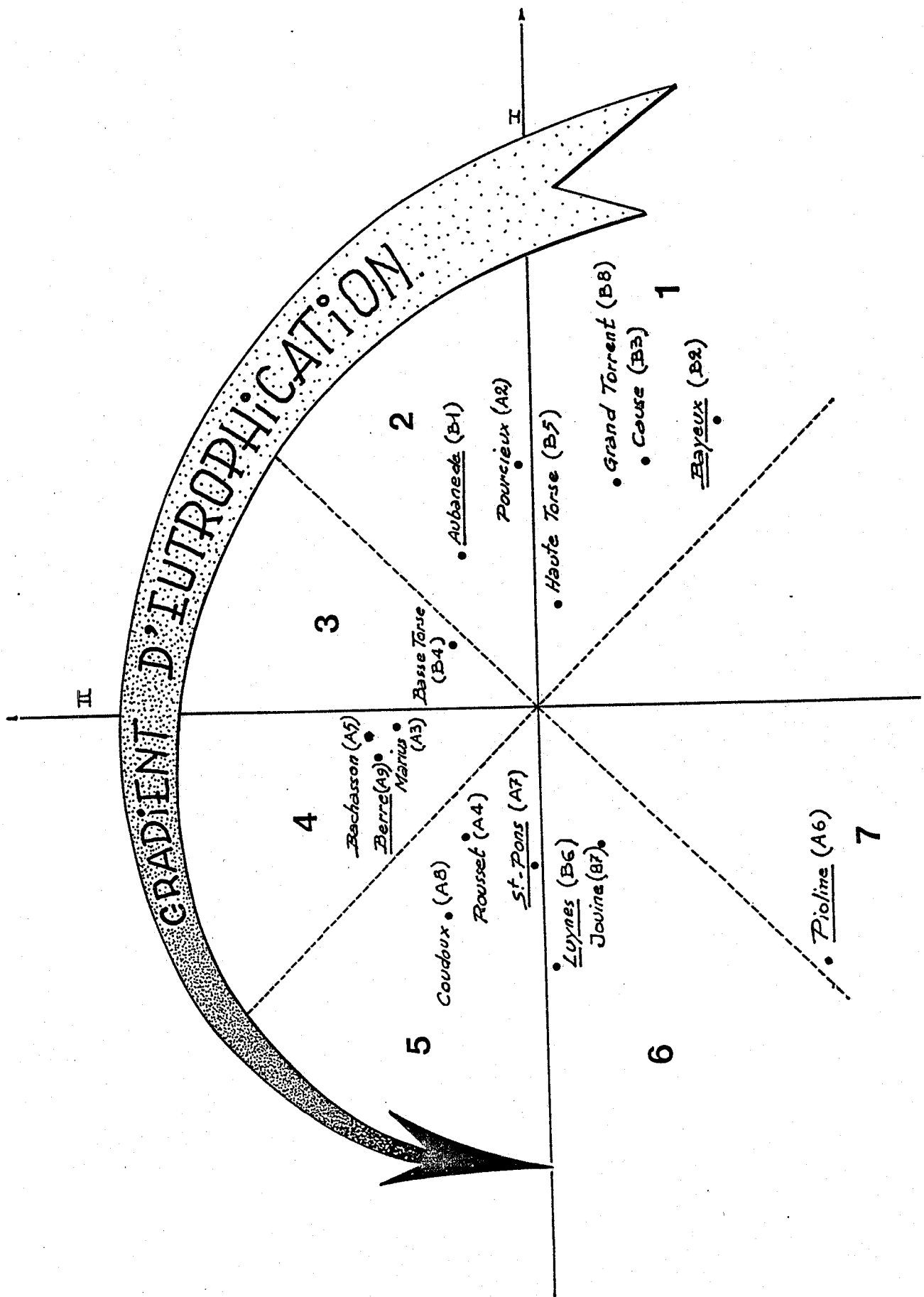


FIGURE 15 - HIERARCHISATION DES SITUATIONS HYDROCHIMIQUES.
 Les types hydrochimiques sont numérotés de 1 à 7 suivant le gradient d'eutrophication. (Les stations-types sont soulignées).

leurs coordonnées positives élevées sur l'axe d'eutrophication ; le troisième type (Basse Torse) est déterminé par une pollution urbaine diffuse ; enfin le sixième type, représenté par la Luynes, semble induit par un impact chimique d'origine essentiellement industrielle (influence du bassin houiller de Gardanne) et secondairement agricole.

Cette relation est plus difficile à établir en ce qui concerne les stations-types du cours axial. La Pioline (type 7), milieu extrêmement pollué, est encore bien caractérisée par l'importance de sa corrélation avec la variable ammoniacale : cette situation est liée à un impact organique élevé d'origine dominante urbaine. Par contre, les types 4 et 5 réunissent des milieux soumis à une pollution composite (type 5) arrivés à leur potentiel maximum d'auto-épuration (type 4) ; dans ces 2 cas l'origine des contaminants est plus difficile à discerner en raison de l'intrication et de la complexité des facteurs perturbants.

En résumé on peut dire que les 7 types de situations hydrochimiques établis à partir des 18 variables mesurées dans les 16 stations du réseau de l'Arc apparaissent aussi liés à la nature des effluents en cause dans le bassin de l'Arc. On peut noter :

types 1 et 2	absence d'impact (stations B1, B2, B3, B5, B8, A2)
type 3	impact urbain diffus (station B4)
types 4 et 5	pollution composite à divers stades de dégradation (stations A3, A4, A5, A7, A8, A9)
type 6	impacts industriels et agricole (stations B6 et B7)
type 7	impact urbain massif (station A6)

La cartographie de cette typologie (fig. 16) visualise les secteurs du réseau qui possèdent un contexte hydrochimique de nature et d'importance similaires.

II.4. - CONCLUSION

L'Arc apparaît au terme de cette étude comme un milieu soumis à une séquence d'impacts chroniques d'importance et de nature très variables et à caractère fréquemment diffus.

Les diverses situations hydrochimiques mises en évidence dans ce

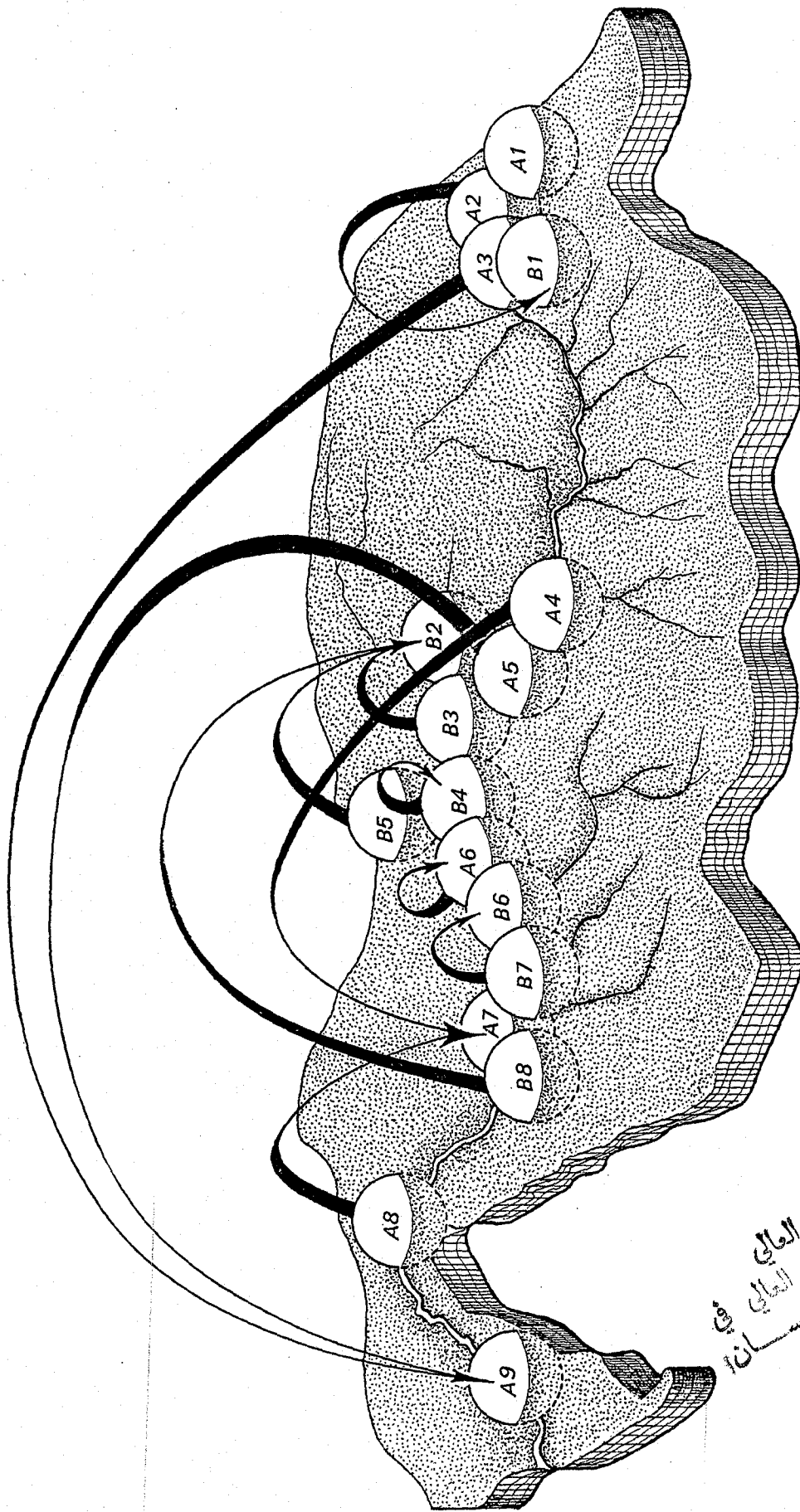


FIGURE 16 - Groupements de stations affines d'après leur hydrochimie (A.C.P.). Les flèches unissent les stations d'un même groupement à la station-type de ce groupement.
 Les stations sont représentées par une sphère ; cours axial : A1 à A9, affluents : B1 à B8.
 (La station A1 n'est pas prise en compte dans cette A.C.P.).

réseau par l'analyse synchronique de descripteurs physico-chimiques sont ordonnées suivant un gradient d'eutrophie déterminé par la première composante principale d'une analyse multivariée, gradient qui ne correspond pas au phénomène d'enrichissement naturel amont-aval habituellement décrit.

Les résultats font apparaître deux sources principales de pollution : l'une en amont de Rousset, où sont implantées de grandes porcheries, l'autre au niveau de la station d'épuration de la Pioline qui a la capacité de traiter 140.000 équivalents-habitants (population actuelle d'Aix-en-Provence), mais qui n'est pas équipée pour un traitement plus poussé, visant, entre autres, à éliminer l'ammoniaque des eaux usées.

L'étude des composantes chimiques met bien en évidence le lien "nature de l'effluent-aptitudes biogènes des eaux du milieu récepteur" dans 3 affluents : la Basse Torse (B4), la Luynes (B6) et la Jouine (B7) soumis à des impacts relativement précis. Cette relation est beaucoup plus difficile à établir dans le système complexe que constitue l'Arc, où l'évolution naturelle des éléments est associée à des processus allogènes aussi variés que diffus et mal répertoriés et dont les conséquences sur la qualité chimique des eaux sont difficilement dissociables. Comme l'analysent BOURNAUD et AMOROS (1984) pour le Haut Rhône, on peut dire que l'Arc est "confronté à une succession d'états complexes évoluant à différentes échelles d'espaces et de temps sous l'impulsion de flux multiples."

Les éléments allogènes ont un rôle prépondérant dans le fonctionnement de cet hydrosystème dont ils masquent l'eutrophisation naturelle. Seuls quelques affluents permettent encore de percevoir ce que pouvait être l'état de l'Arc il y a quelques décennies.

CHAPITRE III

COMMUNAUTES ALGALES

Le peuplement algal, premier niveau trophique de l'écosystème aquatique, réagit rapidement aux modifications de la qualité de l'eau et, comme le soulignent GALVIN-CHABRIERE et CAZAUBON (1983) dans leurs travaux sur l'hydrobiologie du Haut Argens, il reflète les fluctuations spatiales des descripteurs abiotiques.

Son étude permet de déceler et d'évaluer l'impact d'éventuelles perturbations sur le milieu aquatique.

ZELINKA et MARVAN (1961), SLADECEK (1973), COSTE (1978) et DESCY (1979) attribuent un degré de saprobie aux espèces d'algues afin d'estimer le niveau de trophie des eaux qu'elles colonisent. L'évaluation des biovolumes et le dosage des pigments chlorophylliens sont également pris en compte pour caractériser le niveau de pollution d'un cours d'eau (ANDRESEN-LEITAO, 1984 ; WATANABE, 1985).

Cette étude préliminaire de la flore algale de l'Arc a pour but de fournir un certain nombre de données d'ordre qualitatif et quantitatif sur ces communautés, d'évaluer l'impact des situations hydrochimiques extrêmes précédemment mises en évidence, d'apporter enfin des informations relatives au degré de saprobie des différents secteurs étudiés.

Tous les comptages et déterminations ont été réalisés par Madame CAZAUBON*. Le protocole d'échantillonnage est exposé en annexe I.

L'inventaire floristique réunit les espèces épilithiques (récoltées sur substrats naturels: galets), périphytiques au sens large (récoltées sur substrats artificiels) et en dérive (tychoplancton). Il est établi pour 6 stations du cours axial (A₂ : Pourcieux ; A₄ : Rousset ; A₅ : Bachasson ; A₆ : Pioline ; A₇ : St-Pons ; A₉ : Berre) et 5 affluents (B₂ : Bayeux ; B₃ : Cause ; B₆ : Luynes ; B₇ : Jouine ; B₈ : Grand Torrent).

Une étude quantitative, portant sur l'évaluation de la densité, de l'abondance relative et de la biomasse des principaux groupements d'algues

* Maître de conférence au laboratoire de Biologie Animale- Ecologie - Centre Universitaire de St-Jérôme - Aix-Marseille III.

épilithiques est ensuite réalisée, puis complétée par le dosage de pigments chlorophylliens.

I - ETUDE QUALITATIVE DE LA FLORE ALGALE

I.1. - INVENTAIRE FLORISTIQUE

Des récoltes d'algues épilithiques, périphtiques et en dérive ont été réalisées au cours de 2 années (1984, 1985).

Les inventaires de printemps, d'été et d'automne 1985 sont réunis sous forme de tableau indiquant la présence ou l'absence de chaque taxon dans les 11 stations prospectées (annexe III).

I.2. - RICHESSE SPECIFIQUE

Parmi les 146 espèces recensées, 106 appartiennent au groupe des Diatomées, les Chlorophytes (26 espèces) et les Cyanophycées (12 espèces) regroupant la majorité des autres taxons.

Cette richesse peut être qualifiée de "moyenne" si on la compare aux 190 espèces répertoriées par CAPBLANCQ et DAUTA dans le Lot (1978), aux 159 taxons du Rizzanèse en Corse (LOUDIKI, 1985), aux 128 taxons de la Moyenne Durance (R. PREVOT, 1984) et aux 81 taxons du Buëch dans les Alpes-de-Haute-Provence (VESPINI, 1985).

KIM et TRAVERS n'ont identifié que 80 espèces dans l'Arc (1978), mais leur étude ne concerne que le potamoplancton. Ce résultat concorde avec notre inventaire (74 taxons recensés) à la station de Berre (A9).

Dans les autres secteurs du réseau, les richesses spécifiques maximales sont relevées dans le Grand Torrent (52 taxons) et à Rousset (46).

Par rapport à l'importance de l'inventaire global, la faiblesse des richesses spécifiques stationnelles confirme le caractère hétérogène de l'hydro-système Arc, déjà révélé par l'étude de ses compostantes abiotiques.

I.3. - DEGRE DE TROPHIE DES EAUX

Les communautés algales, généralement considérées comme très sensibles aux variations des descripteurs physico-chimiques, ne présentent pas de différences stationnelles notables dans le réseau de l'Arc.

Elles sont caractérisées par la dominance d'espèces β - mésosaprobies : selon les secteurs, 35 à 63 % des taxons identifiés appartiennent à ce niveau de saprobie d'après la classification de SLADECEK (1973).

Seuls le Bayeux et le Grand Torrent se différencient par un développement non négligeable d'algues xénosaprobies, indicatrices de milieux pauvres en matières oxydables.

En définitive si l'inventaire floristique permet de situer les stations étudiées dans les milieux β - mésosaprobies, il n'est pas possible, faute d'indications plus précises relatives à l'impact des multiples perturbations, de définir avec certitude le degré de trophie des eaux sans réaliser une analyse quantitative.

II - ETUDE QUANTITATIVE DE LA FLORE ALGALE

II.1. COMPARAISONS STATIONNELLES DE QUELQUES COEFFICIENTS ECOLOGIQUES DES COMMUNAUTES EPILITHIQUES

L'échantillonnage estival (juillet 1985) dans 11 stations permet de comparer quantitativement les communautés épilithiques.

II.1.1. - Densité et biomasse (fig. 17)

Les densités (exprimées en cellules/cm²) et les biomasses (en µg/m³) des peuplements récoltés sur substrat naturel sont très variables d'une station à l'autre :

- Les densités totales les plus fortes sont relevées dans la Luyne (B6 : 54 562 cell./cm²) et à Bachasson (A5 : 25 992 cell./cm²). Ces valeurs élevées sont difficiles à interpréter ; il est probable que dans un milieu tel que l'Arc soumis à des perturbations irrégulières, un échantillonnage plus serré, sur un cycle annuel, apporterait de meilleures informations.

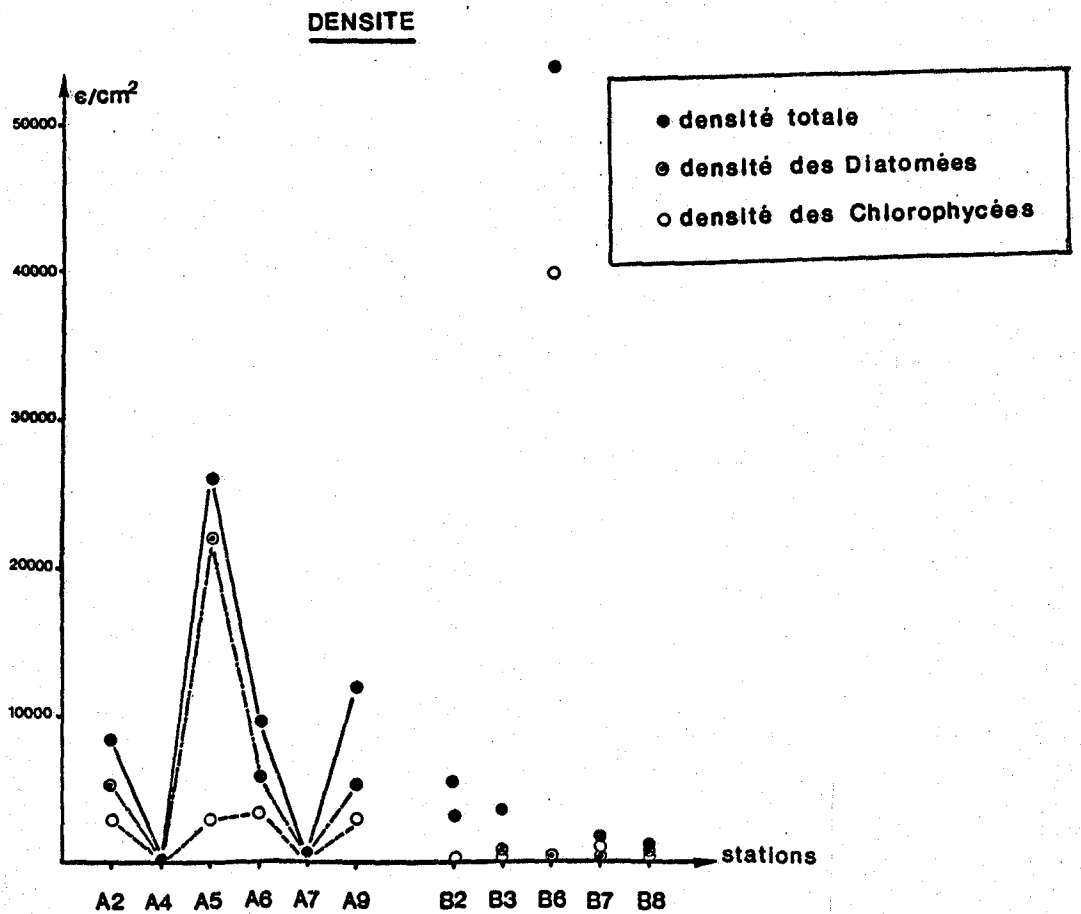
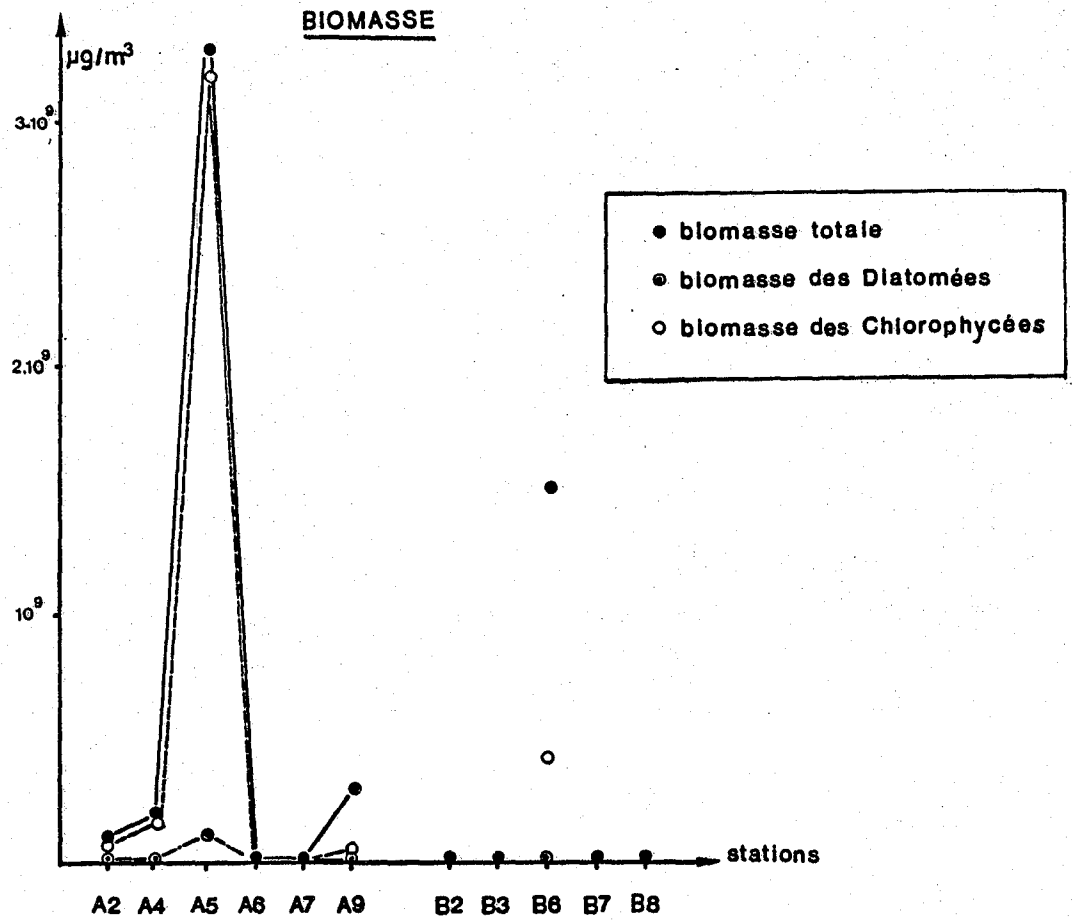


FIGURE 17 - Evolution spatiale de la densité et de la biomasse des communautés algales épilithiques (juillet 1985).

- Les stations de Rousset, St-Pons, Jouine et Grand Torrent ont des densités très faibles (inférieures à 2000 cell./cm²).

Les valeurs des biomasses totales suivent sensiblement les mêmes variations que la densité algale. Les biomasses les plus élevées (A5 et B6) correspondent à des compositions biotiques différentes : à Bachasson (A5), où la densité algale est due essentiellement au groupe des Diatomées, le peuplement renferme quelques Chlorophytes parmi lesquelles *Cladophora* sp. qui a un volume cellulaire important. Dans la Luynes (B6), ce peuplement est dominé par les Chlorophytes, représentées uniquement par *Ulothrix* sp. dont le volume est 270 fois plus faible.

II.1.2. - Abondance relative des groupes d'algues

La distribution des 5 groupes d'algues identifiés dans l'Arc est illustrée par la figure 18 .

La prise en compte de l'abondance relative des divers groupes permet de comparer les différents peuplements stationnels d'algues épilithiques.

On constate que les Diatomées, groupe le plus diversifié au sein de chaque station (53 taxons au total), ne sont pas toujours les mieux représentées quantitativement. Elles sont toutefois largement dominantes (de 48 à 92 %) dans 8 stations, 6 sur le cours axial et 2 sur les affluents.

Si l'on excepte les Diatomées, le peuplement algal de Berre (A9) se distingue des autres communautés stationnelles par l'égale importance (26 %) des Rhodophytes (1 taxon) et des Chlorophytes (2 taxons).

Les Chlorophytes sont également bien représentées dans les autres sites du cours axial (12 à 37 %) ; les deux autres groupes (Euglénophycées et Cyanophycées) sont soit absents, soit négligeables (0 à 3 % d'abondance relative).

La composition biotique des communautés algales est très variable au sein des affluents.

Les peuplements du Bayeux et du Grand Torrent sont, comme ceux de l'Arc, dominés par les Diatomées (66 et 92 %) , les Cyanophycées (dans le Bayeux, B₂) et les Rhodophytes (dans le Grand Torrent, B8) occupant le deuxième rang.

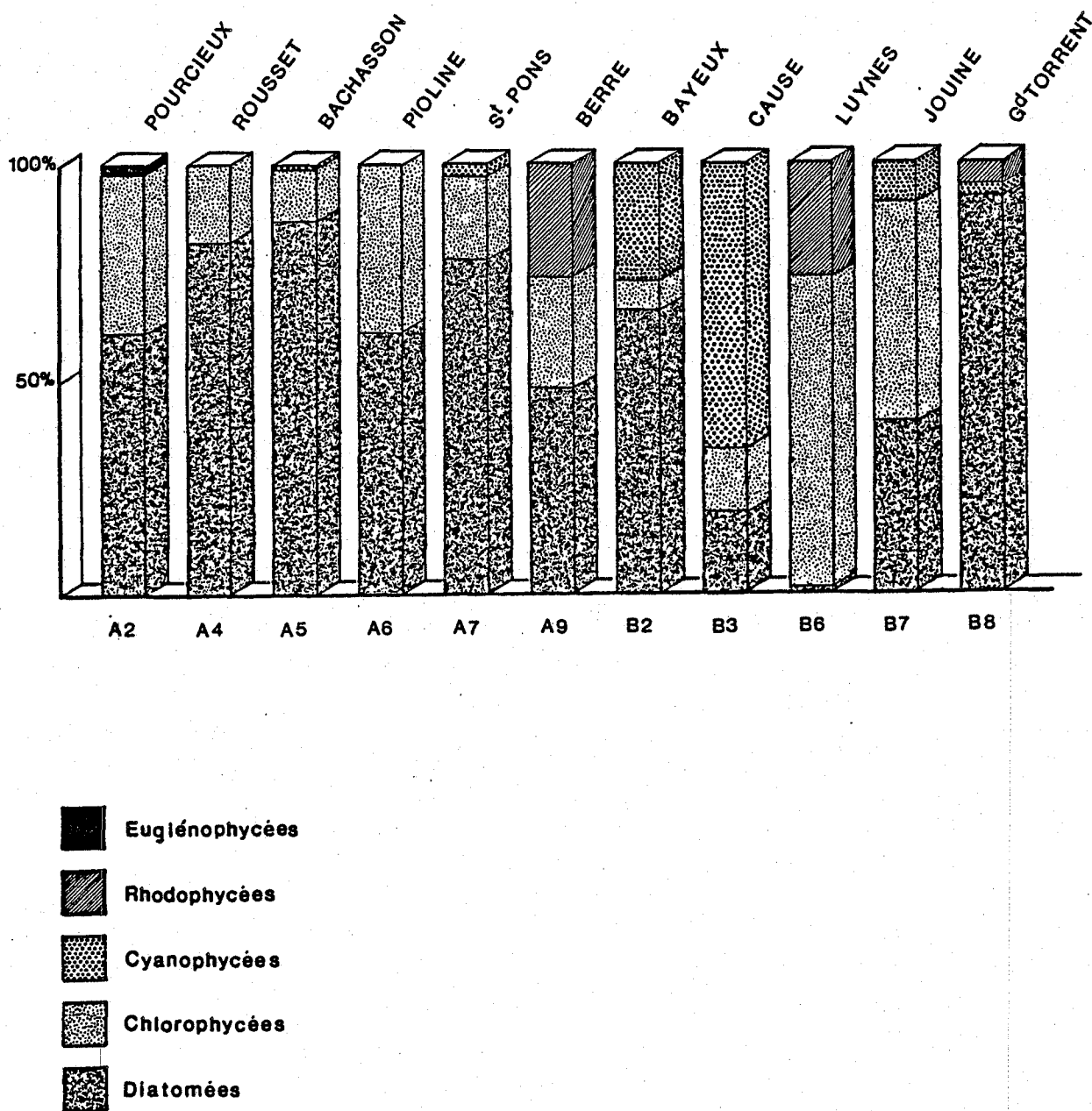


FIGURE 18 - Abondances relatives stationnelles de 5 groupes d'algues épilithiques (juillet 1985).

Le peuplement du Cause est représenté, pour 66 %, par une seule espèce de Cyanophycées : *Oscillatoria annae* ; il renferme par ailleurs 19 % de Diatomées et 15 % de Chlorophytes.

La Luynes et la Jouine sont caractérisées par la prolifération de Chlorophytes (73 et 51 %), groupe peu diversifié (2 taxons pour chacune de ces stations).

II.1.3. - Remarques sur les caractéristiques écologiques des espèces dominantes de chaque station

Certaines espèces d'algues périphytiques ont, selon les auteurs, des réactions très variables vis à vis de la pollution : c'est le cas de la Diatomée *Achnanthes minutissima* qualifiée d'"assez sensible" par CHOLNOKY (1968) et de " β - mésosaprobe" par FABRI et LECLERC (1984). Ces derniers considèrent d'ailleurs que cette algue est un mauvais indicateur. En effet, elle se développe bien à Pourcieux (46 % du peuplement épilithique, 74 % des Diatomées) et dans le Bayeux (48 % du peuplement), deux milieux considérés comme exempts de pollution (ils appartiennent aux types 1 et 2 de la hiérarchie hydrochimique précédemment définie). Cependant elle est encore abondante à Berre (18 % du peuplement), dont les eaux, bien que saturées en oxygène, sont chargées toute l'année en nutriments et sels minéraux divers.

Diatoma vulgare, qui représente le quart du peuplement algal de Bachasson (A₅), caractérise surtout, dans nos régions, des eaux bien oxygénées comme celles de l'Eau Salée, affluent de l'Argens (Var) fortement pollué mais saturé en oxygène (CAZAUBON, comm. oral.). L'importance de cette espèce en A₅ est liée à la turbulence des eaux qui favorise également l'oxydation des substances azotées dans ce secteur de la rivière.

A Rousset, *Nitzschia palea*, espèce considérée comme l'une des plus résistantes à la pollution (LANGE-BERTALOT, 1979, DESCY, 1979 in FABRI et LECLERC, 1984) représente 26 % du peuplement ; son développement va de pair avec le pic de pollution mis en évidence précédemment dans ce site. Il en est de même de la prolifération de *Stigeoclonium* sp. (dont l'espèce *Stigeoclonium tenue* caractérise les eaux polluées) à la Pioline, secteur le plus contaminé de l'Arc.

A St-Pons, 32 % du peuplement épilithique est représenté par *Gom-*

phonema parvulum, espèce euryèce, caractéristique d'eaux riches en éléments nutritifs et bon indicateur d'eutrophie (KLASVIK, 1974 *in* FABRI et LECLERC, 1984) ; ceci confirme la place de cette station dans le type 5 de la classification des milieux selon leurs caractéristiques physico-chimiques.

Parmi les affluents, le Cause est remarquable par la prolifération d'*Oscillatoria arnae* (66 %), espèce absente dans les autres secteurs de l'Arc. Sa présence est liée à l'abondance des matières organiques végétales (feuilles mortes, racines, branchettes), ce type de cours d'eau riche en débris végétaux étant le biotope préférentiel de cette algue (DESIKACHARY, 1959).

Hormis la Luynes, colonisée par 73 % d'*Ulothrix* sp. (algue verte filamenteuse fréquemment citée en eaux polluées), la flore des autres affluents est essentiellement représentée par des espèces euryèces telles que *Synedra ulna* et *Cocconeis placentula*.

II.1.4. - Conclusion

Cette étude quantitative permet d'observer quelques différences notables de structure de la communauté algale épilithique au sein du réseau de l'Arc, en particulier dans les affluents.

La présence de nombreux taxons euryèces et l'abondance d'espèces saprobiontes telles que *Nitzschia palea* ou *Gomphonema parvulum* dans certaines stations, indiquent un niveau de trophie élevé des eaux de l'Arc et de ses affluents, déjà signalé dans le chapitre précédent. La composition physico-chimique des eaux est en effet l'un des facteurs prépondérants influençant la répartition du peuplement algal épilithique.

II.2. - TENEURS EN PIGMENTS CHLOROPHYLLIENS DES COMMUNAUTES EPILITHIQUES ET EN DERIVE

Si le dosage des pigments chlorophylliens est souvent utilisé comme descripteur quantitatif des communautés algales, les avis divergent selon les auteurs quant à l'interprétation et à la validité des résultats.

Pour certains ce dosage ne constitue pas un critère d'estimation valable de la biomasse algale, mais apporte une information sur l'abondance des sels nutritifs présents dans l'eau en fournissant une assez bonne indication du degré de trophie du milieu (COSTE, 1978), ou reflète partiellement le

cycle de développement des algues (GARNIER, 1982).

D'autres considèrent que cette mesure est une estimation intermédiaire entre biomasse et productivité (KIM et TRAVERS, 1978), ou une manière indirecte, plus ou moins précise, de mesurer la biomasse algale (CARDINAL, 1982).

Pour SARACENI et al (1978), les variations temporelles de chlorophylle a suivent globalement celles de la biomasse algale. WATANABE (1985) enfin, estime que "le dosage des pigments chlorophylliens du périphyton est un paramètre important pour caractériser le niveau de pollution d'un cours d'eau".

Dans cette étude je considère, comme SARACENI, que le dosage des pigments chlorophylliens permet d'estimer la biomasse des communautés d'algues épilithiques et en dérive par le dosage de la chlorophylle a ; de plus, le rapport $\frac{\text{chloro.c}}{\text{chloro.b} + \text{chloro.c}}$ permet de suivre l'évolution de l'importance relative des Chlorophytes et des Diatomées dans ces peuplements.

II.2.1. - Chlorophylle a

L'évolution spatiale de la moyenne des mesures des concentrations en chlorophylle a, effectuées au printemps et pendant l'été 1985 (fig. 19), montre des variations beaucoup plus grandes de la biomasse du peuplement épilithique que de celle des algues en dérive.

En effet, le taux de chlorophylle a des communautés d'algues en dérive augmente de l'amont vers l'aval de façon régulière, pour atteindre un maximum à la station de Berre (A₉). Parmi les affluents, la Luynes (B₆) présente des valeurs un peu plus élevées que le Bayeux (B₂) et le Grand Torrent (B₈).

Les teneurs en chlorophylle a des communautés épilithiques sont beaucoup plus variables. On remarque un pic important en A₄ (Rousset) et A₆ (la Pioline), et toujours une biomasse plus élevée dans la Luynes que dans les stations B₂(Bayeux) et B₈ (Grand Torrent) : les teneurs maximales en chlorophylle a caractérisent les milieux les plus eutrophisés.

II.2.2. Rapport $\frac{\text{chloro.c}}{\text{chloro.b} + \text{chloro.c}}$

L'évolution de ce rapport (en %) traduit les fluctuations de la composition des peuplements, les taux élevés de chlorophylle b indiquant la présence de Chlorophytes, et la chlorophylle c celle des Diatomées.

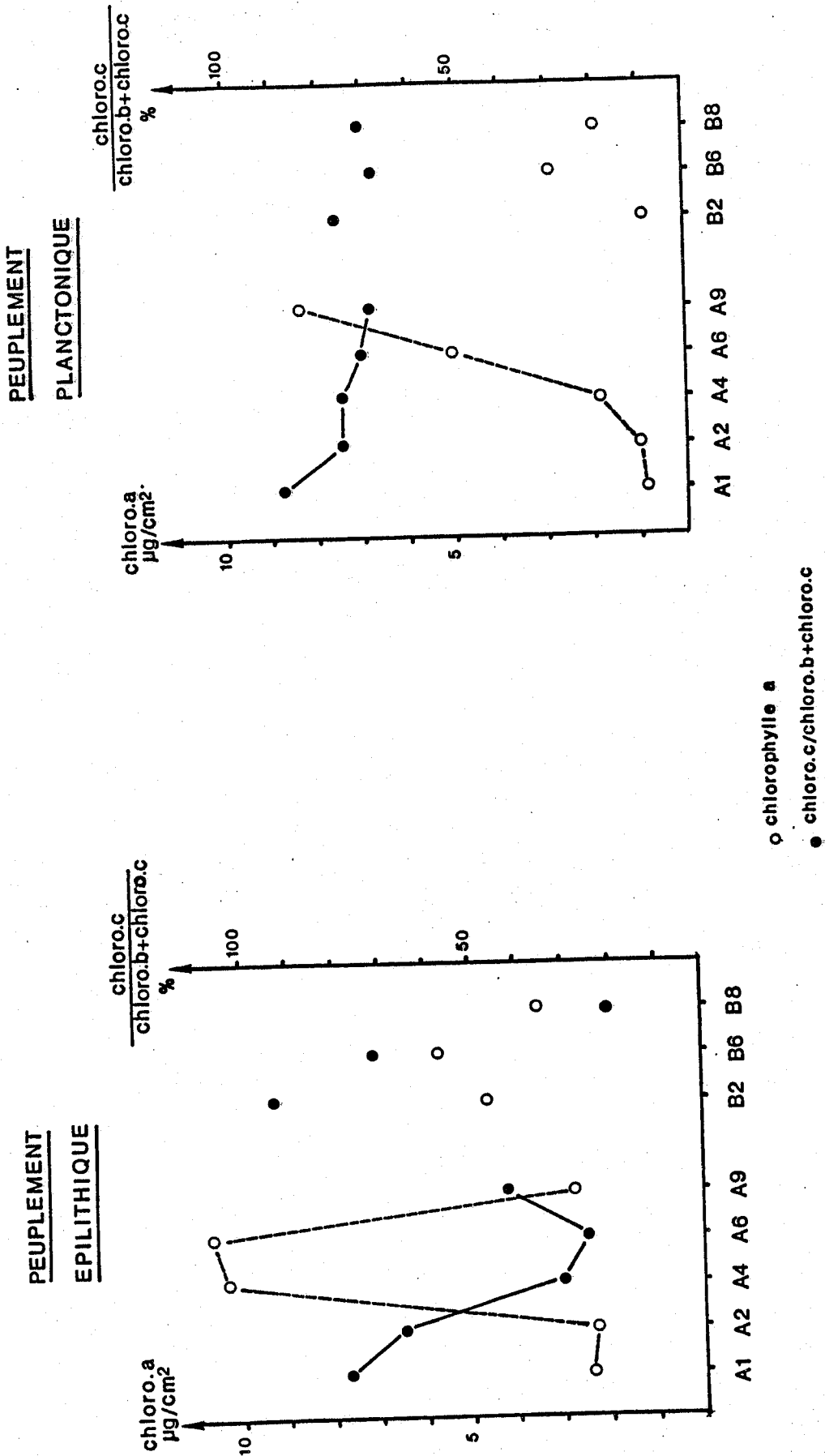


FIGURE 19 - Evolution spatiale des teneurs en pigments chlorophylliens des peuplements épilithiques et planctoniques (moyenne des dosages effectués de mai à août 1985).

Si les algues en dérive sont toujours représentées par une majorité de Diatomées dans le cours axial de l'Arc, il n'en est pas de même de la composition du peuplement algal épilithique (fig. 19) :

- Dans la portion supérieure (A₁ et A₂), des taux élevés de chlorophylle c traduisent l'importance des Diatomées.

- Dans le cours moyen (A₄ et A₆), les proportions s'inversent en faveur des chlorophylles b qui indiquent un peuplement essentiellement composé de Chlorophytes.

- A Berre (A₉), ces 2 groupes sont présents dans des proportions à peu près égales.

Les variations de ce rapport d'un affluent à l'autre sont peu marquées pour les communautés planctoniques. Elle révèlent par contre de grandes différences au sein du peuplement épilithique, le rapport étant élevé dans le Bayeux, puis moyen dans la Luynes et enfin très faible dans le Grand Torrent.

II.2.3. - Conclusion

L'évaluation de la biomasse des communautés algales en dérive dans l'Arc et des 2 principaux groupes qui les composent indique une augmentation régulière du taux de dérive tout le long de son cours, croissance due à un développement parallèle des Diatomées et des Chlorophytes. Ces valeurs ne reflètent pas l'impact des rejets polluants sur le réseau hydrographique de cette rivière.

Par contre, les variations enregistrées pour les paramètres relatifs aux communautés épilithiques mettent bien en évidence les secteurs les plus pollués du bassin de l'Arc : les pics de biomasse algale observés à Rousset (A₄) et à la Pioline (A₆) sont accompagnés d'une modification de la composition du peuplement (prédominance des Chlorophytes aux dépens des Diatomées). Ces proliférations se produisent dans les zones situées immédiatement en aval des 2 sources principales de pollution de la rivière.

Le peuplement algal de la Luynes présente également une biomasse assez élevée, due dans ce cas à l'abondance des Diatomées présentes dans cette station.

Il apparaît ainsi qu'une pollution organique comme celle enregistrée à Rousset et à la Pioline favorise l'extension du peuplement.

algal épilithique et joue un rôle sélectif en provoquant la prolifération d'algues vertes.

Par contre, les communautés algales semblent peu sensibles à l'impact d'altéragènes d'origine chimique comme celui observé dans la Luynes.

Cette étude confirme, par ailleurs, les données de SLADECKOVA (1962, *in* WATANABE, 1985) selon lequel "l'analyse du périphyton fournit des données plus réelles des conditions de pollution des eaux que celle du phytoplancton".

III - CONCLUSION

L'inventaire floristique que nous avons réalisé est constitué essentiellement de Diatomées (73 %) dont la plupart se développent dans des conditions écologiques très variées.

Pour certains auteurs comme MARGALEF (1968) et ECONOMOU-AMILLI (1980) les algues sont de mauvais indicateurs de l'état de saprobie des eaux et ne permettent pas une différenciation des stations : il en est ainsi pour les secteurs étudiés dans l'Arc qui appartiennent tous à la même catégorie (β - mésosaprobe) de la classification de SLADCEK (1973).

Cependant, si on considère l'abondance relative des divers groupes d'algues épilithiques, l'écologie des espèces les plus abondantes et l'évaluation des biomasses algales on constate que ces critères constituent de meilleurs indicateurs de la qualité de l'eau ; ils caractérisent de façon probante les zones de l'Arc atteintes par une pollution organique très élevée.

C'est vers cet aspect quantitatif de la flore algale qu'il paraît nécessaire d'orienter le traitement des prélèvements qui n'ont pas été exploités au cours de cette étude (maillage plus serré de l'échantillonnage, suivi du cycle annuel...) afin d'évaluer à une échelle de perception plus fine l'impact des diverses agressions auxquelles est soumis le milieu aquatique.

CHAPITRE IV

COMMUNAUTES D'INVERTEBRES BENTHIQUES
ET RIPICOLES AQUATIQUES

I - COMMUNAUTES DES INVERTEBRES BENTHIQUES

L'inventaire des Invertébrés benthiques récoltés dans les différentes stations réunit 216 taxons (annexe IV). Cette diversité faunistique est comparable ou supérieure à celle des autres systèmes lotiques circumméditerranéens. On note ainsi successivement 207 espèces dans la Moyenne Durance (R. PREVOT, 1984), 201 taxons sur 2 cours d'eau du versant occidental du Mont Liban (Liban: DIA, 1983), 198 dans l'Argens (Var : GIUDICELLI et al, 1980), 195 dans le Haut Sebou (Maroc : DAKKI, 1979), 186 dans la Restonica (Corse: GIUDICELLI, 1968), 148 dans le Buëch (Hautes-Alpes ; VESPINI, 1985), enfin 130 dans la Basse Ardèche (DOLEDEC, 1985).

La richesse en Invertébrés benthiques du réseau de l'Arc reflète la grande variété des secteurs prospectés. Les affluents, en particulier, correspondent à des milieux naturels ou très pollués susceptibles d'abriter des biocénoses fort distinctes et très différentes.

Les analyses multivariées, en intégrant un vaste ensemble de données, synthétisent les nombreuses informations faunistiques recueillies dans l'Arc.

L'A.F.C. ordonne stations et taxons, en fonction de leurs affinités, sur chaque axe factoriel. Elle met ainsi en évidence les phénomènes majeurs régissant la distribution spatiale des espèces, réunit les stations en fonction de cette distribution et enfin désigne les espèces caractéristiques de chaque groupe de stations et de chaque type de peuplement.

I.1. - ANALYSE SYNTHETIQUE DES DONNEES

Elle est réalisée à partir d'une matrice de données taxons-stations de dimensions 151 x 15 (les taxons qui sont représentés par un seul individu par station ne sont pas pris en compte). A chaque couple taxon-station est associé la somme des individus récoltés au cours de 9 campagnes. Cet effectif correspond à 3,6 m² de substrat échantillonné dans la station considérée (0,1 m² x 4 Surbers x 9 campagnes)*. Les effectifs sont transformés en classes de progression

* Cf. annexe I

logarithmique de raison 0,6.

I.1.1. - Caractéristiques et interprétation des axes factoriels

I.1.1.1. - Analyse prenant en compte l'ensemble des stations

Le premier axe factoriel représente une part élevée de l'information apportée par la matrice de données (27,7 %). L'inertie cumulée des 2 premiers axes de l'analyse (tableau ci-dessous) atteint 43,8 % et l'axe III a un pourcentage d'inertie encore important (10,3 %).

	Valeur propre	% d'inertie	Inertie cumulée
Axe 1	0,072	27,7	27,7
2	0,042	16,1	43,8
3	0,027	10,3	54,1
4	0,024	9,3	63,4
5	0,019	7,2	70,6

L'interprétation de ces 3 axes factoriels devrait nous permettre d'extraire les caractéristiques fondamentales de la communauté animale benthique du réseau de l'Arc, et les influences qui déterminent son organisation.

Les informations apportées par ces axes sont visualisées par des cartes factorielles.

I.1.1.1.1. Ordination des stations sur l'axe factoriel I (fig. 20).

Les signes de leurs coordonnées opposent 2 lots de points-stations distincts sur l'axe I :

- Les points de coordonnées positives représentent les affluents appartenant aux types hydrochimiques "1" et "2" précédemment définis par une absence d'impact. Le Bayeux (B₂), le Cause (B₃) et le Grand Torrent (B₈) ont les contributions les plus élevées sur cet axe.

- Sur la partie négative se situent les coordonnées de tous les points-stations du cours axial (A₂ à A₉) et celles des 3 affluents où une perturbation a été décelée (B₄, B₆, B₇). Parmi ces points, la Jouine (B₇), la Pioline (A₆) et St-Pons (A₇)

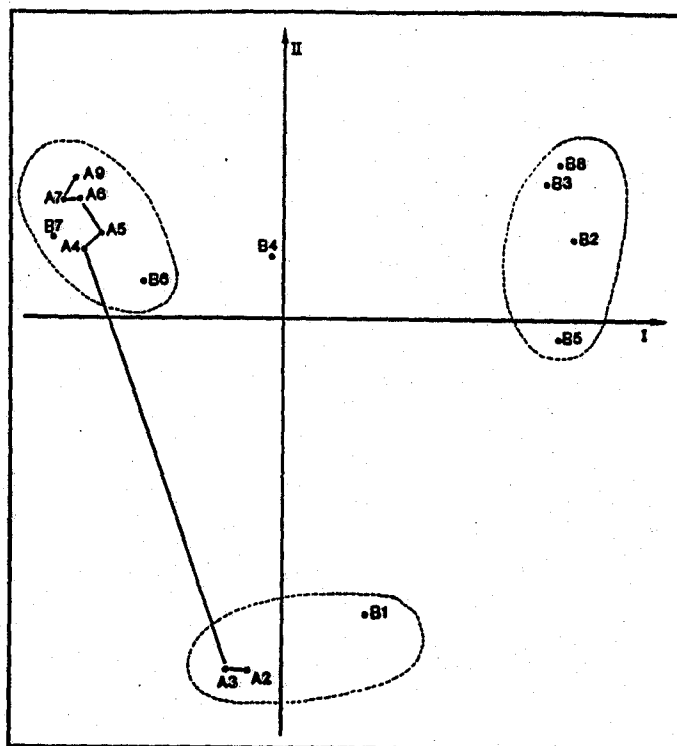


FIGURE 20 - Carte factorielle I/II des points-stations de l'A.F.C. relative aux Invertébrés benthiques récoltés dans l'ensemble des stations.

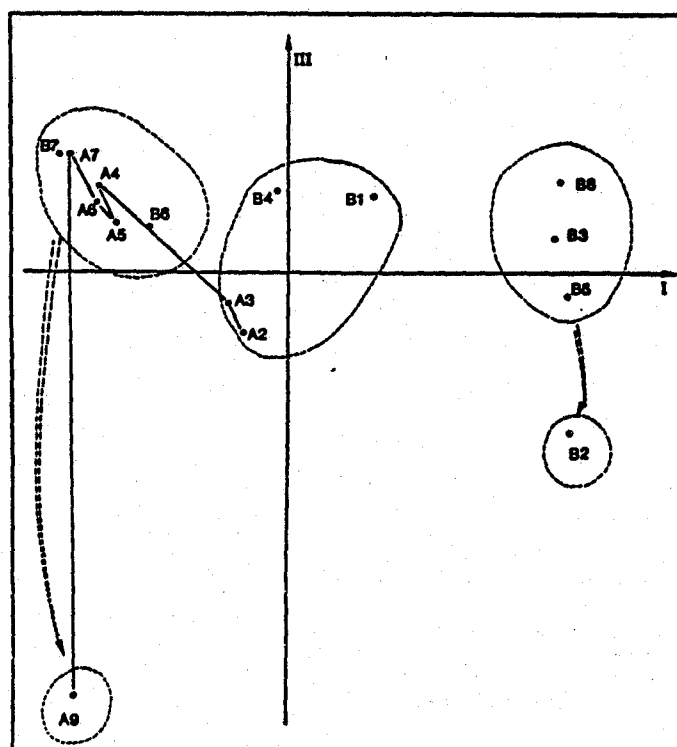


FIGURE 21 - Carte factorielle I/III des points-stations de l'A.F.C. relative aux Invertébrés benthiques récoltés dans l'ensemble des stations.

ont les plus fortes contributions.

Cet antagonisme des points positifs et négatifs est nuancé par l'observation détaillée de la répartition des coordonnées stationnelles. En effet, si certaines stations ont des coordonnées fortement positives (B₂, B₃, B₅, B₈) ou négatives (B₆, B₇, A₄ à A₉), d'autres ont des coordonnées proches de l'origine des axes : Aubanède (B₁), Basse Torse (B₄), Pourcieux (A₂) et Marius (A₃).

Chacune de ces 4 dernières stations possède ses propres particularités :

- L'Aubanède, bien que localisé dans une zone peu cultivée de la haute vallée de l'Arc, présente des taux de nitrates élevés et de sévères périodes d'étiage qui le distinguent des autres affluents "naturels".

- Les eaux de la Basse Torse, affluent dans lequel a été décelé un impact urbain diffus (type hydrochimique "3"), n'atteignent pas le niveau d'altération des eaux de la Luynes et de la Jouine, ou même du secteur aval de l'Arc (types hydrochimiques "4" à "7"). La position intermédiaire de cette station est confirmée par ses coordonnées négatives très faibles.

- Enfin, Pourcieux et Marius, stations de l'épirhithron peu ou pas polluées, présentent un caractère de temporarité (A₂) et un faible débit (A₃) très défavorables à l'installation d'une faune benthique stable et diversifiée.

L'axe factoriel I traduit ainsi la distribution spatiale des stations d'étude en fonction de la réponse des communautés d'Invertébrés benthiques à la qualité de l'eau. Les stations regroupées par l'analyse présentent des affinités dans leurs peuplements dont la structure, la diversité spécifique et la présence d'entités taxonomiques particulières sont induites par un même contexte abiotique.

On remarque de plus que, excepté les 2 sites choisis dans l'épirhithron, l'ordonnance sur l'axe I des stations du cours principal ne suit pas leur succession spatiale naturelle amont-aval. Cette disposition montre que la répartition de la faune benthique dans l'Arc est soumise à un facteur dominant, le facteur "hydrochimie", contrairement aux observations réalisées par d'autres auteurs dans des milieux plus ou moins perturbés : VERNEAUX (1973) dans le Doubs et GIUDICELLI et al (1980) dans l'Argens mettent en évidence la prépondérance du facteur "succession amont-aval" dans la mise en place des structures biocénotiques

d'une rivière.

L'étude faunistique confirme ainsi les conclusions émises au terme de l'analyse des descripteurs physico-chimiques du réseau de l'Arc, à savoir l'importance du phénomène d'eutrophication dans le fonctionnement de cet écosystème.

Le peuplement d'Invertébrés benthiques traduit l'impact des perturbations sur la totalité du cours principal de l'Arc en aval des premiers rejets polluants qui ont lieu à Marius (A₃) : toutes les stations situées à l'aval de cette dernière restent groupées dans un nuage de points de coordonnées négatives maximales sur l'axe I. Les composantes de l'environnement abiotique, par contre, retrouvent des valeurs proches de la normale à peu de distance en aval des rejets (6 kms entre Rousset et Bachasson, 33 kms entre la Pioline et Berre), ceci laissant supposer une auto-épuration (fig. 12). Cette auto-épuration en fait n'est qu'apparente puisqu'elle n'est pas révélée par les communautés d'Invertébrés qui montrent donc une plus grande sensibilité à la pollution que les paramètres abiotiques.

Ces observations complètent la remarque émise par VESPINI (1985) vis à vis de l'évolution temporelle des peuplements benthiques du Buëch : "le benthos garde la marque de la pollution".

I.1.1.1.2. Ordination des stations sur l'axe factoriel II (fig. 20).

L'axe II isole très nettement les peuplements des stations du haut réseau de l'Arc (Pourcieux (A₂) et Marius (A₃) sur le cours axial, l'Aubanède (B₁) comme affluent). Les paramètres hydrologiques jouent un rôle discriminant puisque ces 3 stations présentent un régime hydrique (temporarité ou faibles débits) très sélectif vis à vis des organismes benthiques. Ces 3 points ont des contributions très élevées sur le pôle négatif de l'axe II.

La Haute Torse (B₅), du fait de son débit très faible toute l'année, a des coordonnées négatives proches de l'origine de l'axe I.

Enfin les stations de coordonnées positives ont un débit important (stations du cours axial et de 4 affluents : Cause, Luynes, Jouine, Grand Torrent) ou n'atteignant jamais un niveau critique, même en période d'étiage (Bayeux, Basse Torse). Les plus contributives au pôle positif de l'axe factoriel II sont la Pioline (A₆), St-Pons (A₇), le Grand Torrent (B₈) et le Cause (B₃).

Les stations du cours principal sont ordonnées sur l'axe II suivant leur hiérarchie spatiale naturelle, mais les intervalles entre coordonnées stationnelles ne sont pas proportionnelles aux distances réelles entre stations. Il est néanmoins possible de séparer deux sous-groupes au sein des stations du cours moyen et inférieur de l'Arc; l'un correspond aux stations situées en amont d'Aix-en-Provence (A₄ et A₅), l'autre à la zone aval de cette ville (A₆ et A₇) jusqu'à l'embouchure de l'Arc (A₉). Ces 5 stations demeurent toutefois très proches.

I.1.1.1.3. Ordination des stations sur l'axe factoriel III (fig. 21).

L'axe III exprime essentiellement une redondance de l'information apportée par l'axe II. Il a pour effet supplémentaire de décaler légèrement du nuage de points "stations naturelles", précédemment décrit, la station B₂ (Bayeux) vers son pôle négatif et d'isoler la station A₉ (Berre) en position très négative, à l'opposé du lot de stations du cours moyen et inférieur de l'Arc.

I.1.1.2. - Analyse prenant en compte les seules stations axiales.

Une A.F.C. réalisée sur les données faunistiques en supprimant les stations affluents permet de mieux visualiser les affinités cénotiques entre les stations de l'Arc. Dans cette analyse, le pouvoir explicatif des 2 premiers axes est très élevé : 40 et 25 %.

Les points-stations se disposent dans le plan I/II (fig. 22) selon une courbe en "U" fréquemment obtenue par l'analyse de la distribution spatiale des biocénoses en milieu lotique et souvent interprétée comme la succession amont-aval des peuplements benthiques (VERNEAUX, 1973).

Le plan I/II de l'analyse du cours axial met bien en évidence les affinités des communautés benthiques des 2 stations du cours supérieur (A₂ et A₃) d'une part, et des stations de la moyenne vallée (A₄ à A₇) d'autre part. Seul le peuplement de la station A₉ (Berre) présente des particularités qui seront examinées dans le prochain paragraphe.

Comme dans l'analyse précédente, l'axe factoriel I représente un gradient "eutrophisation + eutrophication" et induit la disposition en "U" des points-stations dans le plan I/II de l'analyse des peuplements du cours axial (fig.22).

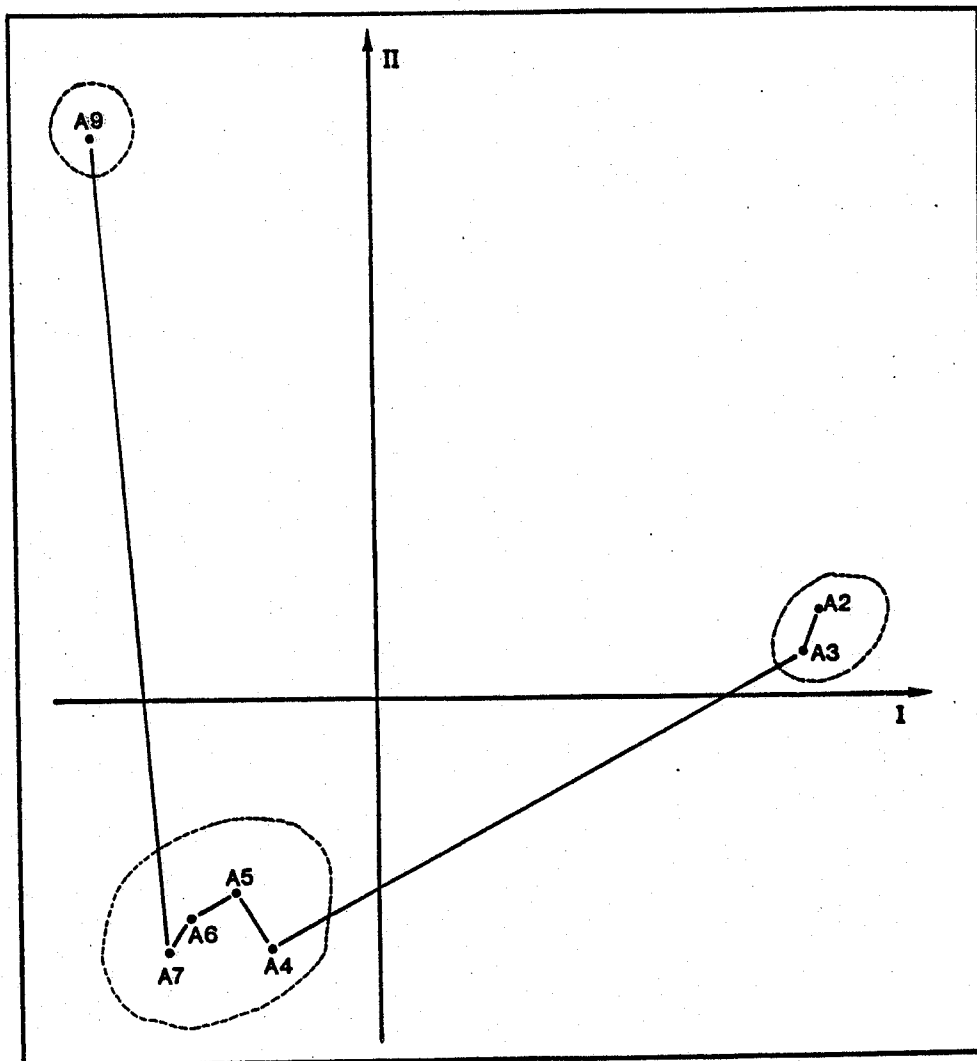


FIGURE 22 - Carte factorielle I/II des points-stations de l'A.F.C. relative aux Invertébrés benthiques récoltés dans les stations du cours axial.

I.1.2. - Recherches d'espèces associées à chaque groupe de stations dans l'analyse prenant en compte l'ensemble des stations

La carte factorielle I/II des points-taxons (annexe V.2) visualise le plus d'informations relatives à la distribution spatiale des Invertébrés benthiques dans le réseau de l'Arc. La carte factorielle I/III (annexe V.3) permet essentiellement de déterminer les espèces contribuant le plus à l'originalité des peuplements des stations A₉ et B₂.

La figure 23 synthétise ces résultats faunistiques. Elle prend en compte les taxons qui ont les plus fortes contributions sur les axes I, II et III et aussi certains taxons qui du fait de leur valence écologique étroite ont la valeur d'indicateurs de zones.

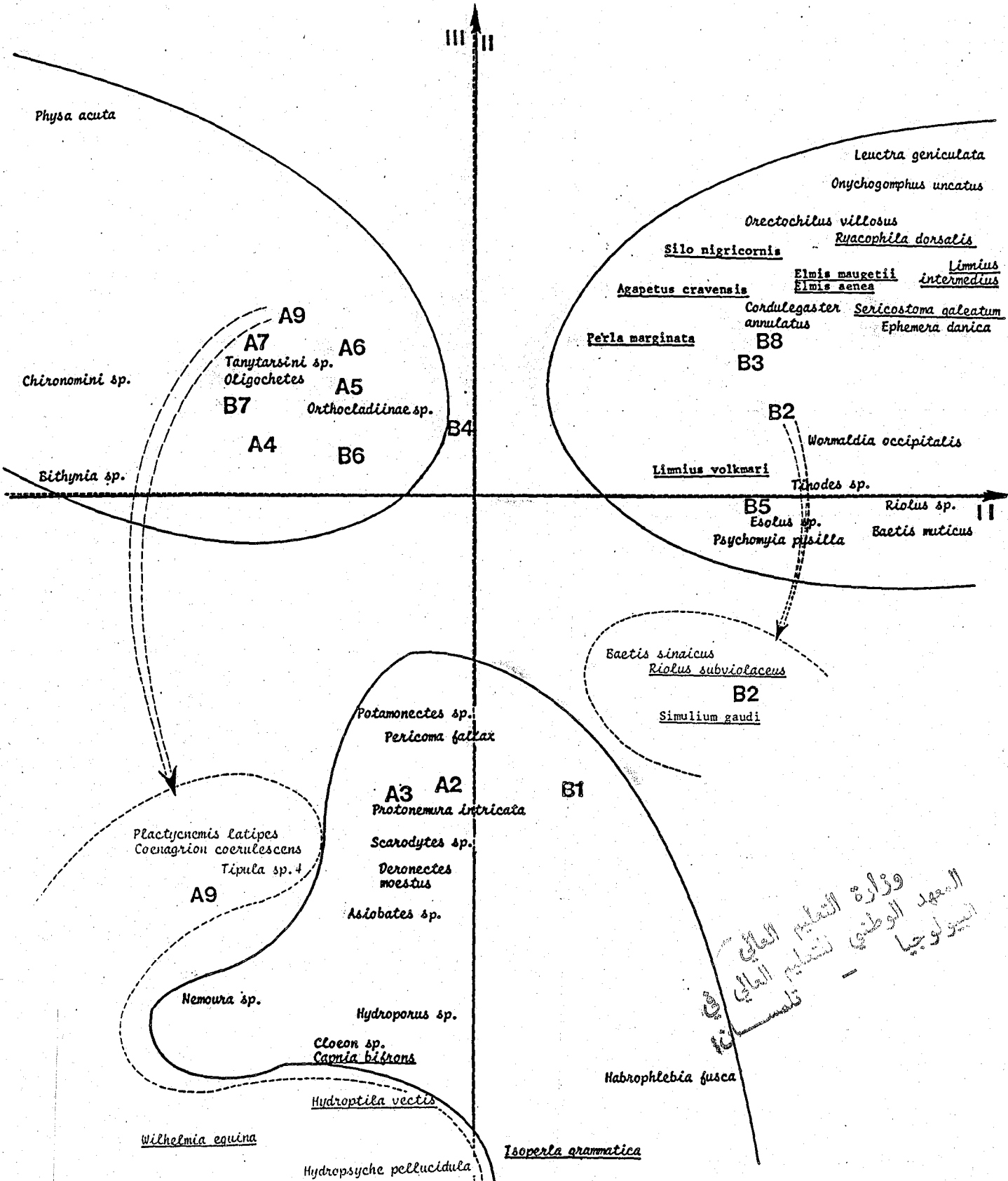
Trois groupes d'espèces se répartissent dans le plan I/II.

1) Un premier groupe se superpose au noyau de stations "affluents naturels" (B₂, B₃, B₅, B₉) mis en évidence dans le quadrant supérieur droit du plan I/II. Parmi ces espèces, certaines sont exclusives de ces sites ; ce sont les Ephéméroptères *Baetis muticus* et *Ephemera danica*, le Plécoptère *Leuctra geniculata*, les Trichoptères *Wormaldia occipitalis* et *Tinodes* sp. et les Coléoptères *Oreochilus villosus* et *Limnius intermedius*. *Cordulegaster annulatus*, *Onychogomphus uncatatus*, *Sericostoma galeatum*, *Psychomyia pusilla*, *Esolus* sp. et *Riolus* sp. présentent une abondance maximale dans ces stations. Enfin, quelques espèces peu abondantes, dont les contributions aux axes I et II sont faibles, sont exclusives de ces 4 stations : *Perla marginata*, *Agapetus cravenensis*, *Silo nigricornis*.

Les espèces, abondantes et/ou exclusives, qui constituent ce noyau ont une signification écologique assez précise et caractérisent bien le type de biotope correspondant au premier groupement des stations.

Certaines sont considérées comme potamophiles :

- GIUDICELLI et al (1980) signalent l'abondance de *Leuctra geniculata* et *Limnius intermedius* dans les stations aval de l'Argens. Ce sont 2 espèces "accessoires" dans la communauté benthique du métarhithral et de l'hyporhithral d'après ces auteurs. Pour VERNEAUX (1973), *Leuctra geniculata* est une espèce structurale du cours inférieur de la Loue et appartient à l'hyporhithron du Doubs. *Limnius volkmari*, dont la répartition dans l'Arc est, comme dans l'Argens, presque superposable à celle de *L. intermedius*, est par contre caractéristique des secteurs supérieurs des réseaux (DIA, 1978). En outre BERTHELEMY (1966) a bien souligné le décalage altitudinal qui caractérise la répartition de ces 2 espèces dans les réseaux des



وزارة التعليم العالي
 المعهد الوطني لتكنولوجيا
 البيولوجيا - تونس

FIGURE 23 - Schéma représentant:

- Les taxons les plus contributifs aux axes factoriels I,II (taxons regroupés par un trait plein) et III (taxons regroupés par un trait en pointillés): en italique.
- Les taxons ayant valeurs d'indicateurs de zones biocénétiques: en caractères droits soulignés.
- Les taxons très contributifs et indicateurs de zones biocénétiques: en italique, soulignés
- La projection des points-stations dans le plan I/II et la translation des points A9 et B2 selon l'axe III.

Pyrénées et d'Europe : dans les Pyrénées *L. volkmari* s'élève jusqu'à 1400 m tandis que *L. intermedius* est commune aux altitudes inférieures, ne dépassant pas 500 m.

- *Rhyacophila dorsalis* dont la distribution dans le réseau de l'Arc est limitée aux affluents, est présente sur tout le cours de l'Argens dans lequel l'espèce est classée parmi les espèces compagnes dans la communauté de l'épipotamal (GIUDICELLI et al, 1980). DECAMPS (1967, 1968) signale *R. dorsalis* comme la plus potamophile des *Rhyacophila* du bassin de la Garonne. Dans le Doubs, elle marque le passage entre le rhithron et le potamon (VERNEAUX, 1973). En fait, MORETTI et MEARELLY (1981), dans une étude sur l'autécologie de certaines *Rhyacophila* d'Italie, ont montré que *R. dorsalis* a un très large profil écologique.

- *Psychomyia pusilla*, élective des affluents naturels de l'Arc, marque également une préférence pour les secteurs moyen et inférieur d'autres réseaux méditerranéens : GIUDICELLI (1968) la signale dans l'hyporhithron et l'épipotamon du réseau du Tavignano (Corse), et dans le cours inférieur de l'Argens (GIUDICELLI et al, 1980). Dans le Doubs (VERNEAUX, 1973) et les réseaux des Pyrénées (DECAMPS, 1967) ce Trichoptère est également classé dans un biocénotype de transition entre le rhithron et le potamon.

Les affluents non perturbés hébergent ainsi un ensemble d'espèces dont certaines réalisent habituellement leur optimum écologique dans le cours inférieur des rivières. Elles ont été éliminées du potamal de l'Arc par les importantes perturbations qui s'y exercent mais elles subsistent dans les affluents qui constituent la limite de leur aire de distribution zonale.

Les autres espèces de ce groupement ont, par contre, pour biotope préférentiel la zone supérieure des réseaux :

- Les Trichoptères *Sericostoma galeatum* et *Agapetus cravensis* sont des espèces méridionales. En dehors de la communauté du métarhithral et de l'hyporhithral de l'Argens dont elle constitue la seule espèce exclusive, *A. cravensis* n'a été trouvée précédemment que dans des sources de Provence. Elle est présente dans 2 affluents du réseau de l'Arc : Cause et Grand Torrent. *Sericostoma galeatum* est une espèce assez eurytope mais préférente du métarhithral et de l'hyporhithral de l'Argens (GIUDICELLI et al, 1980) ; elle a été signalée également dans d'autres cours d'eau du Sud-Est de la France (Moyenne Durance, R. PREVOT, 1984) et dans le Nord de l'Italie (MORETTI et CIANFICCONI, 1977).

- *Silo nigricornis*, exclusive du Cause (B3) et du Grand Torrent (B8), peuple en France les sources, ruisseaux et rivières (GRENIER et al, 1969).

C'est une espèce préférente du crénal et des secteurs initiaux du rhithral dans

l'Argens (GIUDICELLI et al, 1980), classification qui s'accorde avec celle de VERNEAUX (1973) dans le Doubs (épirhithron).

- Seul, le peuplement du Grand Torrent héberge le Plécoptère *Perla marginata*. Cette espèce à large répartition européenne et maghrébine est inféodée au rhithral *sensu lato*.

Le peuplement benthique du groupe de stations [B2, B3, B5, B8], du fait de la signification zonale de la majorité des espèces qui le caractérise, se rattache globalement au biocénotype du rhithron. Il comprend également quelques espèces potamophiles (de l'épipotamon) pour lesquelles ces affluents peu perturbés constituent, à l'échelle du réseau de l'Arc, des habitats refuges.

Ce groupement d'espèces se rapporte aux seuls affluents naturels ; aucun groupement équivalent n'a pu être mis en évidence dans le cours axial de l'Arc. Il semble cependant qu'une telle association serait caractéristique du cours moyen de l'Arc en l'absence de toute perturbation.

Le peuplement benthique de ces affluents représente ainsi la "mémoire" du peuplement originel de l'Arc et constitue un réservoir d'espèces caractéristiques du rhithron, zone disparue dans le cours principal de l'Arc en raison d'une trop forte pression anthropique.

2) Les peuplements benthiques des stations du haut réseau (B1, A2, A3), situés à l'intersection des 2 quadrants inférieurs du plan I/II, sont composés de nombreuses espèces exclusives du secteur amont de l'Arc : *Potamonectes sp.*, *Scarodytes sp.*, *Asiobates sp.*, *Hydroporus sp.*, *Deronectes moestus*, *Protonemura intricata*, *Capnia bifrons*, *Pericoma fallax* et *Cloeon sp.* *Isoperla grammatica*, *Nemoura sp.* et *Habrophlebia fusca* réalisent leur optimum écologique dans ces 3 stations à régime temporaire ou à faible débit.

Les cours d'eau temporaires et sub-temporaires de Provence ont été bien étudiés par LEGIER (1979) et BOUZIDI (1983). Le groupe des Plécoptères est surtout représenté dans ces milieux par *Isoperla grammatica* (espèce univoltine) ainsi que par *Nemoura cinerea* et *Capnia bifrons*, espèces présentant des arrêts de développement pendant certaines périodes du cycle hydrologique du ruisseau. *Isoperla grammatica*, espèce eurytope dans toute l'Europe, a été récoltée dans les ruisseaux temporaires de Provence par BOURAIMA (1974) et BOUZIDI (1983). *Capnia bifrons* et *Nemoura cinerea* sont bien adaptées à l'habitat temporaire ; LEGIER (1979) les a récoltées dans des ruisseaux temporaires de Provence calcaire.

Les Ephéméroptères *Habrophlebia fusca* et *Cloeon sp.*, communes en Europe, sont particulièrement abondantes dans le peuplement des stations A₂, A₃ et B₁.

Les Coléoptères Hydrocanthares sont adaptés à la colonisation des milieux temporaires grâce à leur capacité de vol ; ils vivent dans les eaux stagnantes ou dans les eaux courantes calmes et claires, et migrent au moment de l'assèchement des biotopes aquatiques. Le peuplement du haut réseau de l'Arc renferme de nombreuses espèces de Coléoptères dont la présence coïncide avec la phase lénitique du cycle hydrologique. L'abondance des Plécoptères est, par contre, élevée au cours de la phase lotique.

Les peuplements benthiques des 3 stations du cours supérieur de l'Arc sont caractérisés par un groupement d'espèces lénitophiles et adaptées aux milieux temporaires. Ils colonisent ainsi des biotopes très particuliers, limités dans le réseau de l'Arc aux premiers kilomètres du cours principal et à un affluent de faible débit, ce qui explique leur position isolée à l'extrémité négative de l'axe II de l'A.F.C.

3) Quelques taxons saprobiontes, très abondants, contribuent à la formation du noyau de stations perturbées (A₄ à A₇, B₆, B₇) situées dans le quadrant supérieur gauche de la figure 23.

Les Diptères *Chironomidae* (*Chironomini*, *Tanytarsini* et *Orthocla-diinae*) bien connus pour leur polluo-résistance et les Oligochètes, dont les fortes densités sont indicatrices de pollution organique (GIANI, 1984), dominent dans les peuplements de la Pioline, de St-Pons, de la Luynes et de la Jouine.

Les Mollusques *Physa acuta* et *Bithynia sp.* colonisent surtout les macrophytes très développés à Rousset (A₄) et Bachasson (A₅).

Les Coléoptères *Elmidae* sont bien diversifiés dans le réseau de l'Arc : 12 espèces sont recensées, comme dans l'Argens (GIUDICELLI et al, 1980). Cependant leurs représentants sont rares dans les peuplements de ce noyau de stations perturbées, et même complètement absents à Rousset (A₄), à la Pioline (A₆) et dans la Jouine (B₇). Leur répartition longitudinale dans les Pyrénées (BERTHELEMY, 1966) ainsi que dans l'Argens est caractérisée par l'augmentation du nombre de genres et d'espèces d'amont en aval. Dans la majeure partie du cours principal de l'Arc, l'absence d'*Elmidae* résulte d'une forte pollution organique. Celle-ci, par contre, est favorable à la prolifération des espèces saprobiontes

caractéristiques du noyau de stations perturbées isolées sur la partie négative de l'axe I de l'A.F.C.

Les stations Ag (Berre) et B2 (Bayeux) occupent dans le plan I/III de l'analyse une position particulière, éloignée des noyaux des stations affines auxquelles elles appartiennent dans le plan I/II. Les espèces qui déterminent cette translation ont des contributions élevées sur l'axe III.

- *Hydropsyche dissimulata*, *Platynemesis latipes*, *Coenagrion coerulescens* et *Wilhelmia equina* sont exclusives de la station de Berre. *Hydropsyche pellucidula* et *Hydroptila vectis* y sont très abondantes.

H. pellucidula, véritablement eurytope dans l'Argens, présente dans l'Arc son optimum écologique dans le potamon.

W. equina, caractéristique du métarhithron et de l'hyporhithron (VERNEAUX, 1973), est exclusive ainsi que *H. dissimulata*, du potamon de l'Arc. *H. vectis* est classée par cet auteur dans l'épipotamon. Hormis quelques individus récoltés dans la Cause, cette espèce n'est abondante qu'à Berre. *Platynemesis latipes* est une espèce de fleuves et rivières à courant lent. Enfin on constate la présence à Berre d'*Elmidae* (essentiellement *Esolus* sp. et *Riolus* sp.) indicateurs d'une forte diminution de la charge organique des eaux de l'Arc.

Ce groupement d'espèces distingue ainsi très nettement la station de Berre des autres stations du cours axial de l'Arc. Il caractérise un peuplement mieux diversifié, inféodé au potamon méditerranéen, et témoignant d'un début d'auto-épuration perceptible par les communautés d'Invertébrés benthiques.

- *Simulium gaudi*, caractéristique des zones de collines et des ruisseaux pétri-fiants à formation encroûtante (DORIER, 1963), est signalée (GIUDICELLI, com.verb.) dans quelques rares cours d'eau de la région: le Loup (Alpes-Maritimes), la Siagnole, le Caramy et l'Argens (Var). Les eaux calcaires et le substrat encroûté du Bayeux constituent son biotope préférentiel dans le réseau de l'Arc. *Riolus subviolaceus*, dont l'abondance dans cette station est également liée à la nature encroûtante du substrat (BERTHELEMY, 1966), est une espèce eurytope mais souvent élective du cours supérieur des réseaux. Ainsi dans l'Argens, GIUDICELLI et al (1980) la signalent dans les 5 stations amont du réseau.

Riolus subviolaceus et *Baetis sinicus*, dont les contributions sur l'axe III de l'A.F.C. sont élevées, constituent avec *S. gaudi* un groupement d'espèces associé à la seule station du Bayeux.

Aucun groupement d'espèces caractéristiques du milieu représenté par la Basse Torse (B₄) n'a pu être mis en évidence par l'examen de la projection des points-taxons dans les plans factoriels I/II et I/III de l'analyse. Les coordonnées de cette station, ainsi que ses contributions, sont faibles sur les 3 axes considérés. Elles se superposent, sur la carte factorielle des taxons, à des espèces euryèces dont la contribution aux axes est faible ou nulle. Le peuplement benthique de cette station de degré de pollution intermédiaire entre milieux naturels et milieux très perturbés est donc banale et ne renferme ni espèces exclusives, ni espèces dominantes.

La détermination de groupements de stations auxquels sont associées des espèces caractéristiques exclusives ou abondantes permet d'établir un schéma très proche de la hiérarchie à 7 niveaux décrite d'après l'hydrochimie du réseau de l'Arc (tab. VI et fig. 23').

La comparaison des projections des points-stations obtenues par 2 analyses (A.C.P. sur matrice de données physico-chimiques et A.F.C. sur matrice de données faunistiques) aboutit ainsi à une répartition des 15 stations étudiées en 3 groupes au sein desquels les communautés benthiques sont étroitement liées à une même qualité de leur environnement aquatique.

Le groupe I englobe les 4 affluents naturels : Cause, Haute Torse, Grand Torrent et Bayeux. Le groupe II représente les milieux légèrement perturbés ou à régime hydrologique instable. Enfin le groupe III réunit les stations du cours moyen et inférieur de l'Arc ainsi que 2 affluents soumis à une pollution critique : Luynes et Jouine.

L'A.F.C. menée sur la matrice globale des données faunistiques apporte des informations complémentaires à l'A.C.P. réalisée sur les descripteurs physico-chimiques :

- L'A.F.C. sépare la station B₂ (Bayeux) du lot d'affluents naturels réunis dans le type hydrochimique "1" : son peuplement renferme des espèces témoins de la particularité de ce biotope que la seule analyse des composantes physico-chimiques n'avait pas suffi à mettre en évidence.
- De nombreux secteurs de l'Arc (A₄ à A₉) et 2 affluents (B₆ et B₇) sont regroupés dans le même lot de stations (groupe III). La répartition des Invertébrés benthiques ne permet d'isoler que la station A₉ (Berre) là où l'hydrochimie distingue 4 sous-groupes de stations (types hydrochimiques "4" à "7"). On constate

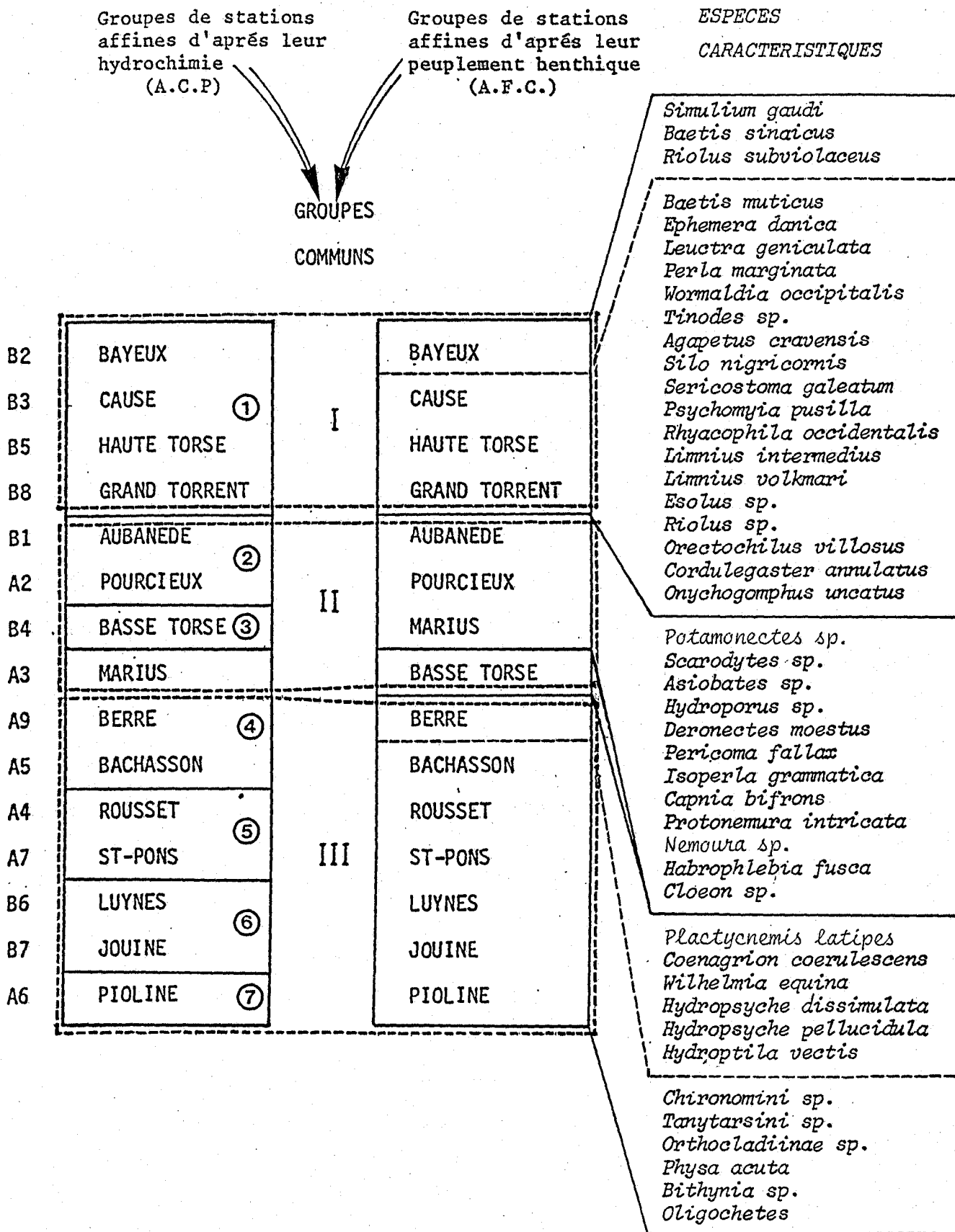


TABLEAU VI - Comparaison des groupements de stations affines d'après leur hydrochimie (A.C.P.) et leur peuplement benthique (A.F.C.). Pour chaque groupement commun sont indiquées les principales espèces caractéristiques mises en évidence dans la figure 23.

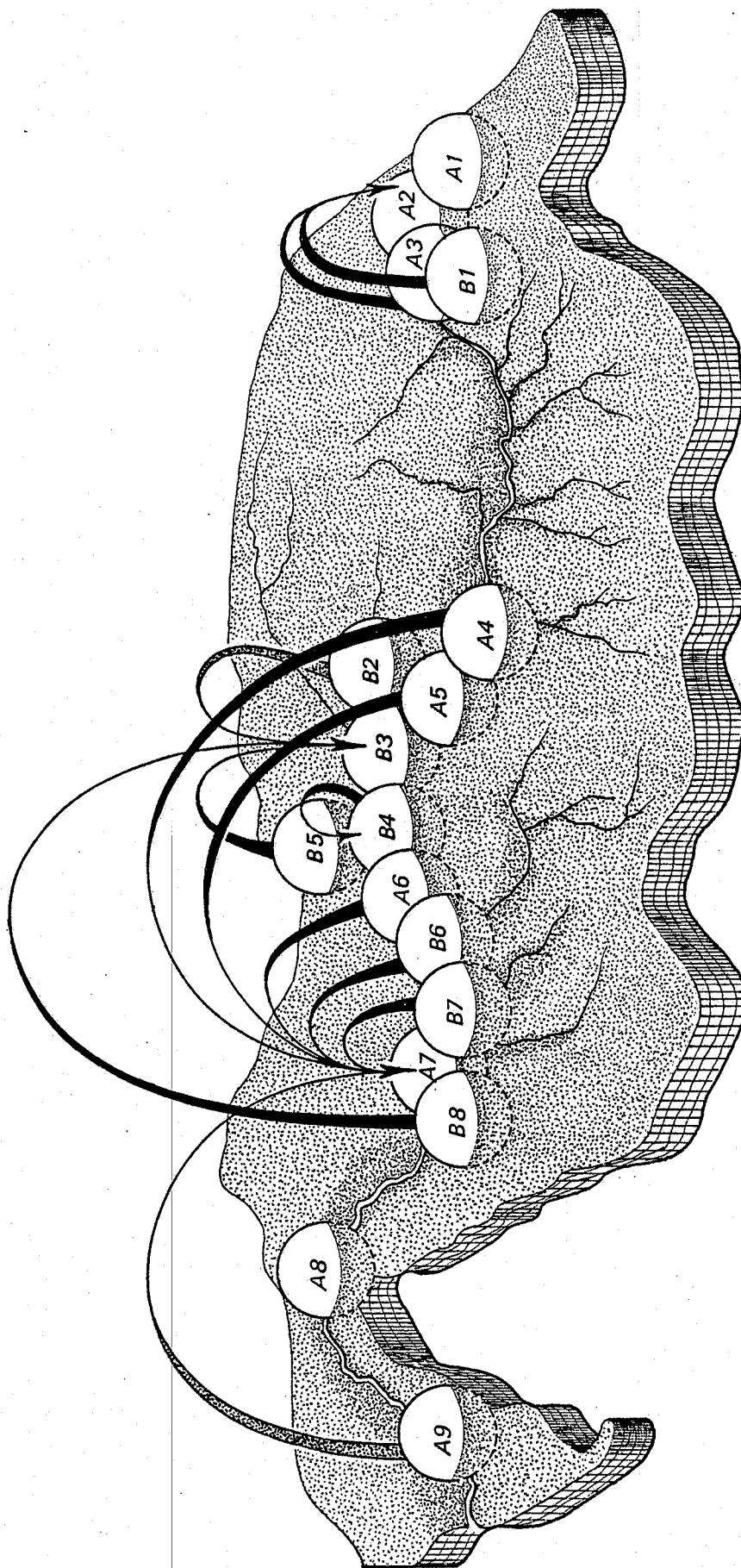


FIGURE 23' - Groupements de stations affines d'après leur peuplement benthique (A.F.C.). Les flèches unissent les stations d'un même groupement à la station la plus représentative. Les stations sont représentées par une sphère ; cours axial : A1 à A9, affluents : B1 à B8. (Les stations A1 et A8 ne sont pas prises en compte dans l'étude faunistique).

ainsi que les méthodes d'analyses chimiques, très précises, décèlent divers degrés et origines d'impacts auxquels la faune aquatique n'offre qu'une même réponse. Aucune espèce exclusive n'a pu être mise en évidence dans ces secteurs marqués surtout par la très nette dominance de quelques taxons saprobiontes.

I.2. - DONNEES BIOECENOTIQUES COMPLEMENTAIRES

Les valeurs de quelques paramètres biotiques usuels (tab. VII) apportent des précisions relatives à certaines particularités faunistiques stationnelles et complètent la synthèse globale du peuplement des Invertébrés benthiques.

Les stations du groupe III, exceptée Berre (A4, A5, A6, A7, B6, B7) possèdent une faune très pauvre : 14 taxons seulement sont inventoriés dans la Luynes. A l'opposé l'affluent B₂ (Bayeux), appartenant au groupe I, présente la richesse spécifique la plus élevée (78 espèces). La structure de son peuplement est très équilibrée (Diversité : 4,17 bits ; Equitabilité : 0,66 %). Ces 2 paramètres synthétiques traduisent aussi le bon équilibre des peuplements des autres stations de ce groupe I (B3, B5, B8).

Le Cause (B3) accueille 12 espèces de Trichoptères, groupe bien diversifié également dans le Bayeux, la Haute Torse (11 espèces) et le Grand Torrent (10 espèces).

Les Crustacés *Gammarus pulex* et *G. fossarum* dominent dans les peuplements de la Haute Torse (B₅ : 60,7 % de l'ensemble des Invertébrés) et du Grand Torrent (B₈ : 50,2 %). Ces 2 stations possèdent aussi les populations de Coléoptères les plus importantes du réseau de l'Arc ; l'abondance relative de ce groupe est de 15,1 % en B₅ et 15,8 % en B₈.

Les populations d'Ephéméroptères et de Plécoptères prolifèrent dans les 3 stations du haut réseau de l'Arc : A₂ (Pourcieux), A₃ (Marius) et B₁ (Aubanède). En particulier *Habrophlebia fusca* qui représente 55,3 %, 42,4 % et 24,7 % des communautés benthiques respectives de ces 3 sites, et 85,8 %, 86,3 % et 67,7 % du seul groupe des Ephéméroptères. *Nemoura sp.* constitue à elle seule 49,9 %, 94 % et 46,2 % des Plécoptères de ces mêmes stations.

Les stations polluées du groupe III sont caractérisées par l'abondance des Oligochètes et de nombreux taxons de Diptères, par la rareté des Ephéméroptères et l'absence de Plécoptères. Les peuplements de la Luynes (B₆) et de

A2	A3	A4	A5	A6	A7	A9	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	Total
46	66	28	34	23	48	73	78	68	48	50	14	33	66	151	
835	3826	13065	5666	20186	5561	6185	3265	2144	5727	4040	4919	14656	9230	5177	

Richesse spécifique	3	6	2	2	1	1	4	6	9	2	5	0	1	5
Densité (ind/m ²)	64,4	49,1	0,09	1,1	0,007	0,57	9	36,6	15,9	4,1	0,9	7,4	0	0,12
EPHEMEROPTERES	5	3	1	0	0	0	0	3	4	2	1	0	0	4
Richesse spécifique	13,3	2,6	0,006	0	0	0	0	4,9	0,8	1,3	0,01	0	0	2,1
Abondance relative (%)	6	15	0	2	1	3	3	17	15	9	2	7	1	10
PLECOPTERES	1,2	0,7	0	0,01	0,001	0,03	0,3	2,5	4,8	4,3	0,08	15,1	0,002	0,01
Richesse spécifique	3	6	0	1	0	0	6	9	11	4	11	0	2	10
Abondance relative (%)	0,8	0,4	0	0,03	0	0	3,4	0,6	9,7	4,2	0,09	1,8	0	0,01
COLEOPTERES	19	20	10	14	10	9	16	22	20	22	23	18	6	15
Richesse spécifique	13,4	19,4	69,9	62,4	57,8	53,6	49,6	38,8	31,9	61,5	39,3	11,7	23,6	79,4
Abondance relative (%)	1	7	0	3	1	0	6	2	7	6	3	2	1	3
TRICHOPTERES	0,1	0,2	0	0,06	0,006	0	0,3	0,03	3,0	2,4	0,4	2,5	0,03	0,02
Richesse spécifique	0	0	1	0	0	0	2	3	2	0	2	2	1	0
Abondance relative (%)	0	0	0,004	0	0	0	0,2	0,07	0,1	0	0,02	0,1	0,008	0
DIPTERES	6	4	6	6	5	2	4	6	6	6	5	3	0	5
Richesse spécifique	1,6	1,3	1,6	4,5	0,2	1,6	2,7	6,9	7,8	7,8	16,8	0,2	0	1,3
Abondance relative (%)	2	2	1	1	2	2	2	2	1	2	2	1	2	2
ODONATES	0,01	17,6	0,1	0,4	0,2	8	0,5	8,9	22,3	8,1	38	60,7	0,16	0,5
Richesse spécifique	5,1	8,6	26,8	30,5	41,5	29,5	33,2	0,4	3,5	3,9	4,2	0,5	76	3,7
Abondance relative (%)	0	2	5	4	4	5	4	2	2	2	3	0	2	3
HETEROPTERES	0	0	1	0	0	0	2	3	2	0	2	2	1	0
Richesse spécifique	0	0	0	0	0	0	0,2	0,07	0,1	0	0,02	0,1	0,008	0
Abondance relative (%)	6	4	6	6	5	2	4	6	6	6	5	3	0	5
MOLLUSQUES	1,6	1,3	1,6	4,5	0,2	1,6	2,7	6,9	7,8	7,8	16,8	0,2	0	1,3
Richesse spécifique	2	2	1	1	2	2	2	2	1	2	2	1	2	2
Abondance relative (%)	0,01	17,6	0,1	0,4	0,2	8	0,5	8,9	22,3	8,1	38	60,7	0,16	0,5
CRUSTACES	5,1	8,6	26,8	30,5	41,5	29,5	33,2	0,4	3,5	3,9	4,2	0,5	76	3,7
Richesse spécifique	0	2	5	4	4	5	4	2	2	2	3	0	2	3
Abondance relative (%)	0	0,1	1,5	1,0	0,3	6,7	0,8	0,3	0,2	2,4	0,2	0	0,2	14,9
OLIGOCHETES	2,61	2,96	1,74	2,14	1,56	2,74	2,68	3,28	4,17	3,29	2,27	2,41	1,01	2,48
Autres vers	0,47	0,49	0,36	0,42	0,34	0,61	0,48	0,53	0,66	0,54	0,41	0,43	0,26	0,49
Richesse spécifique														
Abondance relative (%)														
Ish (bits)														
Equitabilité (%)														

TABLEAU VII - Valeurs des paramètres biotiques stationnels.

la Jouine (B7), en particulier, sont nettement dominés par la prolifération des Oligochètes pour le premier (76 %) et des Diptères pour le second (79,4 % répartis en 15 taxons).

L'abondance relative des Oligochètes dans les peuplements benthiques constitue un critère simple de qualité des eaux établi par GOODNIGHT et WHITLEY (1960) sur la base de 3 classes : moins de 60 % d'Oligochètes : bonne qualité, 60 à 80 % : qualité douteuse, plus de 80 % : forte pollution. Cette classification a été notamment vérifiée par GIANI (1984) dans le Riou - Mort. Les prélèvements d'Invertébrés réalisés dans cet affluent pollué du Lot sont pour les 3/5ème réalisés dans des dépôts en faciès lénitique : les Oligochètes constituent 77,5 % du peuplement total d'Invertébrés du Riou Mort. Le pourcentage calculé pour le réseau de l'Arc est de 29,1 %. Cette faible valeur s'explique sans doute par la différence des protocoles d'échantillonnage (aucune méthode de prélèvement spécifique aux Oligochètes n'a été mise en oeuvre dans l'Arc). Même dans les secteurs les plus pollués de l'Arc - l'ensemble des stations du groupe III à l'exception de la Jouine (B7) - la représentativité des Oligochètes reste "faible" : 25 à 76 %. La Jouine, ainsi que les sites peu ou pas perturbés (A2, A3, B₁ à B5, B8), héberge des populations d'Oligochètes qui n'excèdent pas 10 % du peuplement total.

I.3. - CONCLUSION

La démarche suivie pour l'analyse des peuplements benthiques du réseau de l'Arc comporte une phase essentielle : l'utilisation de l'A.F.C., dont les résultats ont permis de répondre aux objectifs fixés en début d'étude. Les valeurs des paramètres analytiques et synthétiques des peuplements (richesse spécifique, densité, diversité, abondance relative des principaux groupes) sont certes intéressantes par les précisions complémentaires qu'elles apportent au niveau stationnel. Cependant elles ne sont pas indispensables à la réalisation de la synthèse des données faunistiques du réseau hydrographique de l'Arc. Il faut préciser que l'hétérogénéité de cet hydrosystème et le nombre important de sites d'étude choisis favorisent la construction d'axes factoriels à pouvoir explicatif élevé.

Les points-stations projetés dans les plans factoriels de l'analyse multivariée se disposent les uns par rapport aux autres selon les ressemblances ou dissemblances de leurs peuplements d'Invertébrés.

La comparaison des résultats de cette A.F.C. avec ceux de l'A.C.P.

réalisée sur les valeurs des descripteurs physico-chimiques montre l'intérêt de chacun de ces traitements statistiques pour l'obtention rapide du diagnostic écologique d'un hydrosystème.

Les éléments faunistiques les plus contributifs sont mis en évidence sur les cartes factorielles I/II et I/III des points-taxons. Ils peuvent être associés à l'un des 3 groupes de stations déterminés par la synthèse de l'A.C.P. "hydrochimie" et de l'A.F.C. "Invertébrés benthiques" (tab. VI). Ils constituent ainsi les bases de peuplements-références caractéristiques des types hydrochimiques hiérarchisés au moyen d'une A.C.P.

II - COMMUNAUTÉS DES INVERTEBRÉS RIPICOLES AQUATIQUES

A la limite du milieu aquatique et du domaine terrestre les rives d'un cours d'eau constituent un écotone d'une grande complexité en raison de la variété des facteurs topographiques, physico-chimiques et des influences biologiques auxquels il est soumis.

Du fait de la variabilité et l'instabilité de ce milieu ainsi que des difficultés de détermination spécifique des individus (de nombreuses espèces ne vivent dans ce micromilieu qu'à l'état larvaire) peu d'études ont été réalisées jusqu'à présent.

Dans les travaux antérieurs on a qualifié de ripicoles des peuplements rivulaires mais qui cependant correspondent à des habitats différents :

- PENNAK (1951), ANGELIER (1953), GILBERT et al (1981) et DOLE (1983) se sont intéressés à la faune interstitielle et phréatique.
- BIGOT (1977, 1983), FAVET (1981), GAUTIER (1982) et BOUMEZZOUGH et MUSSO (1983) prennent en compte les Invertébrés ripicoles épigés, ce peuplement étant essentiellement représenté par des arthropodes terrestres hygrophiles: "la zoocénose ripicole est constituée par l'ensemble des espèces animales vivant exclusivement au contact de la frange capillaire, là où le sol se maintient toujours fortement humidifié" (FAVET, 1981).

Nous considérons comme ripicole le peuplement rivulaire aquatique formé à la fois par des individus vivant dans la partie supérieure du domaine aquatique et par ceux enfouis dans le sable ou la vase humide des rives émergées.

Ce peuplement a été analysé par quelques auteurs : VAILLANT (1954) l'intègre dans la faune madicole (organismes vivant sous un film d'eau de 2 mm d'épaisseur), BIGGS et MALTHUS (1982) et BOURNAUD et al (1986) ne considèrent que la zone supérieure de la rive immergée. Certains habitats prospectés par SALMAN (1979), BOUMEZZOUGH (1984), MADARIAGA (1984), FLUELER-CHETELAT (1986) correspondent aux nôtres et sont constitués par des substrats émergés mais saturés d'eau par le contact direct avec le milieu aquatique. Les travaux de GACHET (1971-1982) sont

également nombreux dans ce domaine mais limités aux rives de mares et d'étangs.

Jusqu'à présent cette communauté n'avait pas été intégrée dans l'étude du peuplement d'un réseau hydrographique.

Nous avons entrepris* ce travail dans le bassin de l'Arc dans le but de rechercher les particularités des communautés ripicoles, d'étudier leur diversité spatiale à l'échelle d'un réseau hydrographique, d'établir une comparaison avec les communautés aquatiques épibenthiques, enfin de dégager parmi les organismes ripicoles des bio-indicateurs susceptibles de compléter les informations habituellement fournies par la faune benthique.

Les modalités de prélèvement de ces Invertébrés, le nombre de relevés et leur périodicité ainsi que la méthode d'extraction de la faune sont exposés en annexe I. Sont également recensées dans cette annexe la diversité et la fréquence des microhabitats échantillonnés dans chaque station.

II.1. - ANALYSE ET COMPARAISONS STATIONNELLES DES COMMUNAUTES RIPICOLES AQUATIQUES

II.1.1. - Richesse spécifique

Les 162 relevés fournissent une liste de 158 entités systématiques (annexe IV) avec une abondance spécifique qui varie de 46 taxons pour le ruisseau du Grand Vallat (B7) à 76 pour l'Aubanède (B1). Contrairement à ce que laisserait croire une approche globale, certains affluents ne sont pas plus riches que le cours d'eau principal (contrairement à la région grenobloise : VAILLANT, 1954). Les différences ne sont pas toujours aussi marquées entre l'Arc et ses tributaires. Ainsi Rousset (A4) et Berre (A9), stations du cours axial sont, avec 51 espèces chacune, très proches de l'un des affluents principaux, le Grand Torrent (B8), qui héberge 56 taxons. La richesse maximale s'observe néanmoins dans les affluents (tableau ci-après).

* La détermination des éléments de cette faune a été réalisée par J.J. MUSSO et G. PREVOT, maîtres de conférences au laboratoire de Biologie Animale - Ecologie. Faculté des Sciences et Techniques de St-Jérôme - Université d'Aix-Marseille III.

A R C				AFFLUENTS				
A ₂	A ₃	A ₄	A ₉	B ₁	B ₂	B ₃	B ₇	B ₈
47	65	51	51	76	59	74	46	56

II.1.2. - Structure du peuplement

Trois groupes principaux réunissent plus de 93 % des individus du peuplement ripicole aquatique. Il s'agit des Diptères (56,5 %), des Vers (24,5 %) et des Coléoptères (12,6 %). Tous les autres groupes sont faiblement représentés : Mollusques (2,3 %), Crustacés (2,1 %), Trichoptères (0,3 %), Ephéméroptères (0,12 %), Odonates (0,1 %), Plannipennes et Plécoptères (0,02 %), Hétéroptères (0,01 %).

- Parmi les Coléoptères dominant les *Elmidae* (48,7 % de l'effectif du groupe), les *Helodidae* (23,3 %) et les *Dryopidae* (9,4 %) ; les *Hydraenidae* (5,8 %), les *Ochthebiidae* (4 %), les *Hydrophilidae*, les *Dytiscidae* et quelques individus appartenant à d'autres familles complètent les représentants de cet ordre.

- les Vers sont essentiellement constitués par les Oligochètes avec dominance des *Lumbricidae* (62 %) et plus particulièrement d'une espèce : *Eiseniella tetraedra* avec plus de 50 % d'abondance relative.

- Parmi les Diptères, 19 familles sont représentées mais souvent avec très peu d'individus ; nous ne citerons que les principales : *Psychodidae* (30,8 %), *Tipulidae* (27,5 %), *Chironomidae* (9,6 %), *Stratiomyidae* (7,6 %), *Limoniidae* (4,8 %) et *Dolichopodidae* (4,6 %).

L'examen de la figure 24 montre ce qui a été énoncé précédemment à savoir la dominance des Diptères, des Vers et des Coléoptères, dont les pourcentages sont variables suivant la physiographie du substrat et les descripteurs physico-chimiques du cours d'eau. On note ainsi des différences très importantes, malgré un nombre équivalent d'espèces, entre Rousset ou Berre et le Grand Torrent.

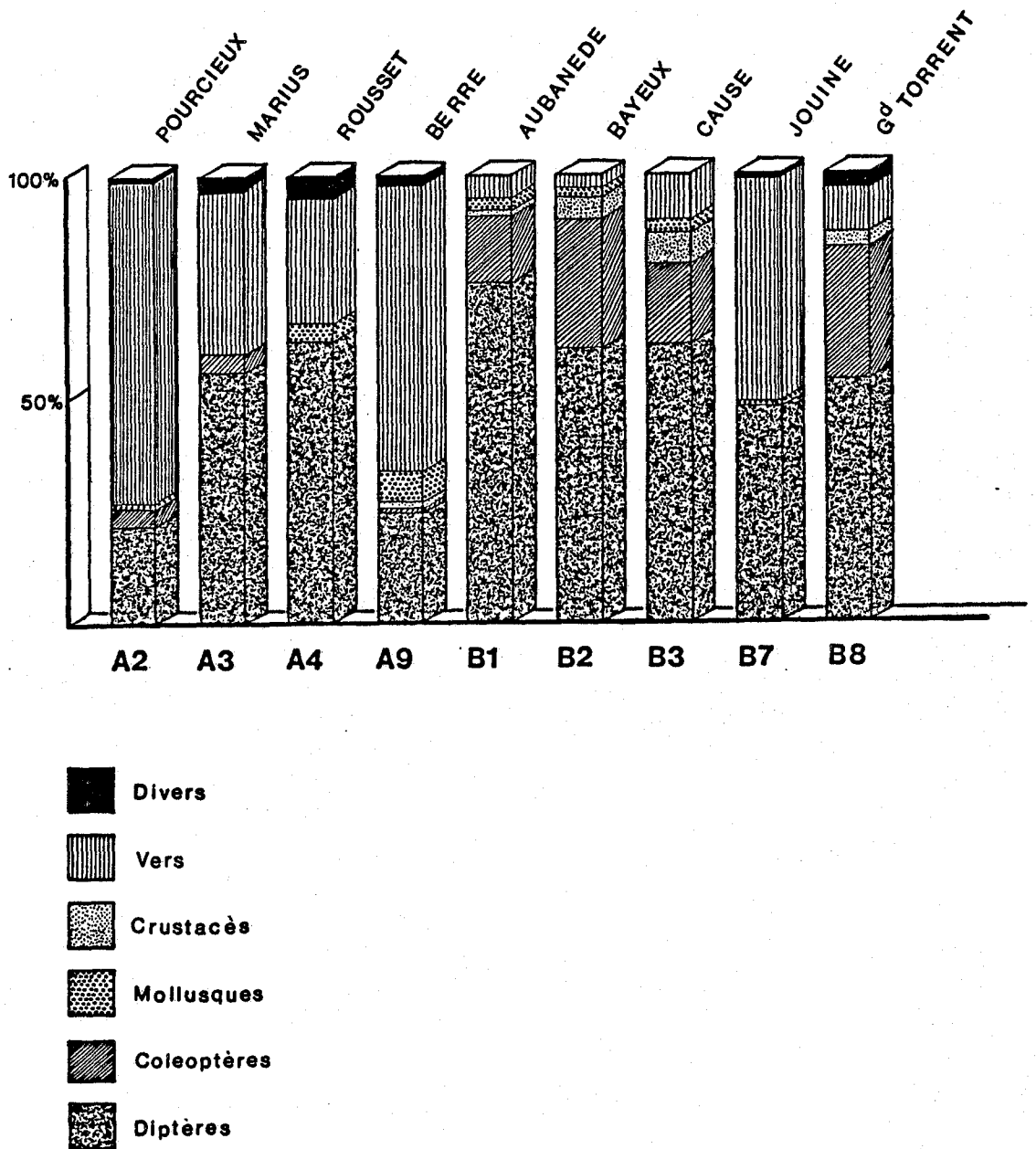


FIGURE 24 - Abondance relative des principaux groupes d'Invertébrés ripicoles aquatiques dans le réseau hydrographique de l'Arc.

Les indices de Shannon et d'équitabilité, habituellement utilisés pour caractériser la diversité spécifique d'un milieu, ne fournissent que peu d'informations sur la faune étudiée. La raison en est simple et a comme principale origine la présence en grand nombre de Diptères (56 %), tous récoltés au stade larvaire et qui demeurent le plus souvent indéterminables spécifiquement (en particulier les larves néonates, mais également les larves à des stades ultérieurs II ou III ; ainsi chez les *Psychodidae* les larves ne sont identifiables qu'au stade IV). Seuls des élevages permettraient, par l'obtention de l'imago, de parvenir à une détermination précise. Ces remarques ne sont pas réservées aux Diptères seuls, il en est de même pour certaines larves de Coléoptères et pour les stades immatures des Oligochètes.

II.2. - SYNTHÈSE DES DONNÉES

La recherche d'affinités entre les communautés stationnelles d'Invertébrés ripicoles du bassin de l'Arc et l'étude de l'influence des facteurs écologiques, topographiques ou anthropiques sur ces biocénoses nous ont amené à traiter globalement ces données par une analyse multivariée de type A.F.C.

La matrice de données utilisée pour cette A.F.C. comporte 106 lignes ou taxons (les taxons qui ne sont pas représentés par plus d'un individu par station ne sont pas pris en compte) et 9 colonnes ou stations (chaque colonne correspond à la somme des effectifs des 6 campagnes réalisées dans la station). Les effectifs bruts sont traduits en classes dont les limites suivent une progression logarithmique de base 0,4.

Les 3 premiers axes factoriels réunissent 57,6 % de l'inertie totale.

II.2.1. Axe factoriel I (fig. 25)

L'axe I, avec 29 % d'inertie, oppose le point-station Ag sur son extrémité positive, aux 4 points-stations B1, B2, B3 et B8 sur l'extrémité négative.

- La station Ag (Berre) située à proximité de l'embouchure de l'Arc, est caractérisée par l'importance des substrats alluviaux (66 % des prélèvements sont à dominance limoneuse. cf. tableau en annexe I); son peuplement renferme en grande abondance des Oligochètes (65 %) et se singularise par l'existence de 5 espèces

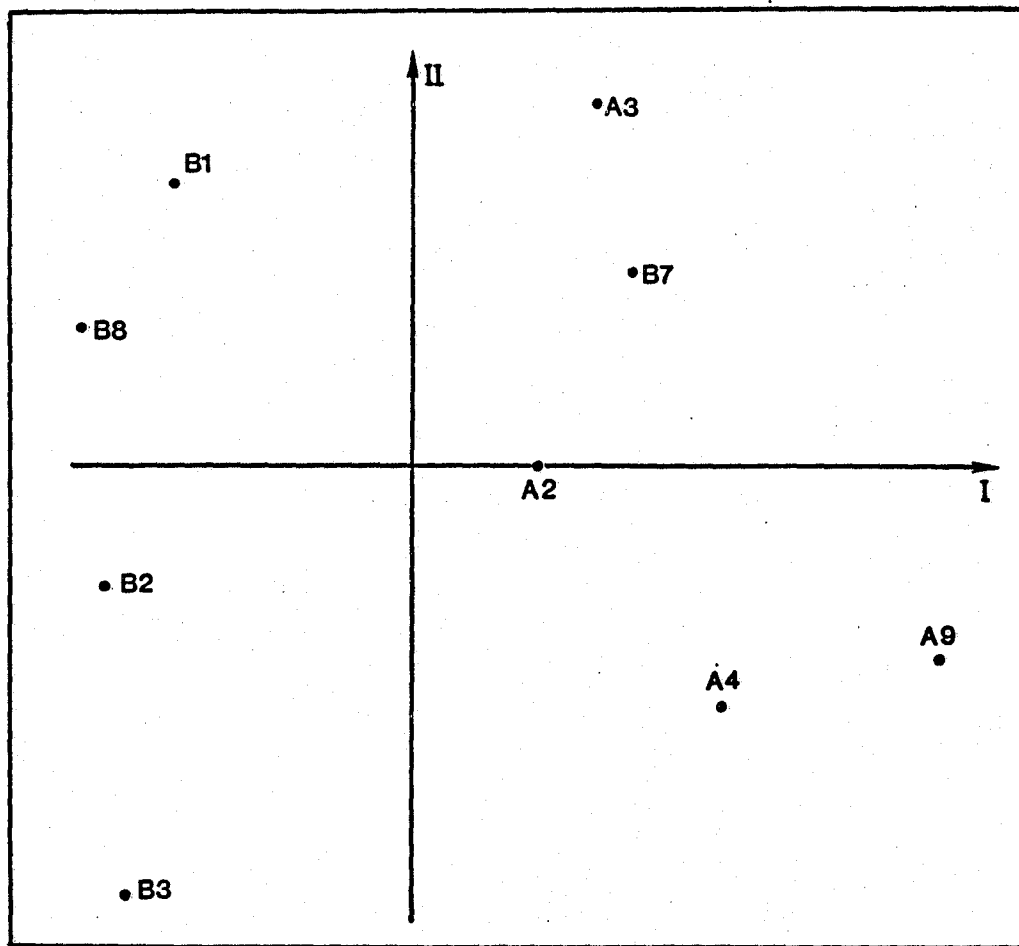


FIGURE 25 - Carte factorielle I/II des points-stations de l'A.F.C. relative aux Invertébrés ripicoles aquatiques.

d'Ephydrides.

- Les stations B₁ (Aubanède), B₂ (Bayeux), B₃ (Cause) et B₈ (Grand Torrent), qui correspondent à des affluents peu perturbés, présentent des microhabitats rivulaires très diversifiés (dominance d'argiles en B₂, de débris végétaux en B₃, de Bryophytes en B₁ et B₈) ; leurs peuplements sont caractérisés par de nombreuses espèces de Coléoptères *Elmidae*, *Dryopidae*, *Helodidae*, *Hydraenidae* et de Diptères *Empididae*, *Limonidae*, *Psychodidae* et *Stratiomyidae*.

- Les coordonnées des 4 points-stations du cours de l'Arc (A₂, A₃, A₄, A₉) se disposent de l'origine de l'axe I vers son pôle positif selon leur succession naturelle amont-aval.

L'axe I oppose ainsi les stations exemptes de perturbations majeures, représentées par les affluents "naturels" B₁, B₂, B₃ et B₈, à Berre (A₉), la plus contaminée des 4 stations du cours axial traitées dans cette analyse. Ces 5 points à forte contribution ont un rôle déterminant pour l'axe envisagé, et les complexes stationnels qu'ils représentent ont une signification écologique qui permet l'interprétation de cet axe. En effet, l'axe I correspond à un gradient d'enrichissement du milieu confirmé par les coordonnées des points stations du cours axial. La situation de l'affluent B₇ (Jouine) sur la partie positive de l'axe I permet d'affiner cette interprétation : les nuisances dont ce ruisseau fait l'objet, se traduisent par une eutrophication du milieu. Le gradient que représente l'axe I a donc une double origine, naturelle (eutrophisation amont-aval) et exogène (eutrophication).

La biocénose ripicole aquatique, par ses rapports étroits avec les caractéristiques physiques et chimiques des microhabitats, traduit donc, de même que la faune des macroinvertébrés d'eau douce et bien que vivant dans des conditions très différentes, la qualité des eaux imprégnant leur milieu.

II.2.2. Axe factoriel II (fig. 25)

Cet axe (15,3 % d'inertie) oppose les points B₁ (Aubanède) et B₃ (Cause), stations dont les faunes ont le moins d'affinités entre elles. Les stations B₂ (Bayeux), A₄ (Rousset) et A₉ (Berre) présentent des analogies avec la station B₃ tandis que Marius (A₃) est proche de B₁.

Dans ces 2 dernières stations, situées dans la partie amont du

réseau hydrographique de l'Arc, le débit est soumis à d'importantes fluctuations sans atteindre toutefois une situation extrême d'assez, fréquente à la station de Pourcieux (A₂). Les espèces ayant les plus fortes contributions relatives au pôle positif de l'axe II appartiennent aux groupes des Coléoptères et des Diptères.

Le régime hydrologique des stations A₄, A₉ et B₃ est caractérisé par une plus grande stabilité, soit en raison de la situation de ces stations dans la moyenne et la basse vallée de l'Arc (A₄ et A₉), soit parce que leur débit est régulé par des barrages artificiels (B₃). Les plus fortes contributions relatives pour la partie négative de l'axe II sont apportées par des Diptères.

L'absence de données suivies sur le régime hydrologique de la rivière dans ces différentes stations ne permet pas une analyse plus approfondie des indications apportées par l'axe II. Celui-ci semble cependant opposer deux types de faunes : l'une, inféodée à un biotope hydrologiquement stable, est composée de larves de Diptères enfouies dans un substrat meuble et peu aptes à se déplacer, phénomène observé également dans d'autres régions (FLUELER-CHETELAT 1986) , l'autre est caractérisée par des espèces épigées (Coléoptères surtout) qui se déplacent plus rapidement et dont la présence est liée au développement de mousses (10 % de prélèvements à dominance de Bryophytes en A₃, 24 % en B₁).

II.2.3. Axe factoriel III (fig. 26')

L'axe III (13,3 % d'inertie) isole de façon remarquable le point station B₈ (Grand Torrent), dont les coordonnées sont fortement négatives, des autres points-stations qui gravitent autour de l'origine de l'axe III.

Cette station B₈ se singularise par l'homogénéité de son substrat constitué de Bryophytes se développant sur des sédiments détritiques encroûtés, d'où la présence d'une faune caractéristique de ce type d'habitat ; les plus fortes contributions relatives au pôle négatif de l'axe III sont en effet apportées par les Coléoptères *Elmidae* dont le biotope caractéristique est constitué de pierres et de mousses.

Le point-station B₃ (Cause), appartenant à un lot de stations opposé à B₈, se caractérise par une grande abondance de feuilles mortes et de débris de bois sur un substrat généralement vaseux, d'où la présence simultanée

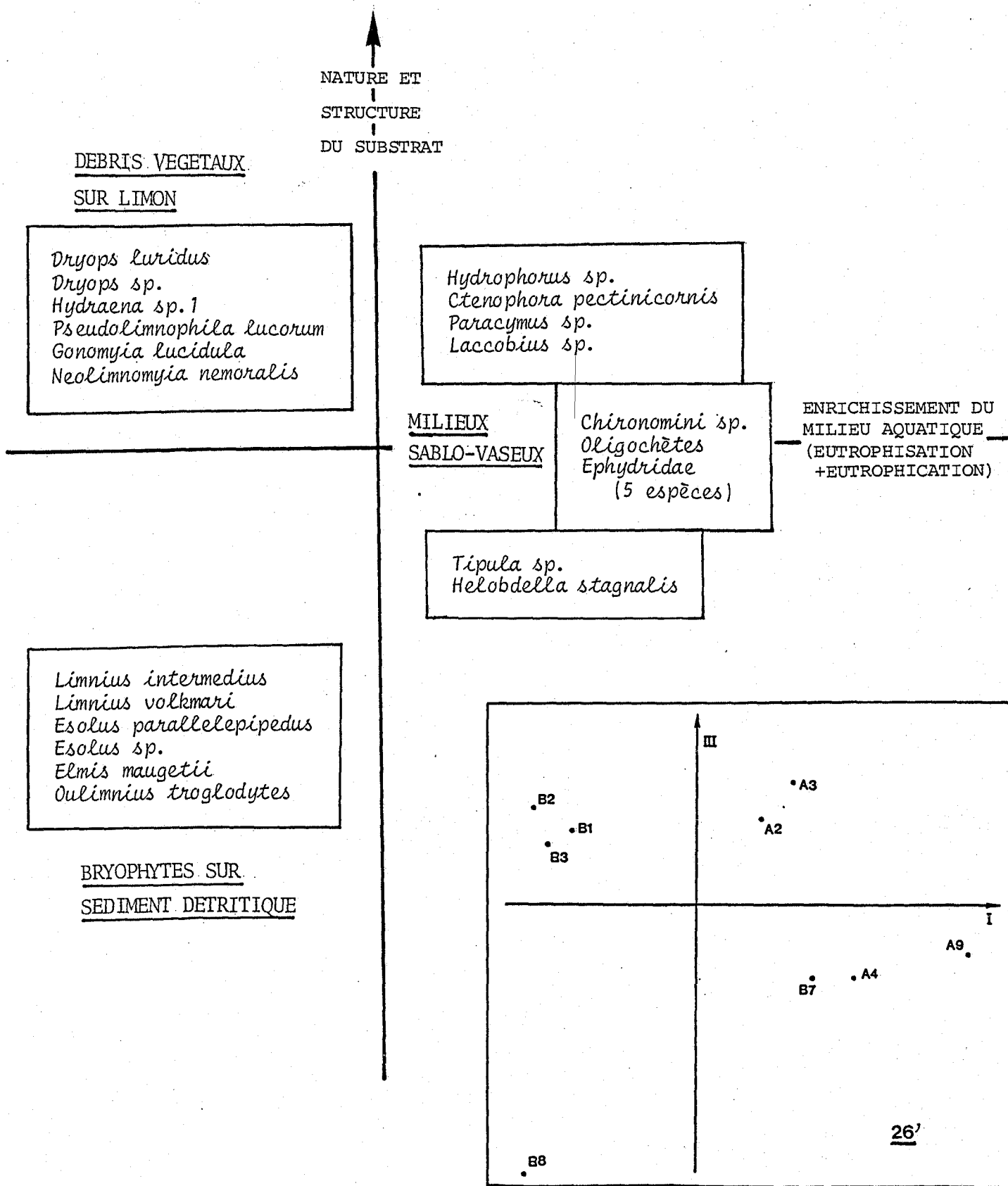


FIGURE 26 - Représentation de la répartition des taxons d'Invertébrés ripicoles aquatiques les plus contributifs dans le plan factoriel I/III et des microhabitats qu'ils caractérisent.
(FIGURE 26': carte factorielle I/III des points-stations).

d'une faune épigée (représentée par des Mollusques et des Coléoptères) et d'une faune endogée. Les Coléoptères *Dryopidae* (xylophages à l'état larvaire), *Hydraenidae*, et les Diptères *Limoniidae* (l'un d'entre eux, *Pseudolimnophila lucorum*, ayant pour biotope préférentielle bois pourri) ont les contributions relatives au pôle positif de l'axe III les plus élevées.

Il semble donc que l'axe III sépare les stations en fonction des substrats dominants auxquels sont inféodés les biocénoses ripicoles aquatiques.

La carte factorielle I/III, qui intègre le gradient d'"eutrophication-eutrophisation" représenté par l'axe I et les différents biotopes s'échelonnant sur l'axe III, permet de mieux appréhender les conditions de milieu prévalant dans chaque station.

La figure 26 associe à chaque groupe de stations affines dans le plan I/III un biotope particulier et quelques espèces caractéristiques de la faune ripicole aquatique correspondante.

Ainsi, les 2 quadrants situés dans la partie négative de l'axe I renferment toutes les stations représentant les affluents "naturels" de l'Arc. Le quadrant inférieur isole la station B₈, caractérisée par une faune épigée associée à des Bryophytes, et qui semble être la plus originale des stations étudiées. Le quadrant supérieur renferme des stations dont les habitats sont plus variés, la plus typique d'entre elles étant le Cause (B₃).

Les quadrants correspondant à la partie positive de l'axe I réunissent des stations dont les habitats sont peu propices au développement d'une riche biocénose, habitats sablo-vaseux avec prédominance de sable en A₂ et A₃ (amont de la rivière) et prédominance de vase en A₄, A₉ et B₇ (A₄ étant située en aval d'une retenue naturelle sur l'Arc et A₉ à proximité de l'embouchure de l'Arc).

II.2.4. Conclusion

Parmi les 106 taxons intervenant dans ce traitement, les Oligochètes, les Coléoptères et les Diptères ont un rôle prépondérant dans la construction et donc dans l'interprétation des axes factoriels :

- Le gradient d'enrichissement du milieu aquatique représenté par l'axe I oppose des stations dont la faune bien diversifiée réunit une majorité de

Coléoptères et Diptères à des stations dont le peuplement est dominé par des Oligochètes.

- Coléoptères et Diptères déterminent la signification de l'axe II de l'A.F.C. par leur sensibilité respective à la stabilité du milieu, les Coléoptères (espèces épigées) étant plus aptes que les Diptères endogés à échapper à de fortes variations du niveau d'eau.

- Enfin, l'interprétation de l'axe III, qui différencie plusieurs microhabitats rivulaires, repose sur la prise en compte des biotopes préférentiels des espèces appartenant aux groupes des Diptères et des Coléoptères.

II.3. - CONCLUSION

Aucune comparaison ne peut être établie avec les recherches antérieures menées par les auteurs cités dans ce chapitre, les différences étant trop nombreuses quant aux méthodes d'investigations, aux biocénoses, aux milieux étudiés et à la finalité du travail. Cependant tous s'accordent, et nous avons fait des observations dans ce sens, pour considérer que les variations du niveau de l'eau et l'instabilité du milieu qui en résulte représentent l'un des facteurs prépondérant dans la détermination de la physiographie des microhabitats rivulaires émergés.

Les communautés animales ripicoles aquatiques peuvent ainsi subir souvent, en un laps de temps très court (à l'occasion d'une crûe printanière ou automnale, par exemple), de sérieux remaniements et une profonde déstabilisation. Ce déséquilibre est en partie atténué par les adaptations de certaines espèces : les animaux à respiration aquatique suivent le niveau d'eau du sédiment, quant aux individus à respiration aérienne (cupule respiratoire postérieure entourée de soies hygrofuges : cas de la plupart des larves de Diptères ripicoles aquatiques et des larves de Coléoptères *Dytiscidae* et *Hydrophilidae*) ils peuvent supporter de longues périodes d'immersion (VAILLANT, 1983).

Malgré des conditions plus contraignantes et beaucoup moins favorables que le milieu de pleine eau, la faune ripicole aquatique n'en demeure pas moins un élément non négligeable dans le fonctionnement de l'écosystème rivière.

Les résultats obtenus par l'A.F.C. le prouvent et apportent la confirmation de l'une de nos principales hypothèses qui était de savoir si les espèces ripicoles aquatiques pouvaient répondre à certaines contraintes et constituer des descripteurs faunistiques de fonctionnement. La réponse est visualisée de façon pertinente par l'axe I qui sépare très nettement les stations très perturbées des stations à pollution nulle ou très modérée.

Il faut souligner que la multiplicité et la variété des micro-milieus rencontrés dans le réseau hydrographique de l'Arc et plus particulièrement dans les 5 affluents ont permis cette comparaison. La prise en compte du cours axial seul (stations A₂, A₃, A₄ et A₉), si elle apporte quelques informations, est beaucoup moins significative.

Notre second objectif était de définir le ou les descripteurs abiotiques intervenant de façon déterminante sur l'organisation des peuplements ripicoles aquatiques. Comme le signalent BOURNAUD et al (1986) pour les Invertébrés aquatiques de la frange supérieure de la rive immergée, "les autres variables mesurées sont apparemment beaucoup moins synthétiques". C'est également le cas dans notre travail. Le "pouvoir explicatif" de l'axe II demeure beaucoup plus faible. Peut être faut-il voir, comme cause de la dispersion des espèces au sein de leur microhabitat, l'instabilité du milieu et sans doute aussi le manque de précision concernant certaines variables comme le débit, l'analyse granulométrique fine du substrat ou le taux de matière organique du sédiment, descripteurs dont l'étude est restée superficielle dans cette première approche faunistique.

L'axe III apporte presque autant d'information (13,3 % d'inertie) que l'axe II (15,3 %). Il permet de dégager dans le plan factoriel I/III une corrélation entre le gradient d'enrichissement du milieu, représenté par l'axe I, et la nature du substrat ainsi que sa structure (axe III). Il isole en effet trois ensembles faunistiques caractéristiques d'un milieu sablo-vaseux perturbé, d'un milieu limoneux avec débris végétaux et d'un substrat sédimentaire couvert de Bryophytes (fig. 26).

Ces premiers résultats relatifs à la connaissance des Invertébrés ripicoles aquatiques demeurent certes incomplets, mais soulignent l'importance que l'on doit accorder à cette zoocénose totalement ignorée dans la plupart des cas dans l'étude d'un hydrosystème.

Un cours d'eau est constitué d'une mosaïque de microbiotopes avec leurs caractéristiques propres et non pas seulement de faciès lotiques et lénitiques. La prise en compte de toutes les communautés d'Invertébrés aquatiques peuplant ces microhabitats, des zones les plus rapides jusqu'aux rives immergées et émergées offre une vue plus synthétique de l'écosystème "rivière" ainsi qu'une meilleure approche de son organisation et de son fonctionnement.

III - COMPARAISON DES COMMUNAUTES BENTHIQUES ET RIPICOLES AQUATIQUES

Les modalités spatiales de répartition des organismes benthiques d'une part, et ripicoles d'autre part, ont été analysées dans les paragraphes précédents.

L'inventaire faunistique global des Invertébrés des deux communautés regroupe 300 unités systématiques (annexe IV). De nombreuses espèces sont récoltées dans les 2 peuplements, d'autres sont strictement inféodées au milieu benthique ou rivulaire. Il semble donc utile, pour situer la place qu'occupent ces communautés dans les écosystèmes lotiques, de réaliser une étude comparée de l'ensemble des données faunistiques.

Le traitement simultané, par une analyse multivariée (A.F.C.) des relevés de faune benthique et ripicole permettra de mettre en évidence les affinités et les différences cénotiques des deux communautés en fonction des variations des composantes du milieu.

Une A.F.C. est effectuée sur une matrice de données de dimensions 195 x 18. Les 195 lignes correspondent aux taxons (représentés par plus d'un individu dans une station au moins) répertoriés dans les prélèvements d'Invertébrés benthiques et/ou d'Invertébrés ripicoles. Ces 2 communautés sont échantillonnées dans 9 stations : A2, A3, A4 et A9 sur le cours principal et les affluents B1, B2, B3, B7 et B8. Les effectifs (somme de 6 campagnes réalisées tous les 2 mois pendant une année) sont exprimés en classes d'abondance telles qu'elles ont été définies dans les paragraphes I et II de ce chapitre.

III.1. - CARACTERISTIQUES ET INTERPRETATION DES AXES FACTORIELS

Les 3 premiers axes factoriels représentent 51,1 % de l'information apportée par la matrice de données faunistiques (tableau ci-dessous).

	Valeur propre	% d'inertie	inertie cumulée
Axe I	0,09	27,2	27,2
II	0,049	14,8	42,0
III	0,03	9,1	51,1
IV	0,022	6,6	57,7
V	0,02	6,1	63,8

Les informations apportées par les axes I, II et III sont visualisées par des cartes factorielles (fig. 27 à 30).

III.1.1.-Ordination des prélèvements sur l'axe factoriel I (fig. 27)

Cet axe sépare très nettement les prélèvements d'Invertébrés benthiques (A2, A3, A4, A9, B1, B2, B3, B7 et B8) et d'Invertébrés ripicoles (codés RA2, ... RB8), situation qui, à priori, ne peut surprendre en raison de la nature très différente des habitats prospectés. Les premiers ont tous des coordonnées positives élevées sur l'axe et les seconds des coordonnées négatives.

L'axe I (pourcentage d'inertie : 27,2 %) confirme ainsi les différences de composition et de structure des peuplements d'Invertébrés colonisant d'une part les milieux limniques et d'autre part les habitats rivulaires d'un cours d'eau.

On note cependant que 88 des 195 taxons répertoriés pour cette analyse ont été récoltés dans les 2 types de prélèvements : habitats benthiques et zones rivulaires, 72 espèces vivent exclusivement dans les premiers et 35 seulement dans les seconds. La richesse spécifique des communautés benthiques (216 espèces) est également plus élevée que celle des peuplements ripicoles (158 espèces).

III.1.2.- Ordination des prélèvements sur l'axe factoriel II (fig. 28)

Les relevés benthiques et rivulaires des 4 affluents "naturels" (B1, B2, B3, B8) ont des coordonnées négatives sur cet axe, les points-stations B3, RB3, B8 et RB8 étant les plus contributifs.

Tous les autres relevés (cours principal et affluents pollués) ont des coordonnées positives : A4 (Rousset), A9 et RA9 (Berre) et B7 (Jouine) ont les contributions les plus élevées.

On remarque que les points-stations du haut réseau de l'Arc ont des coordonnées négatives (B1 et RB1) ou positives (A2, RA2, A3 et RA3) faibles, très proches de l'origine de l'axe.

Les prélèvements s'échelonnent ainsi sur l'axe factoriel II selon un gradient de trophie du milieu. Cette distribution des points-stations est comparable à leur ordination sur l'axe I (traduisant également un gradient d'enrichissement "eutrophisation + eutrophication") des analyses réalisées séparément pour chacune des communautés étudiées.

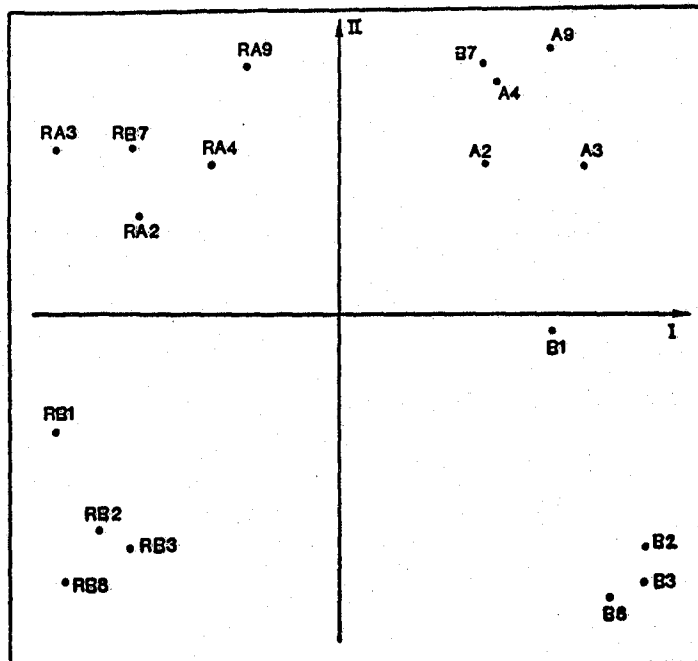


FIGURE 27 - Carte factorielle I/II des points-prélèvements de l'A.F.C. comparative des peuplements benthiques et ripicoles aquatiques. (les codes stations précédés de la lettre "R" correspondent aux prélèvements d'Invertébrés ripicoles).

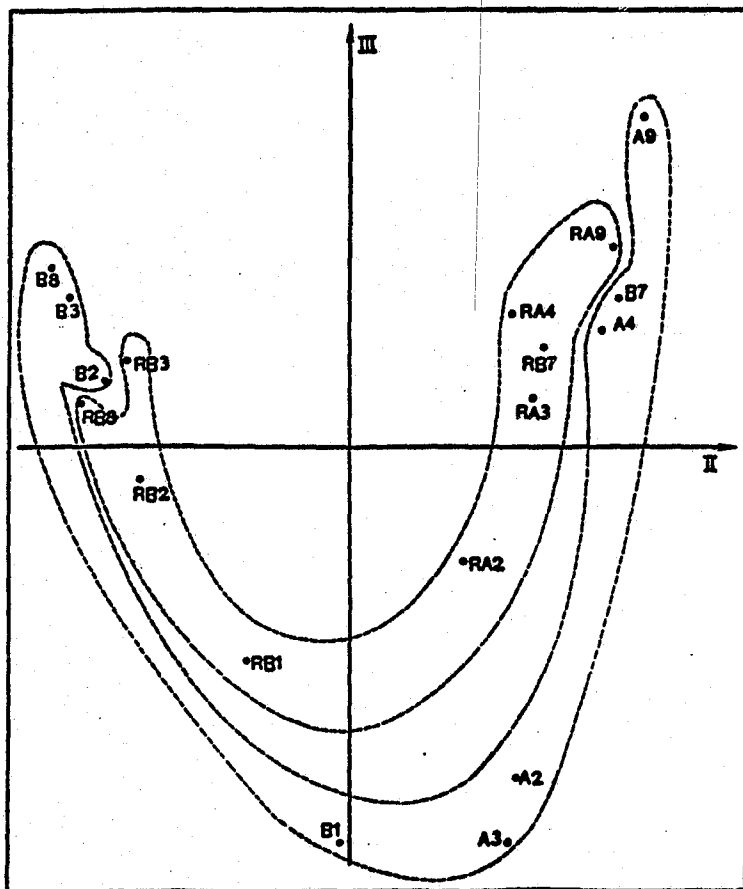


FIGURE 28 - Carte factorielle II/III des points-prélèvements de l'A.F.C. comparative des peuplements benthiques et ripicoles aquatiques. (les codes stations précédés de la lettre "R" correspondent aux prélèvements d'Invertébrés ripicoles).

Les coordonnées des relevés de faune benthique et ripicole d'une même station sont toujours très proches sur l'axe II. Cette observation met en évidence la similitude des réponses des peuplements benthiques et rivulaires aux variations des composantes "eutrophisation + eutrophication" dans l'écosystème Arc.

III.1.3.- Ordination des prélèvements sur l'axe factoriel III (fig. 28)

Cet axe oppose les peuplements benthiques et ripicoles du haut réseau (B1, A2, A3) à ceux de la moyenne et basse vallée de l'Arc (A4, A9, B2, B3, B7 et B8). Parmi ces stations, Berre, par les 2 types de communautés (A9 et RA9), est la plus contributive au pôle positif de l'axe III.

La partie négative de l'axe III traduit ainsi un régime hydrique instable, facteur sélectif qui agit parallèlement sur les organismes benthiques et ripicoles aquatiques. Cette caractéristique a déjà été observée lors de l'analyse distincte des peuplements benthiques et ripicoles : dans ces A.F.C. (§ I.1.1.1.2 et § II.2.2.) le facteur "instabilité hydrologique", traduit par l'axe factoriel II, isolait également les prélèvements du haut réseau de l'Arc.

On note cependant dans cette analyse comparative que les prélèvements benthiques du cours supérieur (A2, A3, B1) ont des coordonnées négatives très élevées, supérieures à celles des prélèvements des berges (RA2, RA3, RB1) dont les coordonnées sont faiblement négatives ou même positives (RA3). Les organismes benthiques apparaissent ainsi plus sensibles aux facteurs de temporarité (périodes d'étiages et d'assecs que les organismes ripicoles, déjà adaptés à un habitat hydrologiquement instable. VAILLANT (1954) a constaté ainsi, à plusieurs reprises, que la densité des populations macroléonectes (ensemble des animaux qui se développent sur un substrat recouvert par une pellicule d'eau courante d'épaisseur inférieure à 2 mm) des cours d'eau temporaires était plus grande que celle des cours d'eau permanents situés à proximité.

III.2. - MODALITES DE DISTRIBUTION SPATIALE DES ESPECES

III.2.1. Répartition des espèces sur l'axe factoriel I

Cette distribution est visualisée par la carte factorielle I/II des espèces (fig. 29).

La distribution des peuplements benthiques et ripicoles traduite par l'axe factoriel I n'est pas due à la contribution des espèces récoltées exclusi-

المعهد الوطني للتعليم العالي
البيولوجيا - تلمسان

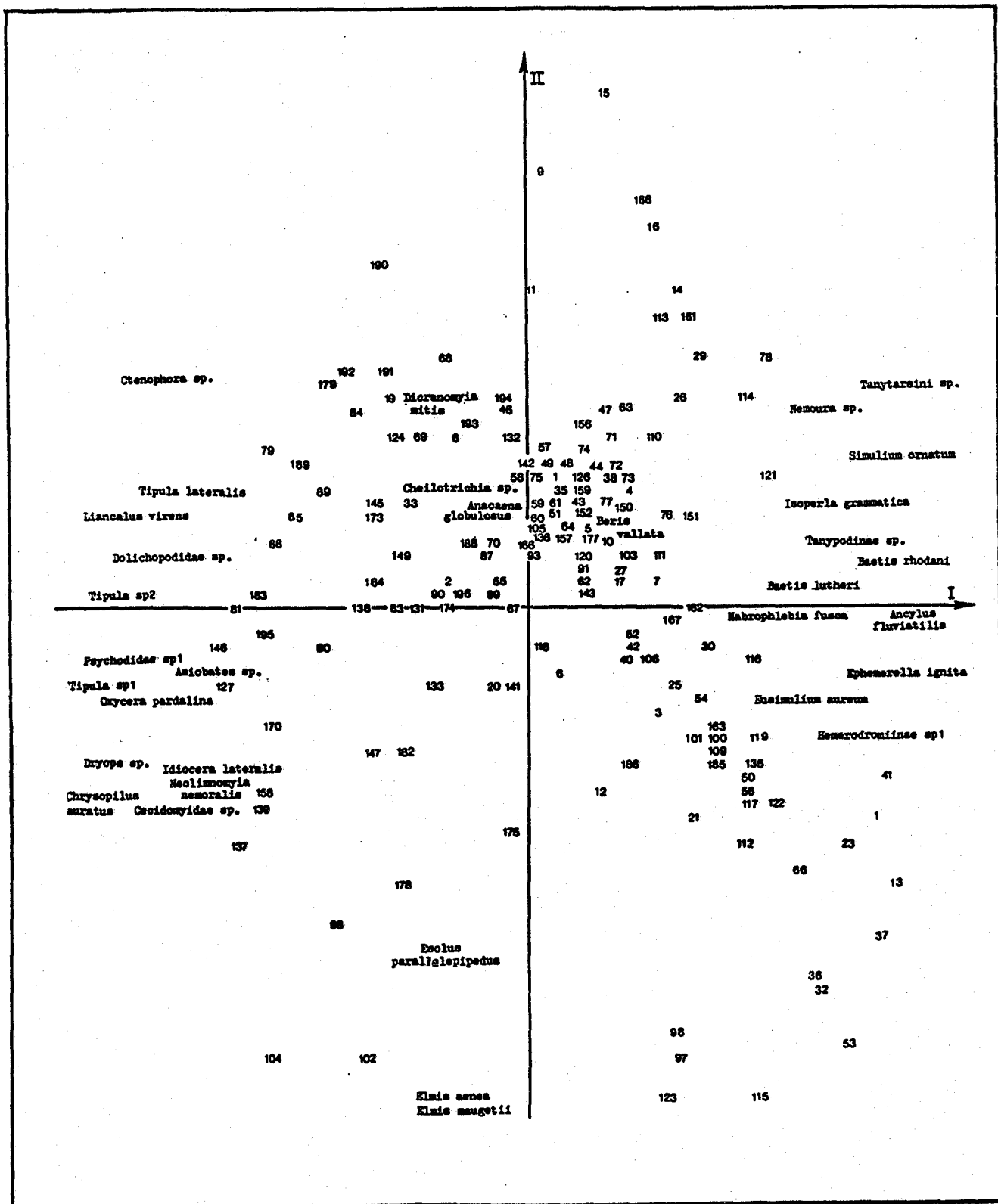


FIGURE 29 - Carte factorielle I/II des points-taxons de l'A.F.C. comparative des peuplements benthiques et ripicoles aquatiques. Les noms des taxons cités dans le texte figurent sur le schéma. Le codage des autres taxons est indiqué dans l'annexe V.1.

vement dans l'un des 2 milieux : dans leur majorité, les espèces les plus contributives aux pôles positif et négatif de cet axe, tout en ayant une abondance maximale dans l'un des biotopes, sont aussi représentées par de rares individus dans l'autre.

Seront successivement examinées les espèces communes aux 2 peuplements et très contributives sur l'axe I, les espèces également très contributives mais exclusives de l'un des habitats, les espèces de coordonnées positives ou négatives élevées dont le poids dans l'analyse est moyen, les espèces exclusives et peu contributives, enfin celles qui sont récoltées en abondance dans les 2 milieux.

- Espèces communes aux habitats benthiques et rivulaires et très contributives sur l'axe.

Les densités de *Baetis rhodani* et des Diptères *Tanypodinae* sont élevées en milieu benthique et très faibles en zones de bordure.

A l'opposé le Coléoptère *Dryops* sp. et les Diptères *Oxycera pardalina*, *Psychodidae* sp. 1, *Tipula lateralis* et *Liancalus virens* abondent dans les prélèvements des rives et sont plus rares dans les communautés benthiques.

- Espèces exclusives d'un habitat et très contributives sur l'axe.

Peu d'espèces exclusives ont également une contribution élevée sur l'un des pôles de l'axe I : *Chrysopilus auratus* est présente dans tous les prélèvements des rives (à l'exception de RA4) ; *Simulium ornatum* et *Hemerodromiinae* sp. 1 sont par contre strictement benthiques.

- Espèces moyennement contributives de coordonnées élevées.

Parmi celles-ci, *Ancylus fluviatilis*, *Baetis lutheri*, *Ephemerella ignita*, *Habrophlebia fusca*, *Nemoura* sp., *Isoperla grammatica*, *Eusimulium caureum* et *Tanytarsini* sp. (coordonnées positives) sont caractéristiques de la communauté benthique. Elles s'opposent au Coléoptère *Asiobates* sp. et aux Diptères *Ctenophora* sp., *Tipula* sp. 1 et sp. 2, *Neolimnomyia nemoralis*, *Idiocera lateralis*, *Cecidomyidae* sp. et *Dolichopodidae* sp. 1 (coordonnées négatives), espèces représentatives du peuplement ripicole.

- Espèces exclusives peu contributives

On remarque que certaines espèces strictement benthiques (*Protonemura intricata*, *Dixa maculata*, *Beris vallata*) ou ripicoles (*Anacaena globulosus*, *Dicranomyia mitis*, *Cheilotrichia* sp.) ont un effectif faible. Leurs coordonnées

sont proches de l'origine des axes et leurs contributions dans l'analyse sont modestes, l'A.F.C. étant réalisée à partir de classes d'abondance et non d'après un critère de présence/absence des espèces.

- Espèces abondantes dans les 2 habitats.

Les Coléoptères *Elmis aenea*, *E. maugetii* et *Esolus parallelepipedus* ont des coordonnées et des contributions très faibles sur l'axe factoriel I. Ces espèces ont une vie entièrement aquatique, mais peuvent émerger par temps de pluie et leur nymphose a toujours lieu hors de l'eau (BERTRAND, 1954). Ces organismes considérés comme amphibies (BERTHELEMY, 1966) sont récoltés dans des proportions similaires dans les habitats benthiques et rivulaires des affluents naturels de l'Arc et n'apportent donc aucune information relative à la différenciation des zoocénoses qui s'y rattachent.

Toutes les espèces citées dans ce paragraphe, à l'exception des Coléoptères *Elmidae*, caractérisent l'une des communautés échantillonnées.

- Parmi les espèces caractéristiques de l'habitat benthique (coordonnées positives) *Simulium ornatum*, *Hemerodromiinae sp.*, *Baetis lutheri*, *Ephemera ignita*, *Isoperla grammatica* et *Nemoura sp.* sont exclusives des prélèvements benthiques ; *Baetis rhodani*, *Habrophlebia fusca*, *Ancylus fluviatilis*, *Eusimulium aureum*, *Tanypodinae sp.* et *Tanytarsini sp.*, bien que récoltées parfois en zone rivulaire, sont inféodées au milieu benthique.

- Parmi les espèces caractéristiques des rives (coordonnées négatives) *Chrysophilus auratus*, *Ctenophora sp. 1*, *Tipula sp. 2*, *Neolimnomyia nemoralis* et *Idiocera lateris* sont exclusives de ce milieu. *N. nemoralis* et *I. lateralis* vivent dans les sols marécageux, le bord des rivières et les sols saturés en eau (BRINDEI 1967). La larve de *Ctenophora* recherche le bois pourri, humide et fermenté (SEGUY, 1950). *C. auratus* a une valence écologique plus large puisqu'elle est présente dans les sources, les milieux "madicoles", ainsi que les berges de cours d'eau et certains biotopes édaphiques très humides (BOUMEZZOUGH et THOMAS, 1987). Ce noyau d'espèces à tendance hygrophile est composé également de Coléoptères et de nombreux Diptères dont quelques individus appartiennent aux prélèvements benthiques : *Dryops sp.*, *Asiobates sp.*, *Tipula lateralis*, *Tipula sp.1* et *sp.2*, *Psychodidae sp.1*, *Oxycera pardalina*, *Liancalus virens*, *Dolichopodidae sp. 1* et *Cecidomyiidae sp.*

D'autres facteurs régissent la distribution spatiale des populations benthiques et ripicoles aquatiques et déterminent leurs affinités et leurs différences au sein d'une même station. L'examen de l'espace factoriel II/III de l'A.F. où l'antagonisme entre les 2 zoocénoses, traduit par l'axe I, n'apparaît pas, permet d'appréhender cette étude comparative.

III.2.2. - Répartition des espèces dans le plan factoriel II/III (fig. 30)

III.2.2.1. - Axe factoriel II

Les espèces contribuant le plus à la hiérarchisation des prélèvements sur l'axe factoriel II sont :

- *Chironomini* sp., *Physa acuta*, *Lymnaea peregra*, *Helobdella stagnalis* et les Oligochètes pour son pôle positif.
- *Ephemera danica*, *Limnius intermedius*, *Elmis aenea*, *E. maugetii*, *Riolus* sp., *Helodes* sp., *Hydropsyche siltalai* et *Sericostoma galeatum* pour son pôle négatif.

Ces taxons, bien que récoltés dans les 2 types d'habitats, sont surtout des organismes benthiques. Leur abondance élevée, supérieure à celle des Invertébrés à "tendance ripicole", est responsable de leur importante contribution sur l'axe factoriel II.

D'autres espèces, moins contributives, ont également des coordonnées élevées sur l'axe II : *Leuctra geniculata*, *Limnius volkmari*, *Esolus parallelepipèdus* et *Onychogomphus uncatu* se disposent à l'extrémité négative de l'axe ; *Erpobdella octoculata*, *Bithynia* sp., *Caenis* sp. 1, *Haliphus* sp., *Hydropsyche dissimulata* et *Ephydriidae* sp. 2 prennent place à son extrémité positive.

Les espèces ayant des coordonnées positives sont des organismes pollu-résistants (*Chironomini* sp., Oligochètes) ou potamophiles (*Hydropsyche dissimulata*) déjà citées comme caractéristiques des stations perturbées dans l'analyse de prélèvements benthiques.

Les Diptères *Ephydriidae* sont les seuls représentants ripicoles témoignant de l'enrichissement du milieu aquatique par leurs coordonnées positives élevées.

Parmi les espèces caractéristiques des milieux naturels relevées dans cette analyse, la plupart sont ici encore des organismes benthiques : *Leuctra geniculata*, *Ephemera danica*, *Sericostoma galeatum*. A celles-ci s'ajoutent

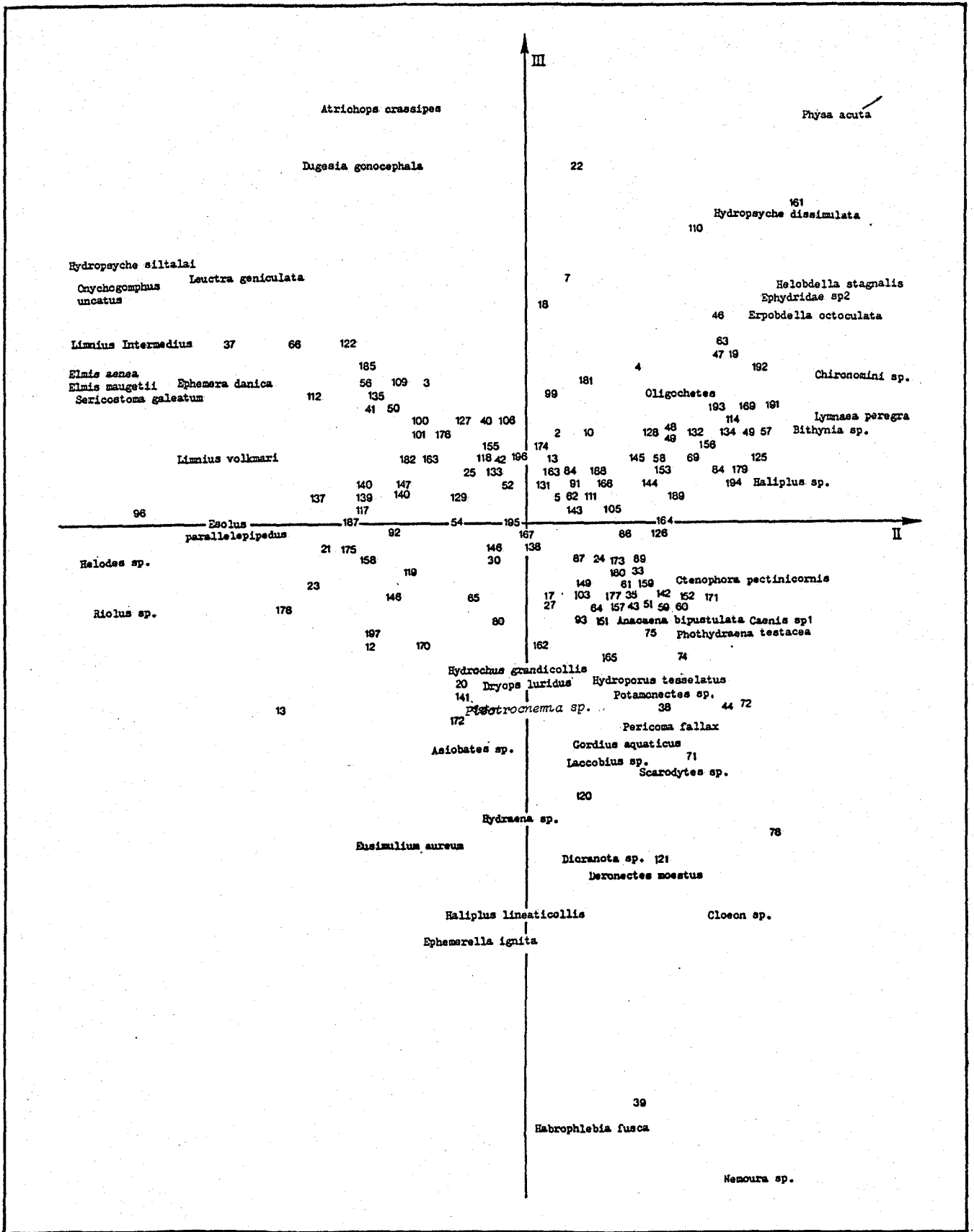


FIGURE 30 - Carte factorielle II/III des points-taxons de l'A.F.C. comparative des peuplements benthiques et ripicoles aquatiques. Les noms des taxons cités dans le texte figurent sur le schéma. Le codage des autres taxons est indiqué dans l'annexe V.1.

les Coléoptères *Elmidae*, communs aux 2 peuplements : *Elmis maugetii*, *E. aenea*, *Limnius volkmari*, *Limnius intermedius*, *Esolus parallelepipedus* et *Riolus* sp.

III.2.2.2. - Axe factoriel III

Les espèces les plus contributives au facteur "stabilité hydrologique", traduit par le pôle positif de l'axe III, sont communes aux peuplements benthiques et ripicoles. Ce sont *Athricops crassipes*, *Physa acuta*, *Dugesia gonocephala* et les Oligochètes. Par contre, les espèces caractéristiques des stations à régime hydrologique instable du haut réseau de l'Arc (contributions élevées sur le pôle négatif de l'axe) sont des espèces limnophiles soit strictement benthiques : *Cloeon* sp., *Nemoura* sp., *Scarodytes* sp., *Potamonectes* sp., *Deronectes moestus* et *Pericoma fallax*, soit communes aux deux milieux : *Habrophlebia fusca*, *Haliphus lineaticollis*, *Dicranota* sp. On note de plus, sur la partie négative de l'axe, une succession d'espèces de coordonnées négatives de plus en plus proches de l'origine : *Ephemerella ignita*, *Eusimulium aureum*, *Hydraena* sp., *Laccobius* sp., *Asiobates* sp., *Gordius aquaticus*, *Plectrocnemia* sp., *Hydroporus tessellatus*, *Dryops luridus*, *Hydrochus grandicollis*, *Phothydraena testacea*, *Anacaena bipustulata* et *Ctenophora pectinicornis*. Cette succession traduit l'affinité de chaque espèce pour le milieu benthique (coordonnées négatives élevées) ou rivulaire (coordonnées proches de l'origine). Ainsi *Ephemerella ignita* et *Eusimulium aureum* sont des organismes benthiques, et même rhéophiles (*E. aureum*). A l'opposé, *Hydrochus grandicollis*, *Phothydraena testacea*, *Anacaena bipustulata* et *Ctenophora pectinicornis* sont des espèces exclusivement ripicoles : les larves de ce Diptère *Tipulidae* se développent dans les milieux modérément humides et fuient les sols trop mouillés (THEOWALD in *Limnofauna Europaea*, 1978). *Dryops luridus*, *Hydroporus tessellatus* et *Hydraena* sp. 2, de coordonnées négatives intermédiaires, sont communes aux 2 peuplements.

III.2.2.3. - Plan factoriel II/III

Les 18 points-prélèvements dessinent dans le plan II/III une courbe en "U" (fig. 28). Cette disposition résulte de la combinaison des facteurs traduits par l'axe II ("eutrophisation + eutrophication") et par l'axe III (instabilité hydrologique). Les points formant la concavité de la courbe représentent les prélèvements effectués dans les stations à régime hydrologique instable, peu ou pas perturbées par les activités anthropiques. Sur la branche droite de la courbe se répartissent les prélèvements réalisés dans les stations permanentes soumises à un enrichissement naturel et exogène et sur la branche gauche les peuplements des stations permanentes "naturelles".

La figure met bien en évidence les similitudes des peuplements benthiques et ripicoles dans chacune des stations du réseau de l'Arc. En effet, l'ensemble des points-stations peut être divisé en 2 sous-ensembles juxtaposés et de même forme, l'un composé de tous les prélèvements effectués en milieu benthique et l'autre représenté par les prélèvements des rives.

On remarque cependant que les stations permanentes, perturbées ou naturelles, présentent une plus grande ressemblance de leurs peuplements benthiques et ripicoles respectifs que les stations à régime hydrologique instable du haut réseau. Cette différence, due à la sensibilité des organismes benthiques au facteur de temporarité (III.1.3.), est également visualisée par la carte factorielle des points-espèces (fig. 30). Sur cette dernière les espèces ripicoles se situent près de l'origine des axes, d'où la répartition des prélèvements des rives qui sont nettement attirés par le pôle positif de l'axe III. Le prélèvement rivulaire de la station de Marius (RA3) a la position la plus extrême (coordonnées positives sur l'axe III). *Anacaena bipustulata*, Coléoptère essentiellement représenté dans cette station, est une espèce particulièrement adaptée aux bordures de ruisseaux et d'étangs astatiques (OLMI, 1978).

Le regroupement des prélèvements benthiques du haut réseau (A2, A3, B1) à l'extrémité de l'axe III est corrélé à l'abondance de *Cloeon* sp., *Habrophlebia fusca* et *Nemoura* sp., espèces bien adaptées aux assècs des milieux temporaires bien qu'elles colonisent des habitats très divers. *Nemoura cinerea*, en particulier, est récoltée dans les sources de résurgence et les étangs de plaine (MOULINS, 1962), les cours d'eau permanents et les déversoirs de lacs (BERTHELEMY, 1966), les ruisseaux temporaires (LEGIER et TALIN, 1973) et les rives de lacs (MULLER, 1976).

III.3. - CONCLUSION

L'analyse simultanée des peuplements benthiques et ripicoles aquatiques de 9 stations du réseau de l'Arc très différentes d'un point de vue hydrobiologique montre (axe I) que ces 2 communautés sont nettement distinctes par leur composition et leur structure bien qu'elles hébergent 45 % d'espèces communes.

Malgré ces différences, les communautés d'Invertébrés benthiques et ripicoles répondent de façon similaire aux variations des descripteurs physico-chimiques du milieu aquatique (axe II).

Seuls quelques décalages des coordonnées des 2 peuplements d'une

même station apparaissent sur l'axe III et concernent les stations de Pourcieux (A2 et RA2), Marius (A3 et RA3) et Aubanède (B1 et RB1) marquées par un régime hydrologique particulier : périodes d'étiages sévère ou assèchement total du lit du ruisseau.

Ces différences stationnelles reflètent les particularités biologiques et écologiques des espèces des 2 communautés : les organismes benthiques, à l'exception de quelques espèces adaptées aux milieux temporaires, ne peuvent survivre dans un milieu soumis à de fréquentes variations de débit dont étiage et assec constituent les stades extrêmes. Les Invertébrés ripicoles, organismes hygrophiles, sont des espèces plus euryèces et certaines (*Ctenophora pectinicornis*) fuient même les habitats trop humides.

CONCLUSION GENERALE

La répartition des phytocénoses et des zoocénoses benthiques et ripicoles aquatiques a été étudiée à l'échelle d'un réseau hydrographique présentant une très grande hétérogénéité hydrochimique.

Les monographies de cours d'eau méditerranéens (Restonica : GIUDICELLI, 1968,; Argens : DIA, 1978 et GIUDICELLI et al, 1980 ; Buëch : VESPINI, 1985) sont axées sur la connaissance des caractéristiques physico-chimiques des eaux et sur l'analyse des biocénoses aquatiques, animales et végétales. En aucun cas la communauté ripicole n'est prise en compte dans l'analyse et la comparaison des peuplements aquatiques.

Les résultats concernant les Invertébrés benthiques ne peuvent être confrontés qu'à ceux acquis par DIA dans l'Argens (1978), fleuve méditerranéen proche de l'Arc et soumis à quelques impacts polluants qui en perturbent le fonctionnement. En ce qui concerne la communauté ripicole aquatique des éléments de comparaison sont à rechercher dans les travaux de VAILLANT (1954), BOUMEZZOUGH (1983) et FLUELER-CHETELAT (1986) qui ont étudié les divers peuplements des habitats rivulaires (organismes madicoles, ripicoles endogés et épigés) et les principaux facteurs qui en déterminent la distribution spatiale.

La répartition longitudinale des Invertébrés benthiques dans le cours axial de l'Arc ne correspond pas à la zonation des biocénoses généralement observée dans des réseaux naturels en Europe et mise aussi en évidence dans l'Argens par DIA (1978) et GIUDICELLI et al (1980).

Ce fleuve méditerranéen possède un réseau hydrographique de faible altitude assez semblable et proche du réseau de l'Arc. DIA en a délimité les zones biocénotiques en appliquant le principe de la classification des eaux courantes d'ILLIES et BOTOSANEANU (1963). Il a ainsi décrit la succession de zones (crénon-rhithron, rhithron, potamon) auxquelles sont associés des groupements faunistiques déterminés par une A.F.C.

Dans l'Arc, l'A.F.C. met en évidence un gradient de trophie déterminant la répartition des espèces au sein du réseau. Les groupements de stations et d'espèces qui ressortent de cette analyse ne se succèdent pas de la source à l'embouchure comme dans le cas de l'Argens. Leur répartition traduit un état de perturbation critique de certains secteurs du réseau (de Rousset à St-Pons, La Luynes et la Jouine) et laisse apparaître un retour à une situation plus normale par auto-épuration dans le secteur aval (Berre).

Les groupements faunistiques isolés par l'analyse peuvent, dans certains cas, être rattachés aux divers biocénotypes mis en évidence dans l'Argens.

1 - un groupe de stations "naturelles" s'isole, représenté par un peuplement benthique dont beaucoup d'éléments appartiennent également à la communauté du métarhithral et de l'hyporhithral de basse altitude de l'Argens. Ces stations sont toutes situées sur les affluents de l'Arc. Les biocénotypes du rhithron, bien individualisés dans l'Argens, ont donc disparu du cours axial de l'Arc ; le rhithron n'est plus représenté que dans certains de ses affluents.

2 - Les stations du haut réseau hébergent un peuplement benthique représenté par des espèces lénitophiles adaptées à des conditions qui ici s'apparentent à celles de milieux semi-temporaires. Ce peuplement ne peut être comparé à celui du ruisseau collecteur de la source de l'Argens qui par son importance et ses caractéristiques physiographiques appartient déjà au rhithral.

3 - L'ensemble des stations du cours axial de l'Arc est caractérisé par un peuplement benthique pauvre, peu diversifié, dominé par quelques taxons saprobiontes. Seule la station de Berre peut être rattachée à un biocénotype déterminé, celui du potamal : les espèces exclusives qui la caractérisent sont citées par GIUDICELLI et al. (1980) comme caractéristiques de la communauté de l'épipotamal de l'Argens.

Ainsi, bien que l'Arc et l'Argens possèdent des réseaux très proches géographiquement, on constate des différences importantes dans la composition et la répartition de leurs communautés benthiques respectives.

Le débit élevé (supérieur à 500 l/s⁻¹) de la source de l'Argens et l'importance des apports de plusieurs réservoirs karstiques répartis en divers points de son cours atténuent fortement les effets des perturbations anthropiques.

Un tel mécanisme compensatoire (dilution) n'existe pas dans l'Arc dont le débit, modeste en temps normal, atteint un niveau critique en période d'étiage. L'analyse synchronique des descripteurs abiotiques a mis en évidence un phénomène d'auto-épuration en aval des principaux rejets polluants, cependant cet effet n'apparaît pas dans les communautés d'Invertébrés benthiques, plus sensibles aux perturbations.

La figure 31 représente les résultats de ces analyses faunistiques

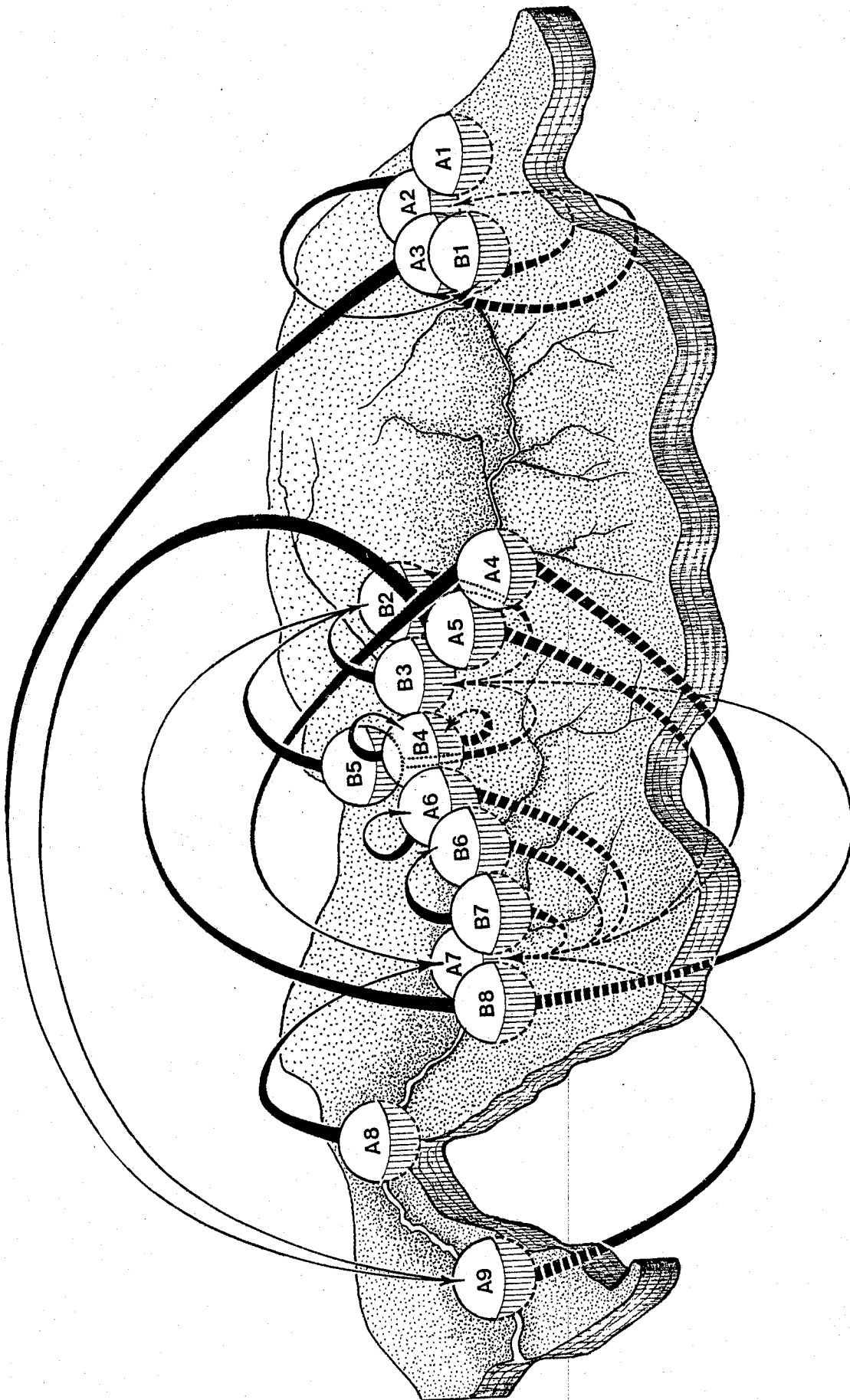


FIGURE 31 - Groupements de stations affines d'après leur hydrochimie (partie supérieure de la figure) et leur peuplement benthique (partie inférieure). (Cf. figures 16 et 23').

partie supérieure de la figure) et leur

et physico-chimiques à l'échelle du réseau hydrographique de l'Arc.

Elle visualise (par des flèches) les affinités typologiques qui unissent les divers peuplements stationnels au sein de chacun des 3 principaux ensembles faunistiques déterminés par l'A.F.C.

De la même façon sont figurés les liens entre les divers secteurs du réseau appartenant à chacun des 7 types hydrochimiques identifiés par l'A.C.F.

Ces 7 types s'ordonnent selon un gradient d'eutrophication induit par de nombreux altéragènes. La situation la plus critique se situe dans le secteur aval d'Aix-en-Provence (type "7") et correspond au groupement faunistique "3", le moins diversifié et structuré. A l'opposé, le type hydrochimique "1" englobe les 4 affluents naturels dont les peuplements benthiques appartiennent au biocénotype du rhithron (groupement faunistique "1").

Les rapports entre les variations spatiales des composantes physico-chimiques et la répartition des Invertébrés ripicoles aquatiques sont, du fait du manque de connaissances relatives à ces organismes, plus difficiles à établir.

Dans le réseau de l'Arc, la distribution de ces communautés est soumise à l'enrichissement du milieu aquatique. Ainsi, les peuplements ripicoles stationnels se succèdent sur l'axe I de l'A.F.C. selon un gradient d'eutrophie. Comme les Invertébrés benthiques, les organismes ripicoles peuvent être considérés comme des bio-indicateurs.

Le deuxième facteur mis en évidence dans cette analyse est d'ordre physique : sur l'axe II se manifeste vraisemblablement l'influence des variations de débit du cours d'eau. FLUELER-CHETELAT (1986) constate en effet que "le degré de cette instabilité - en relation avec le régime des pluies, avec la pente du ruisseau, avec l'origine des eaux alimentant celui-ci - détermine continuellement la texture et la composition du substrat en même temps que la présence ou l'absence de chaque espèce ripicole aquatique".

On a pu constater par l'A.F.C. (axe III) que les organismes ripicoles aquatiques sont particulièrement sensibles à la nature du substrat. GACHET (1971) a montré ainsi l'importance des caractéristiques du substrat (granulométrie, teneurs en particules organiques) sur la répartition de ces Invertébrés.

Les variations spatiales de la zoocénose ripicole aquatique sont donc déterminées, comme celles de la zoocénose benthique, par les diverses situations

hydrochimiques, hydrologiques et physiographiques représentées dans le réseau de l'Arc.

Leur place dans le fonctionnement d'un hydrosystème lotique est encore mal définie en raison du nombre réduit d'études les concernant.

Les travaux de VAILLANT (1954) sur la faune madicole, BOUMEZZOUGH (1983) sur les communautés ripicoles épigées et endogées et FLUELER-CHETELAT (1986) sur la faune ripicole aquatique mettent l'accent sur le rôle trophique que peuvent jouer ces organismes rivulaires. Selon FAVET (1981), la zoocénose ripicole *sensu lato*, par ses relations trophiques avec les biocénoses terrestres et aquatiques, sert de liaison entre ces deux domaines. Tous s'accordent pour admettre que ces communautés peuplant les berges des cours d'eau sont très complexes et composées de nombreuses espèces hétérozones, ce que confirment nos observations dans l'Arc.

En définitive, l'Arc est un fleuve soumis à une très forte pression anthropique dont l'impact sur la qualité des eaux est traduit de façon pertinente par les composantes abiotiques et biocénétiques.

L'étude a montré que seuls les affluents ont conservé une faune originelle, l'organisation biocénétique du cours axial étant totalement perturbée par les altérages. La zoocénose ripicole aquatique semble jouer un rôle non négligeable dans cet écosystème, rôle qui devra être approfondi et déterminé avec précision au cours d'études ultérieures.

BIBLIOGRAPHIE

- ANDRESEN-LEITAO (M.), 1984 - Aspects du phytoplancton d'un bassin de rétention : Relations avec quelques paramètres physico-chimiques du milieu. Thèse 3è cycle, Université René Descartes, Paris V : 165 p.
- ANGELIER (E.), 1953 - Recherches écologiques et biogéographique sur la faune des sables submergés. Arch. Zool. exp. gén., 90 (2) : 1 - 161.
- ANGELIER (E.), BORDES (J.M.), LUCCHETTA (J.C.) et ROCHARD (M.), 1978 - Analyse statistique des paramètres physico-chimiques de la rivière Lot. Annls. Limnol., 14 (1-2) : 39-57.
- BERTHELEMY (C.), 1966 - Recherches écologiques et biogéographiques sur les Plécoptères et Coléoptères d'eau courante (Hydraena et Elminthidae) des Pyrénées. Annls Limnol., 2 : 277-258.
- BERTRAND (H.), 1954 - Les insectes aquatiques d'Europe. Vol I et II. Edit. P. Lechevalier Paris: 556 p.
- BIGGS (B.J.) et MALTHUS (T.J.), 1982 - Macroinvertebrates associated with various aquatic macrophytes in the backwaters and lakes of Upper Clutha Valley, New Zealand. N.Z.J. Mar. Freshw. Res., 16 : 81-88.
- BIGOT (L.), 1977 - Contribution à la connaissance des zoocénoses ripicoles de surface en Corse. Ecologia mediterranea, 3 : 9-12.
- BIGOT (L.), 1983 - Inventaire des espèces d'Arthropodes en position de ripicoles et commentaires sur leur répartition. Ecol. medit.
- BOUMEZZOUGH (A.), 1983 - Les communautés animales ripicoles épigées et endogées du bassin versant de la rivière Aille (Var - France). Thèse 3è cycle, Aix-Marseille III: 191 p.
- BOUMEZZOUGH (A.), 1984 - Les communautés animales ripicoles du bassin versant de la rivière Aille (Var - France). III : Composition biotique du peuplement endogé. Ecol. medit., X, (3-4) : 9-28.
- BOUMEZZOUGH (A.) et MUSSO (J.J.), 1983 - Etude des communautés animales et ripicoles du bassin de la rivière Aille (Var - France). I : Aspects biologiques et éco-éthologiques. Ecol. medit. IX, (1) : 31-56.

- BOUMEZZOUGH (A.) et THOMAS (A.G.B.), 1987 - Chrysopilus tsacasi Thomas, 1979 : morphologie et écologie des larves (Diptera, Rhagionidae) Bull. Soc. Hist. Nat., Toulouse, 123 : 85-87.
- BOURAIMA (I.), 1974 - Recherches d'écologie quantitative sur la zoocénose de deux ruisseaux temporaires en Basse-Provence. Thèse 3è cycle, Aix-Marseille III: 203 p.
- BOURNAUD (M.) et AMOROS (C.), 1984 - Des indicateurs biologiques aux indicateurs de fonctionnement : quelques exemples dans un système fluvial. Bull. Ecol. 15, 1 : 57-66.
- BOURNAUD (M.) et COGERINO (L.), 1986 - Les microhabitats aquatiques des rives d'un grand cours d'eau : approche faunistique. Annls Limnl. 22 (3) : 285-294.
- BOUZIDI (A.), 1983 - Cours d'eau temporaires du massif des Maures. Hydrologie, Hydrochimie, organisation et évolution de leur peuplement. Thèse 3è cycle, Aix-Marseille III : 1-190.
- B.R.G.M., 1968 - Etude des ressources hydrologiques et hydrogéologiques du Sud-Est de la France. Fasc. 5. Bassins de l'Arc et de l'Huveaune. (Bouches-du-Rhône). D.S.G.N. 100 p.
- BRINDLE (A.), 1967 - The Larvae and Pupae of the British Cylindrotominae and Limoniidae (Diptera, Tipulidae). Transactions of the Society for british entomology, 17: 151-215.
- BRUN (G.), 1967 - Etude écologique de l'estuaire du "Grand-Rhône". Bull. Inst. océanogr. Monaco, 66, (1371) : 1-46.
- CAPBLANCQ (J.), 1982 - Phytoplancton et production primaire. Dans "Ecologie du plancton des eaux continentales" POURRIOT (R.) collection d'écologie n°16. Edit. Masson, Paris : 1-48.
- CAPBLANCQ (J.) et OAUTA (A.), 1978 - Phytoplancton et production primaire de la rivière Lot. Annls. Limnol., 14 (1-2) : 85-112.
- CAPBLANCQ (J.) et TOURENQ (J.N.), 1978 - Hydrochimie de la rivière Lot. Annls. Limnol., 14 (1-2) : 25-37.
- CARDINAL (C.), 1981 - Composition, évolution et structure des populations phytoplanctoniques du lac de Creteil (Val-de-Marne) abordées sous différents aspects. Thèse 3è cycle, Univ. Pierre et Marie Curie, Paris 6: 128 p.

- CHOLNOKY (B.J.), 1968 - Die Okologie der Diatomen in Binnengewässern. Lehre, Cramer, 8 + 699 p., 59 fig. + 4 tabl.h.t.
- COSTE (M.), 1978 - Sur l'utilisation des Diatomées benthiques pour l'appréciation de la qualité biologique des eaux courantes. Méthodologie comparée et approche typologique. Thèse Fac. Sci. Univ. Besançon, 287 : 150 p.
- DAGET (J.), 1876 - Les modèles mathématiques en écologie. Masson édit. Paris : 172 p.
- DAKKI (M.), 1979 - Recherches hydrobiologiques sur un cours d'eau du Moyen-Atlas (Maroc). Thèse 3è cycle, Université Aix-Marseille III : 126 p.
- DECAMPS (H.), 1967 - Recherches écologiques sur les Trichoptères des Pyrénées. Annls. Limnol., 3(1) : 101-176.
- DECAMPS (H.), 1968 - Vicariances écologiques chez les Trichoptères des Pyrénées. Annls. Limnol., 4(1) : 1-50.
- DESIKACHARY (T.V.), 1959 - Cyanophyta, Ind. Council Agr. Res. New-Delhi.
- DESCY (J.P.), 1979 - Estimation de la qualité de l'eau en rivière : nouvelle approche utilisant des Diatomées, calcul d'un indice biotique qui tient compte de nombreux facteurs... Norahedwigia, n°64: 305-323.
- DIA (A.), 1978 - Etude écologique et essai de zonation d'une rivière côtière méditerranéenne : l'Argens (Var). Thèse 3è cycle, Aix-Marseille III : 155 p.
- DIA (A.), 1983 - Recherches sur l'écologie et la biogéographie des cours d'eau du Liban méridional. Thèse de doctorat d'état, Université Aix-Marseille III : 302 p.
- DOLEDEC (S.), 1986 - Les peuplements de macro-invertébrés du cours inférieur de l'Ardèche. Dynamique spatio-temporelle. Thèse doctorat, Université Claude Bernard Lyon I : 246 p.
- DORIER (A.), 1963 - Documents pour servir à la connaissance des Simuliidae du Sud-Est de la France. Trav. Lab. Hydr. Pisc. Grenoble, 54-55 : 7-79.

- DUVIGNEAUD (P.), 1974 - La synthèse écologique. Populations, communautés, écosystèmes, biosphère, noosphère. Doin édit. Paris : 296 p.
- ECONOMOU-AMILLI (A.), 1980 - Periphyton analysis for the evaluation of water quality in running waters of Greece. Hydrobiologia, 74 : 39-48.
- FABRI (R.) et LECLERC (L.), 1984 - Etude écologique des rivières du nord du massif ardennais (Belgique) : flore et végétation de Diatomées et physico-chimie des eaux. 1. Contexte mésologique. Méthodes, analyses physico-chimiques. Synthèse taxonomique, écologique et floristique. Iconographie. Robertville, Stat. Scient. Hautes-Iagnes, 379 p., 33 pl.
- FAVET (L.), 1981 - Communautés ripicoles de la Basse-Durance. Thèse 3è cycle, AIX-MARSEILLE III : 371 p.
- FLUELER-CHETELAT (G.), 1986 - Etude des macro-invertébrés - surtout des Diptères - pour trois ruisseaux de plaine. Thèse 3è cycle, Université scientifique et médicale de Grenoble, 128 p.
- GACHET (M.), 1971 - Etude des fluctuations de la faune ripicole macroscopique d'un étang astatique : l'étang de Brié (Isère). Trav. Labo. Hydrobiol., Grenoble : 17-57.
- GACHET (M.), 1982 - La macrofaune ripicole des milieux de lisière du Rhône français. I. Etude physique du milieu. Trav. Labo. Hydrobiol. Grenoble : 59-123.
- GALVIN-CHABRIERE (N.) et CAZAUBON (A.), 1983 - Etude du périphyton d'un secteur pollué d'une rivière varoise : l'Argens. Evolution spatiale du peuplement algal en période d'intense pollution. Annls Limnol., 19(3) : 169-178.
- GARNIER (J.), 1982 - Production primaire d'une sablière (lac de Créteil, Val-de-Marne). Etude de certains facteurs de contrôle. Thèse 3è cycle. Université Pierre et Marie Curie Paris 6: 121 p.
- GAUTHIER (B.), 1982 - Etude physico-chimique et hydrobiologique de la rivière La Fure. Dir. dép. de l'Equipement de l'Isère, Cellule de l'eau : 36 p.
- GIANI (N.), 1983 - Le Riou Mort, affluent du Lot, pollué par métaux lourds. III. Etude faunistique générale. Annls Limnol., 19(1) : 29-43.

- GIANI (N.), 1984 - Le Riou Mort, affluent du Lot pollué par métaux lourds. IV. Etude des oligochètes. Annl. Limnol., 20(3) : 167-181.
- GIUDICELLI (J.), 1968 - Recherches sur le peuplement, l'écologie et la biogéographie d'un réseau hydrographique de la Corse centrale. Thèse d'état. Université Aix-Marseille I : 437 p.
- GIUDICELLI (J.), DIA (A.) et LEGIER (P.), 1980 - Etude hydrobiologique d'une rivière de région méditerranéenne : l'Argens (Var): peuplements invertébrés et distribution longitudinale. B.I.J.D.R. DIERKD, RO : 303-341.
- GOODNIGHT (C.J.) et WHITLEY (L.S.), 1960 - Oligochaetes as indicators of pollution. Wat. Sewage Wks : 107-311.
- GRENIER (S.), DECAMPS (H.) et GIUDICELLI (J.), 1969 - Les larves de Goeridae (Trichoptera) de la faune de France. Taxonomie et Ecologie. Annl. Limnol., 5(2) : 129-161.
- ILLIES (J.) et BOTOSANEANU (L.), 1963 - Problèmes et méthodes de la classification de la zonation écologique des eaux courantes considérées surtout du point de vue faunistique. Mitt. int. Verein. Theor. angew Limnol., 12 : 1-57.
- KIM (K.T.), 1981 - Le phytoplancton de l'étang de Berre : composition spécifique, biomasse et production ; relations avec les facteurs hydrologiques, les cours d'eau afférents et le milieu marin voisin (Méditerranée nord-occidentale). Thèse d'état. Univ. d'Aix-Marseille II : 474 p.
- KIM (K.T.) et TRAVERS (M.), 1985 a - Apports de l'Arc à l'étang de Berre (côte Méditerranéenne française). Hydrologie, caractères physiques et chimiques. Ecol. medit., T.XI(2/3) : 25-40.
- KIM (K.T.) et TRAVERS (M.), 1985 b - Le phytoplancton apporté par l'Arc à l'étang de Berre (côte Méditerranéenne française). Dénombrément, composition spécifique, pigments et adénosine 5' triphosphate. Ecol. medit., T.XI(4) : 3-60.
- LABORATOIRE D'HYDROLOGIE ET MDLYSMOLOGIE AQUATIQUE, 1984 - Qualité chimique des eaux de l'Arc (Bouches-du-Rhône). Faculté de Pharmacie Marseille : 192 p.

- LEGENDRE (P.) et LEGENDRE (L.), 1984 - Ecologie numérique.
1 - Le traitement multiple des données écologiques. 2è édition.
Masson ed. : 260 p. 2 - La structure des données écologiques
2è édition. Masson ed. : 335 p.
- LEGIER (P.), 1979 - Ecologie des ruisseaux temporaires
de Provence et les informations qu'elle apporte sur la
naissance, la maturation et la structure d'un écosystème
d'eau courante. Thèse d'état, Aix-Marseille III : 320 p.
- LEGIER (P.) et TALIN (J.), 1973 - Comparaison des ruisseaux permanents
et temporaires de la Provence calcaire. Annls. Limnol., 9
(3) : 273-292.
- LOISEL (R.), 1976 - La végétation de l'étage méditerranéen dans le Sud-Est
continental français. Thèse d'état, Université d'Aix-Marseille
III : 384 p.
- LOUDIKI (M.), 1985 - Contribution à l'étude des peuplements d'algues des
rivières de montagne de Corse. Communautés des secteurs
naturels et perturbés. Thèse 3è cycle, Université Aix-Marseille
III : 180 p.
- MADARIAGA-MEZA (M.), 1984 - Un ruisseau de basse montagne : le Sonnant
(Isère). Etude de l'influence d'une station d'épuration.
Thèse 3è cycle, USMG, GRENOBLE : 64 p.
- MARGALEF (R.), 1968 - Perspectives in ecological theory. Chicago series
in Biology Univ., Chicago Press (Ed.) London : 111 p.
- MARTINEZ ANSEMIL (E.), 1978 - Structure horizontale des communautés
d'invertébrés d'une rivière méditerranéenne : l'Argens (Var).
Influence du substrat et du courant. Thèse 3è cycle, Aix-
Marseille III : 145 p.
- MAURER (C.), 1985 - Evolution des peuplements de Nématodes en fonction
de la qualité des eaux (Cas de l'Arc). D.E.A. d'Ecologie
méditerranéenne. Université Aix-Marseille III. 38 p.
- MINISTERE DE L'AGRICULTURE, 1974 - Schéma départemental d'aménagement
rural. D.D.A. des Bouches-du-Rhône.

- MORETTI (G.P.) et MEARELLY (M.), 1981 - Ecological profiles in three Rhyacophila species. Proc. of the 3rd Int. Symp. on Trichoptera Series Entomologica, Vol. 20 : 227-230.
- MORETTI (G.P.) et CIANFICIONI (F.), 1977 - The Sericostoma Latr. genus in Italy. Proc. of the 2nd Int. Symp. on Trichoptera, Junk, The Hague : 7-30.
- MOULINS (M.), 1962 - Contribution à l'étude de la faune de France des Plécoptères (Bourgogne, Basses-Alpes). Trav. Lab. Zool. stat. aqu. Grimaldi, Fac. Sc. Dijon, 44 : 1-28.
- MULLER (H.J.), 1976 - Formen der Dormanz bei Insekten als Mechanismen ökologischer Anpassung. Verh. dtsh. Zool. Gesellsch., Dtsch., 69 : 46-58.
- NISBET (M.) et VERNEAUX (J.), 1970 - Composantes chimiques des eaux courantes. Discussion et proposition de classes en tant que bases d'interprétation des analyses chimiques. Annls. Limnol., 6(2) : 161-190.
- DLMI (M.), 1978 - Guide per il riconoscimento delle specie animali delle acque interne italiane. 2 : Dryopidi, Elminthidi. Consiglio Nazionale delle Ricerche : 71 p.
- ORSINI (A.), 1986 - Influence du couvert végétal du bassin versant sur les caractéristiques thermiques, chimiques et biologiques des cours d'eau de Corse. Thèse de Doctorat de l'Université d'Aix-Marseille III : 230 p.
- PENNAK (R.W.), 1951 - Comparative ecology of the interstitial fauna of freshwater and marine beaches. Année Biol., 27 (6) : 451-480.
- PLAYOUST (C.), 1984 - Hydrobiologie du réseau hydrographique de l'Arc. D.E.A. d'écologie méditerranéenne, Aix-Marseille III : 30p.
- PREVOT (R.), 1984 - Hydrobiologie de la Moyenne Durance. Etude des différents milieux et de leurs peuplements de macro-invertébrés. Thèse 3è cycle, Aix-Marseille III : 179 p.
- RAMADE (F.), 1982 - Eléments d'écologie. Ecologie appliquée. Mac Graw Hill, Paris : 452 p.
- RAMADE (F.), COSSON (R.), ECHAUBARD (M.), LEBRAS (S.), MORETEAU (J.C.) et TYBAUD (E.), 1984 - Détection de la pollution des eaux en milieu agricole. Bull. Ecol., T.15, 1 : 21-37.

- REPELIN (J.), 1914 - Les Bouches-du-Rhône. Encyclopédie départementale, 12 : 53-237.
- RODIER (J.), 1984 - L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer. 7è édition, Ed. Dunod, Paris. 1365 p.
- SALMAN (A.), 1979 - Etude écologique d'un ruisseau de plaine : le Fontanil. Thèse 3è cycle, USMG, Grenoble : 122 p.
- SARACENI (C.), RUGGIU (D.) et NAKANISHI (M.), 1978 - Phytoplankton dynamics chlorophylla and phaeophytin in Lago di Mergozzo (Northern Italy). Mem. Ist. Ital. Idrobiol., 36 : 215-237.
- SCOR-U.N.E.S.C.O., 1966 - Determination of photosynthetic pigments in seawater. Report of SCOR-UNESCO working group 17 (Paris). Monographs on Oceanographic Methodology, 1 : 69 p.
- SEGUIER (J.), 1981 - Etude des relations entre les écosystèmes de sources, de ruisseaux et de marais dans un complexe limnique du nord de la Crau (Bouches-du-Rhône). Thèse 3è cycle. Université d'Aix-Marseille III. 246 p.
- SLADECEK (V.), 1973 - System of water quality from the biological point of view. Ergebnisse der Limnologie : 7-218.
- THEOWALD (B.), 1978 - Tipulidae und Cylindrotomidae. Limnofauna Europaea, Ed. Gustav Fischer Verlag : 364-366.
- UTERMOHL (H.), 1958 - Zur Vervollkommung les quantitaven phytoplankton. Methodik. Mitt. int. Verein. Theor. angew. Limnol., 9 : 1-38.
- VAILLANT (F.), 1954 - Recherches sur la faune macrique de France, de Corse et d'Afrique du Nord. Thèse d'état, La Sorbonne, Paris. 252 p.
- VAILLANT (F.), 1983 - Sur les insectes Diptères Dolichopodidae de la sous-famille des Rhamphinae. Comptes rendus du 108è Congrès national des sociétés savantes, Grenoble, II : 269-280.
- VERNEAUX (J.), 1973 - Cours d'eau de Franche-Comté (Massif du Jura). Recherches écologiques sur le réseau hydrographique du Doubs. Essai de biotypologie. Thèse Doct. ès Sciences, Univ. Besançon : 257 p.

- VERNEAUX (J.), FAESSEL (B.) et MALESIEUX (G.), 1977 - Note préliminaire à la proposition de nouvelles méthodes de détermination de la qualité biologique des eaux courantes. C. Hydrobiol. Univ. Besançon, Lab. Hydro. Ecol. CTGREF : 8 p.
- VESPINI (F.), 1985 - Contribution à l'étude hydrobiologique du Buëch, rivière non aménagée de Haute Provence. Suivi d'une charge organique faible et mesure de ses effets sur les composantes physiques, chimiques et biologiques de l'écosystème. Thèse 3è cycle, Aix-Marseille I : 148 p.
- VESPINI (F.), LEGIER (P.), CHAMPEAU (A.), 1987 - Ecologie d'une rivière non aménagée des Alpes du Sud : le Buëch (France). I - Evolution longitudinale des descripteurs physiques et chimiques. Annls Limnol. : 23 (2) : 151-164.
- WATANABE (T.), 1985 - Etude de la relation entre le périphyton et la qualité chimique de l'eau des rivières : utilisation de bio-essais "in situ" (substrats artificiels) pour caractériser l'état de pollution des eaux. Thèse de Doctorat de l'Université Paul Sabatier.
- ZELINKA (M.) et MARVAN (P.), 1961 - Zur Prazisierung der biologischen Klassifikation der Reinheit fließender Gewässer. Arch. Hydrobiol. Stuttgart. März., 57(3) : 389-407.

ANNEXES

I - METHODES D'ETUDE DES CARACTERISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES

Les mesures in situ des descripteurs abiotiques, ainsi que les prélèvements d'eau destinés aux analyses en laboratoire, ont été effectués parallèlement à l'échantillonnage de la faune benthique.

Mesures in situ

- Les relevés de température de l'eau (en degré Celsius), de conductivité (en micro-Siemens/cm) de pH et d'oxygène dissous (en ppm) sont effectués sur le terrain à l'aide d'un appareil multisonde (HORIBA U7). Les valeurs d'oxygène dissous sont ensuite converties en pourcentage de saturation grâce à l'abaque de Mortimer.
- La vitesse du courant est mesurée à l'aide d'un courantomètre (Micro-moulinet O.T.T.).

Mesures au laboratoire

L'analyse des échantillons d'eau a permis, après filtration sur filtre WHATMAN G.F.C. 1,2 µm et sur filtre millipore 0,45 µm, de doser 14 éléments selon les méthodes suivantes :

- D.B.O.5 - (en mg/l d'O₂). La quantité d'oxygène du milieu naturel est mesurée immédiatement après le prélèvement, et après un temps d'incubation de 5 jours à 20° C. La différence entre les 2 mesures correspond à la consommation d'oxygène liée à la dégradation des substances organiques par les processus biologiques.
- Chlorures - (en mg/l de Cl⁻). Dosage par la méthode au nitrate mercurique (RODIER, 1978).
- Calcium - (en mg/l de Ca⁺⁺). Dosage par complexométrie à l'E.D.T.A. en présence de murexide.
- Magnésium - (en mg/l de Mg⁺⁺). Evalué par différence entre le dosage de la dureté totale (réalisé par complexométrie à l'E.D.T.A. en présence de noir ériochrome T) et celui du calcium
- Alcalinité - (en mg/l de HCO₃⁻). Dosage volumétrique à l'acide chlorhydrique en présence de vert de méthyle et rouge de crésol à un pH de 4,5.

Sulfates - (en mg/l de SO_4^{--}). Dosage gravimétrique. (Précipitation des sulfates par le chlorure de Baryum).

Oxydabilité - (en mg d' O_2 par litre). Dosage par manganimétrie à froid en milieu acide, et manganimétrie à chaud en milieu alcalin.

Matières en suspension - (en mg/l). Elles sont recueillies par filtration sur filtre WHATMAN 1,2 μm . La perte au feu permet de déterminer les fractions minérales et organiques.

Substances azotées. Dosages réalisés sur Technicon (auto-analyser II).

- Nitrites - (en mg/l de NO_2^-). Dosage par diazotation de la sulfamide en milieu acide, et sa réaction avec la N- Naphtyl - éthylène diamine donnant un complexe rose violacé.
- Nitrates - (en mg/l de NO_3^-). Dosage par réduction des nitrates en nitrites sur une colonne Cadmium - cuivre.
- Azote ammoniacal - (en mg/l de NH_4^+). Dosage par la méthode dite "au bleu d'indophénol" (en présence d'un catalyseur, le nitrate de sodium, l'ion NH_4^+ réagit avec le chlore et le salicylate en milieu basique pour donner une coloration bleue).

Orthophosphates dissous - (en mg/l de PO_4^{3-}). Dosage selon la méthode de DENIGES et ATKINS après filtration de l'échantillon sur filtre millipore 0,45 μm .

II - ECHANTILLONNAGE ET METHODES D'ETUDE DE LA FLORE ALGALE

Trois communautés d'Algues ont été échantillonnées :

1 - LES ALGUES EPILITHIQUES

Des galets à surface plane de 5 à 10 cm de diamètre sont prélevés dans le lit de la rivière. Les cellules algales sont obtenues ensuite par grattage au scalpel de la partie supérieure du caillou sur une superficie de 1 à 4 cm^2 ; elles sont conservées dans de l'eau formolée. Une fraction de cette eau constitue l'échantillon traité ultérieurement.

2 - LES ALGUES PERIPHYTIQUES AU SENS LARGE

Des cylindres en polyvinyl de chlorure recouverts d'un film plastique transparent (polyéthylène) sont arrimés dans le lit de la rivière ;

ils sont munis d'un flotteur qui les maintient en position verticale. Le film plastique est prélevé après 1, 2, ou 3 semaines d'immersion, et fixé dans de l'eau formolée. Les algues sont obtenues, comme précédemment, par grattage d'une surface déterminée.

3 - LES ALGUES EN DERIVE

Deux échantillons d'eau de 1,5 litre chacun sont prélevés dans la rivière. L'un deux, destiné au comptage des algues, est fixé au formol à 5 % ; l'autre destiné au dosage des pigments chlorophylliens, est conservé au frais et à l'obscurité.

Pour chaque communauté algale, 3 types d'opérations sont réalisées :

1 - Détermination et comptage des algues

Un premier échantillon (cellules algales en suspension dans l'eau) est traité à chaud en présence d' H_2O_2 à 120 volumes et d' HCl (méthode de COSTE, 1978) pour éliminer la matière organique en vue de faciliter l'identification des Diatomées.

Un second échantillon est destiné à la détermination et au comptage des cellules selon la technique d'UTERMOHL (1958).

Les déterminations et le comptage sont faits au microscope inversé ; les résultats sont exprimés en nombre de cellules au litre.

2 - Dosage des pigments chlorophylliens

Un volume connu et homogénéisé d'échantillon est filtré sur filtre WHATMAN G.F.C. 1,2 μm . L'extraction des pigments se fait par immersion du filtre dans de l'acétone à 90 % pendant 24 h à l'obscurité et au frais.

On réalise la mesure des densités optiques de l'extrait acétonique au spectrophotomètre à 750 nm, 665 nm, avant et après acidification à 645 et 630 nm.

Le calcul des concentrations en chlorophylle a, b et c est effectué à l'aide des équations proposées par le groupe de travail n° 17 de S.C.O.R. - U.N.E.S.C.O. (1966).

3 - Estimation des biomasses à partir des biovolumes

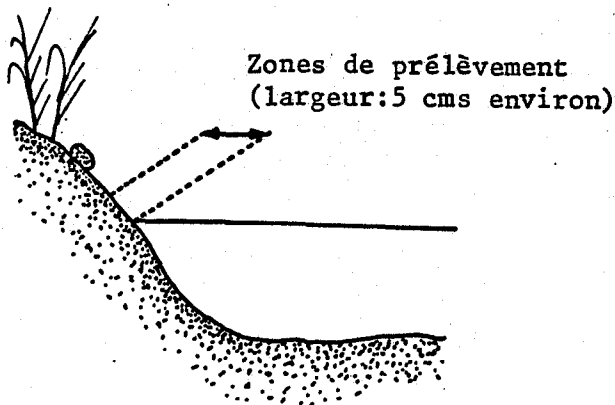
Le biovolume de chaque espèce est établi en multipliant le nombre de cellules comptées par le volume cellulaire (le volume cellulaire est estimé en ramenant la forme de l'algue à une figure géométrique connue dont les dimensions sont les mensurations moyennes de l'espèce considérée).

L'estimation de la biomasse est obtenue à partir des biovolumes : la densité des algues planctoniques avoisinant 1,1 mg correspond à un biovolume de $10^9 \mu\text{m}^3$ (CAPBLANCQ, 1982).

III - ECHANTILLONNAGE ET EXTRACTION DE LA FAUNE RIPICOLE AQUATIQUE

La faune des Invertébrés ripicoles a été récoltée simultanément à la faune benthique au cours d'un cycle annuel (tous les 2 mois de septembre 84 à juillet 85), dans 9 stations : 4 sur l'Arc (A2, A3, A4, A9) et 5 sur les affluents (B1, B2, B3, B7, B8). Au total, 162 prélèvements ont été effectués pour un cycle d'un an.

Dans chaque station et lors de chaque prélèvement 3 échantillons sont réalisés au niveau de l'écotone eau-terre. Le milieu prospecté correspond à la zone émergée, humide, située à la limite d'affleurement de l'eau (figure ci-contre) ; composé d'une mosaïque plus ou moins complexe de micromilieus, il est défini par sa végétation, sa granulométrie, la qualité de l'eau.



Nous avons pu ainsi établir un certain nombre de microhabitats : limon, sable, terre, graviers, argiles, cailloux, végétation (Bryophytes), racines, débris végétaux (branchettes et feuilles mortes) dont la fréquence d'échantillonnage au sein de chaque station est indiquée dans le tableau ci-après.

Il est à noter que pour certains micromilieus l'intrication de 2 ou plusieurs éléments est telle qu'il est impossible de les dissocier, de même lorsqu'on récolte de la matière végétale vivante on ne peut

en séparer la fine pellicule de sol sous-jacente.

Chaque échantillon correspond à une surface de 800 cm² de plage émergée pour une profondeur de 2 cm ; il est obtenu à l'aide d'une pelle plate lorsque les conditions le permettent, avec un outil tranchant lorsque la végétation et plus particulièrement les racines le rendent nécessaire. L'ensemble représente un volume de 1600 cm³ calibré à l'aide d'un récipient échantillonneur de forme rectangulaire (dimensions : 20 x 10 x 8 cm).

Pour l'extraction de la faune nous avons utilisé la méthode du diptérologue H.J. YUNG (VAILLANT com. verb.) : l'échantillon est étalé sur un grillage posé sur une cuvette contenant de l'eau. Au fur et à mesure du dessèchement du substrat (sans utilisation de chaleur comme dans la méthode de BERLESE), les animaux tombent dans la cuvette et sont recueillis et conservés dans de l'alcool à 70°.

وزارة التعليم العالي
المعهد الوطني للبحوث والدراسات
البيولوجية

	ARGILES	LIMON	SABLE	TERRE (matière organique)	GRAVIERS	CAILLOUX	BRYOPHYTES	RACINES	DEBRIS VEGETAUX
POURCIEUX (A2)	10	5	29	5	22	10	7	0	12
MARIUS (A3)	6	10	50	4	4	0	10	4	12
ROUSSET (A4)	5	21	2	20	12	2	5	26	7
BERRE (A9)	0	66	14	0	4	0	2	0	14
AUBANEDE (B1)	7	13	18	9	9	7	24	2	11
BAYEUX (B2)	39	3	0	0	0	0	25	3	30
CAUSE (B3)	0	28	3	8	0	3	11	3	44
JOUDNE (B7)	0	11	3	39	5	3	25	11	3
GRAND TORRENT (B8)	5	0	25	8	10	10	30	0	12

Frequence(en %) des divers microhabitats échantillonnés dans chaque station.

IV - ECHANTILLONNAGE DE LA FAUNE BENTHIQUE

Des prélèvements quantitatifs ont été réalisés dans 14 stations- 7 d'entre elles sont situées sur l'Arc (A2, A3, A4, A5, A6, A7, A9) et 8 sur ses affluents (B₁ à B₈) - tous les 2 mois pendant 2 ans. Seules les 9 dernières campagnes sont retenues pour cette étude (mars 84 à juillet 85), les premiers résultats étant exposés dans mon mémoire de D.E.A. (PLAYOUST, 1985).

Au niveau de chaque station, quatre relevés sont effectués de façon à échantillonner la faune correspondant aux divers couples vitesse-substratum selon le protocole préconisé par VERNEAUX et al (1977). Le filet Surber utilisé (vide de maille : 0,3 mm) permet la récolte de la faune sur 0,1 m² de substrat par prélèvement.

Des récoltes qualitatives ponctuelles d'invertébrés aquatiques ont été réalisées dans chaque station au cours des quatre saisons afin de compléter l'inventaire quantitatif. (utilisation de pinces souples, de filet troubleau et de filet à insectes). L'utilisation de pièges lumineux s'est révélé nécessaire dans certains cas pour l'obtention d'imagos aériennes.

milieu où l'espèce
a été récoltée *

TRICLADES

DUGESIIDAE

- Dugesia gonocephala* (DUGES) A, R
Dugesia lugubris (SCHMIDT) R

PLANARIIDAE

- Polycelis felina* (DALY.) A

DENDROCOELIDAE

- Dendrocoelum lacteum* (MULLER) A

NEMATHELMINTHES

NEMATODES

A, R

GORDIACES

- Gordius aquaticus* L. A, R

ANNELIDES

OLIGOCHETES

HAPLOTAXIDAE

- Haplotaxis gordioides* (HARTMANN) A, R

LUMBRICULIDAE

R

- Lumbriculus variegatus* (MULLER) A
Stylodrilus lemni (GRUBE) A
Stylodrilus parvus (HRABE ET CERNOSVITOV) A
Trichodrilus allobrogum CLAPAREDE A

NAIDIDAE

R

- Chaetogaster diaphanus* (GRUITHUISEN) A
Ophidonais serpentina (MULLER) A
Nais barbata MULLER A
Nais christinae KASPRZAK A
Nais communis FIGUET A
Nais elinguis MULLER A
Nais pardalis FIGUET A
Stylaria lacustris (L.) A

TUBIFICIDAE

R

- Tubifex tubifex* (MULLER) A
Limnodrilus claparedeanus RATZEL A
Limnodrilus offmeisteri CLAPAREDE A
Limnodrilus profundicola (VERILL) A
Limnodrilus udekemianus CLAPAREDE A
Limnodrilus sp. A

* A : milieu aquatique ; R : rives émergées

<i>Psammoryctides barbatus</i> (GRUBE)	A
<i>Potamotheirus bavaricus</i> (OSCHMANN)	A
<i>Potamotheirus heuschleri</i> (BRETSCHER)	A
<i>Potamotheirus hammoniensis</i> (MICHAELSEN)	A
<i>Aulodrilus plurisetus</i> (PIGUET)	A
<i>Rhyacodrilus coccineus</i> (VEJDOVSKY)	A
<i>Rhyacodrilus</i> sp.	A
<i>Bothrioneurum vejdovskyanum</i> STOLC	A
<i>Branchiura sowerbyi</i> BEDDARD	A, R
ENCHYTRAEIDAE	R
<i>Enchytraeus</i> sp.	A
<i>Lumbricillus rivalis</i> (LEVINSEN)	A
<i>Lumbricillus</i> sp.	A
<i>Marionina riparia</i> (BRETSCHER)	A
<i>Fridericia</i> sp.	A
LUMBRICIDAE	
<i>Eiseniella tetraedra</i> (SAVIGNY)	A, R
ACHETES	
GLOSSIPHONIIDAE	
<i>Glossiphonia complanata</i> (L.)	A, R
<i>Glossiphonia heteroclita</i> (L.)	A
<i>Helobdella stagnalis</i> (L.)	A, R
<i>Hemiclepsis marginata</i> (O.F. MULLER)	A
PISCICOLIDAE	
<i>Piscicola geometra</i> (L.)	A
HIRUDIDAE	
<i>Hirudo medicinalis</i> L.	A
ERPOBDELLIDAE	
<i>Erpobdella octoculata</i> (L.)	A, R
MOLLUSQUES	
GASTEROPODES	
HYDROBIIDAE	
<i>Potamopyrgus jenkensi</i> SMITH	A, R
BYTHINELLIDAE	
<i>Bythinella</i> sp.	A, R
BITHYNIIDAE	
<i>Bithynia</i> sp.	A
PHYSIDAE	
<i>Physa acuta</i> DRAP.	A, R
LYMNAEIDAE	
<i>Lymnaea peregra</i> MULLER	A, R
PLANORBIDAE	
<i>Planorbis</i> sp.	A

ANCYLIDAE	
<i>Ancylus fluviatilis</i> MULLER	A, R
LAMELLIBRANCHES	
SPHAERIIDAE	
<i>Pisidium subtruncatum</i> MALM.	A, R
HYDRACARIENS	A, R
CRUSTACES	
ISOPODES	
ASELLIDAE	
<i>Asellus aquaticus</i> L.	A, R
AMPHIPODES	
GAMMARIIDAE	
<i>Gammarus fossarum</i> KOCH	A
<i>Gammarus pulex</i> L.	A, R
OSTRACODES	A, R
DECAPODES	
ASTACIDAE	
<i>Austropotamobius pallipes</i> LEREB	A
INSECTES	
EPHEMEROPTERES	
BAETIDAE	
<i>Baetis lutheri</i> MULLER LIBENAU	A
<i>Baetis muticus</i> L.	A
<i>Baetis rhodani</i> PICTET	A, R
<i>Baetis sinicus</i> BOG.	A
<i>Baetis</i> sp.	A
<i>Cloeon</i> sp.	A
<i>Procloeon bifidum</i> BGTSS.	A
HEPTAGENIIDAE	
<i>Ecdyonurus</i> sp.1 (gr. <i>helveticus</i> ou <i>venosus</i>)	A
<i>Ecdyonurus</i> sp.2	A
<i>Heptagenia</i> sp.	A
EPHEMERELLIDAE	
<i>Ephemerella ignita</i> PODA	A
CAENIDAE	
<i>Caenis</i> sp.1 (gr. <i>macrura</i>)	A
<i>Caenis</i> sp.2	A
<i>Caenis luctuosa</i> BURM.	A
LEPTOPHLEBIIDAE	
<i>Habrophlebia fusca</i> CURT.	A, R

EPHEMERIDAE	
<i>Ephemera danica</i> MULLER	A, R
PLECOPTERES	
NEMOURIDAE	
<i>Nemoura cinerea</i> RETZ.	A, R
<i>Nemoura</i> sp.	A
<i>Protonemura intricata</i> RIS	A
LEUCTRIDAE	
<i>Leuctra albida</i> KMP.	A
<i>Leuctra geniculata</i> STEPH.	A, R
<i>Leuctra</i> sp.	A
CAPNIIDAE	
<i>Capnia bifrons</i> NEWM.	A
<i>Capnia nigra</i> PICTET	A
PERLODIDAE	
<i>Dictyogenus ventralis</i> PICTET	A
<i>Isoperla grammatica</i> PODA	A
<i>Perlodidae</i> (larvules)	A
PERLIDAE	
<i>Perla marginata</i> PZ.	A
ODONATES	
CALOPTERYGIDAE	
<i>Calopteryx splendens</i> (HARRIS)	A, R
<i>Calopteryx virgo</i> (L.)	A
LESTIDAE	
<i>Sympecma fusca</i> (LINDEN)	A
<i>Lestes sponsa</i> (HANSEMANN)	A
<i>Lestes viridis</i> (LINDEN)	A
<i>Lestidae</i> (larvules)	A
PLATYCNEMIDIDAE	
<i>Platycnemis latipes</i> RAMBUR	A, R
COENAGRIONIDAE	
<i>Pyrrosoma nymphula</i> (SULZER)	A
<i>Coenagrion coerulescens</i> (FONSC.)	A
<i>Coenagrion mercuriale</i> (CHARP.)	A
<i>Coenagrion lindeni</i> SELYS	A
AESHNIDAE	
<i>Boyeria irene</i> (FONSC.)	A
<i>Aeshna affinis</i> LINDEN	A
<i>Aeshna cyanea</i> (MULLER)	A
<i>Anax parthenope</i> SELYS	A
GOMPHIDAE	
<i>Gomphus pulchellus</i> SELYS	A
<i>Gomphus</i> sp.	A
<i>Onychogomphus uncatu</i> (CHARP.)	A, R

CORDULEGASTERIDAE

- Cordulegaster bidentatus* SELYS A
Cordulegaster boltoni (DONOVAN) R
Cordulegaster annulatus LATREILLE A

CORDULIIDAE

- Somatochlora metallica* (LINDEN) A

LIBELLULIDAE

- Libellula fulva* MULLER A, R
Orthetrum sp. A
Crocothemis erythraea BRULLE A
Sympetrum vulgatum (L.) A

HETEROPTERES

NEPIDAE

- Nepa cinerea* L. A, R

NOTONECTIDAE

- Anisops sardea* H.-S. A
Notonecta maculata F. A

PLEIDAE

- Plea leachi* MC GREG. et KIRK. A

GERRIDAE

- Gerris thoracicus* SCHUMM. A

HYDROMETRIDAE

- Hydrometra stagnorum* (L.) A

VELIIDAE

- Microvelia pygmaea* (DUF.) A
Velia caprai TAM. A, R

COLEOPTERES

GYRINIDAE

- Orectochilus villosus* MULLER A

HYGROBIIDAE

- Hygrobia tarda* HERBST A

HALIPLIDAE

- Haliphus lineatocollis* MARSHAM A, R
Haliphus sp. A, R

NOTERIDAE

- Noterus laevis* STURM A

LACCOPHILIDAE

- Laccophilus hyalinus* (DEG.) R

HYDROPORIDAE

- Bidessus minutissimus* (G.) R

<i>Hydroporus pubescens</i> (GYLL.)	A
<i>Hydroporus tessellatus</i> DRAP.	A, R
<i>Hydroporus</i> sp.	A
<i>Graptodytes varius</i> (AUBE)	A
<i>Scarodytes halensis</i> (FABR.)	A
<i>Scarodytes</i> sp.	A
<i>Stictotarsus duodecimpustulatus</i> (FABR.)	A, R
<i>Stictonectes lepidus</i> (OLIV.)	A, R
<i>Deronectes moestus</i> FAIRM	A
<i>Potamonectes</i> sp.	A
COLYMBETIDAE	
<i>Platambus maculatus</i> (L.)	A
DYTISCIDAE	
<i>Dytiscus piscinus</i> CASTE	A
<i>Cybister lateralmarginalis</i> DEG.	R
<i>Agabinectes didymus</i> OLIVIER	A, R
HYDRAENIDAE	
<i>Phothydraena testacea</i> CURTIS	R
<i>Hydraena subdepressa</i> REY	R
<i>Hydraena</i> sp.1	A, R
<i>Hydraena</i> sp.2	A, R
OCHTHEBIIDAE	
<i>Asiobates</i> sp.	A, R
HYDROCHIDAE	
<i>Hydrochus grandicollis</i> KIESW.	R
HELOPHORIDAE	
<i>Helophorus</i> sp.	R
HYDROBIIDAE	
<i>Paracymus</i> sp.	R
<i>Hydrobius fuscipes</i> L.	R
<i>Anacaena bipustulata</i> MARSH	R
<i>Anacaena globulus</i> PAYK.	R
<i>Anacaena limbata</i> FABR.	R
<i>Laccobius</i> sp.	A, R
HYDROPHILIDAE	
<i>Hydrophilus</i> sp.	R
LIMNEBIIDAE	
<i>Limnebius</i> sp.	R
PSEPHENIDAE	
<i>Eubria palustris</i> GERMAR	A
DRYOPIDAE	
<i>Dryops luridus</i> ERICHSON	A, R
<i>Dryops lutulentus</i> ERICHSON	A

<i>Dryops rufipes</i> KRYNICKI	R
<i>Dryops</i> sp.	A, R
<i>Helichus substriatus</i> PH. MULLER	A, R
ELMIDAE	
<i>Elmis aenea</i> PH. MULLER	A, R
<i>Elmis maugetii</i> LATREILLE	A, R
<i>Esolus parallelepipedus</i> MULLER	A, R
<i>Esolus</i> sp.	A, R
<i>Limnius intermedius</i> FAIRMAIRE	A, R
<i>Limnius volckmari</i> PANZER	A, R
<i>Oulimnius troglodytes</i> GYLL.	A, R
<i>Oulimnius</i> sp.	A
<i>Riolus cupreus</i> PH. MULLER	A
<i>Riolus subviolaceus</i> PH. MULLER	A
<i>Riolus</i> sp.	A, R
<i>Stenelmis semicanaliculata</i> GYLL.	A
HELODIDAE	
<i>Helodes</i> sp.	A, R
<i>Hydrocyphon</i> sp.	A
MEGALOPTERES	
SIALIDAE	
<i>Sialis lutaria</i> L.	A
PLANNIPENNES	
OSMYLIDAE	
<i>Osmylus fulvicephalus</i> SCOP.	A, R
TRICHOPTERES	
RHYACOPHILIDAE	
<i>Rhyacophila dorsalis</i> CURTIS	A
GLOSSOSOMATIDAE	
<i>Agapetus cravensis</i> GIUDICELLI	A
HYDROPTILIDAE	
<i>Hydroptila vectis</i> CURTIS	A, R
<i>Hydroptila</i> sp.	A, R
<i>Agraylea sexmaculata</i> CURTIS	A
PHILOPOTAMIDAE	
<i>Philopotamus variegatus</i> SCOP.	A, R
<i>Wormaldia occipitalis</i> PICTET	A, R
HYDROPSYCHIDAE	
<i>Hydropsyche dissimulata</i> KUM. ET BOTS.	A
<i>Hydropsyche pellucidula</i> CURTIS	A, R
<i>Hydropsyche siltalai</i> DOHLER	A, R
POLYCENTROPODIDAE	
<i>Plectrocnemia</i> sp.	A
<i>Polycentropus flavomaculatus</i> PICTET	A, R

PSYCHOMYIDAE

<i>Psychomyia pusilla</i> FBR.	A, R
<i>Lype reducta</i> HAGEN	A, R
<i>Metalype fragilis</i> PICTET	A
<i>Tinodes maclachlani</i> KIMMINS	A
<i>Tinodes</i> sp.	A

PHRYGANEIDAE

A

LIMNEPHILIDAE

<i>Limnephilini</i> sp.	A, R
<i>Stenophylacini</i> sp.	}
<i>Chaetopterygini</i> sp.	
	A

GOERIDAE

<i>Silo nigricornis</i> PICTET	A
--------------------------------	---

LEPTOCERIDAE

<i>Mystacides azurea</i> L.	A
-----------------------------	---

SERICOSTOMATIDAE

<i>Sericostoma galeatum</i> RAMB.	A, R
-----------------------------------	------

DIPTERES

TIPULIDAE

<i>Ctenophora pectinicornis</i> L.	A, R
<i>Ctenophora</i> sp.1	A, R
<i>Ctenophora</i> sp.2	R
<i>Ctenophora</i> sp.3	R
<i>Tipula lateralis</i> MEIGEN	A, R
<i>Tipula</i> sp.1	A, R
<i>Tipula</i> sp.2	R
<i>Tipula</i> sp.3	R
<i>Tipula</i> sp.4	A, R
<i>Tipula</i> sp.5	R

LIMONIIDAE

<i>Dicranomyia mitis</i> MEIGEN	R
<i>Antocha vitripennis</i> MEIGEN	A
<i>Dicranota</i> sp.	A, R
<i>Paradelphomyia senilis</i> HALID.	R
<i>Pseudolimnophila lucorum</i> MEIGEN	R
<i>Eloeophila</i> sp.	R
<i>Phylidorea lineola</i> MEIGEN	R
<i>Phylidorea</i> sp.	A, R
<i>Pilaria discicollis</i> MEIGEN	A, R
<i>Neolimnomyia nemoralis</i> MEIGEN	R
<i>Hexatoma bicolor</i> MEIGEN	A, R
<i>Erioptera lutea</i> MEIGEN	A, R
<i>Erioptera</i> sp.	R
<i>Eriopterini</i> sp.	R
<i>Scleroprocta</i> sp.	A
<i>Cheilotrichia</i> sp.	R
<i>Ormosia</i> sp.	A, R
<i>Molophilus</i> sp.	A, R

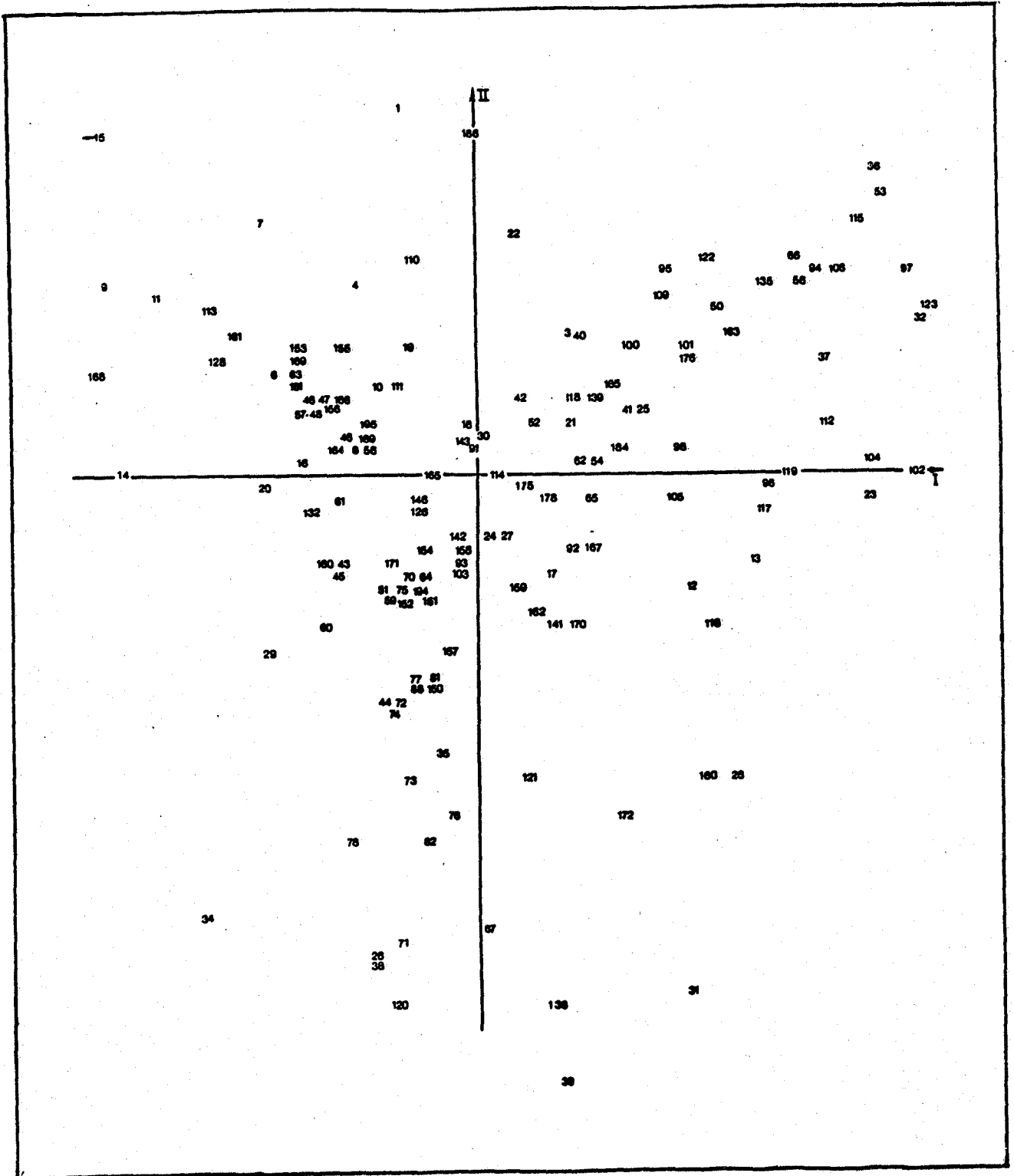
<i>Gonomyia lucidula</i> DE MEIJ.	R
<i>Idiocera lateralis</i> MACQ.	R
<i>Austrolimnophila</i> sp.	R
PSYCHODIDAE	
<i>Pericoma blandula</i> EATON	A
<i>Pericoma fallax</i> EATON	A
<i>Pericoma trifasciata</i> (MEIGEN)	A
<i>Satchelliella trivialis</i> (EATON)	A
<i>Jungiella parvula</i> (VAILLANT)	A
<i>Peripsychoda auriculata</i> (CURTIS)	A
<i>Psychoda alternata</i> SAY	A
<i>Psychoda cinerea</i> BANKS	A
<i>Psychoda</i> sp.	A
<i>Psychodidae</i> sp.1	A, R
<i>Psychodidae</i> sp.2	A
DIXIDAE	
<i>Dixa maculata</i> MEIGEN	A
<i>Dixa nebulosa</i> MEIGEN	A, R
<i>Dixa</i> sp.	A
SIMULIIDAE	
<i>Eusimulium aureum</i> (FRIES)	A, R
<i>Wilhelmia equina</i> (L.)	A
<i>Wilhelmia pseudequina</i> PURI	A
<i>Tetisimulium bezzii</i> (CORTI)	A
<i>Simulium gaudi</i> GREN. et FAURE	A
<i>Simulium nitidifrons</i> (EDW.)	A
<i>Simulium ornata</i> (MEIGEN)	A
CHIRONOMIDAE	
<i>Tanypodinae</i>	A, R
<i>Orthocladiinae</i>	A, R
<i>Corynoneura</i> sp.1	A
<i>Corynoneura</i> sp.2	A
<i>Chironomini</i> sp.	A, R
<i>Chironomus</i> sp.1 (gr. <i>riparius</i>)	A
<i>Chironomus</i> sp.2 (gr. <i>plumosus</i>)	A
<i>Tanytarsini</i> sp.	A, R
CERATOPOGONIDAE	
<i>Ceratopogonidae</i> (gr. <i>vermiforme</i>)	A, R
<i>Ceratopogonidae</i> (gr. <i>dasyhelea</i>)	A
<i>Atrichopogon</i> sp.	A
THAUMALEIDAE	
<i>Thaumalea</i> sp.	A
STRATIOMYIDAE	
<i>Beris vallata</i> (FORST.)	A
<i>Odontomyia</i> sp.	R
<i>Oxycera pardalina</i> MEIGEN	A, R
<i>Oxycera</i> sp.1	R
<i>Oxycera</i> sp.2	R
EMPIDIDAE	
<i>Atalantinae</i> sp.	A, R

<i>Hemerodromiinae</i> sp.1	A
<i>Hemerodromiinae</i> sp.2	A
<i>Hemerodromiinae</i> sp.3	A, R
DOLICHOPODIDAE	
<i>Hydrophorus</i> sp.	R
<i>Liancalus virens</i> (SCOP.)	A, R
<i>Dolichopodidae</i> sp.1	A, R
<i>Dolichopodidae</i> sp.2	R
TABANIDAE	
<i>Chrysops</i> sp.	A, R
<i>Tabanus maculicornis</i> ZETT.	A, R
<i>Tabanus</i> sp.	A, R
ATHERICIDAE	
<i>Atherix ibis</i> F.	A
<i>Atrichops crassipes</i> MEIGEN	A, R
RHAGIONIDAE	
<i>Chrysopilus auratus</i> F.	R
SYRPHIDAE	
<i>Syrphidae</i> sp.1	R
<i>Syrphidae</i> sp.2	R
EPHYDRIDAE	
<i>Ephydriidae</i> sp.1	R
<i>Ephydriidae</i> sp.2	A, R
<i>Ephydriidae</i> sp.3	R
<i>Ephydriidae</i> sp.4	R
<i>Ephydriidae</i> sp.5	R
<i>Hydrellia</i> sp.	A, R
ANTHOMYIDAE	
<i>Melanocheilia</i> sp.	A, R
SCIARIDAE	
	R
CECIDOMYIDAE	
	R

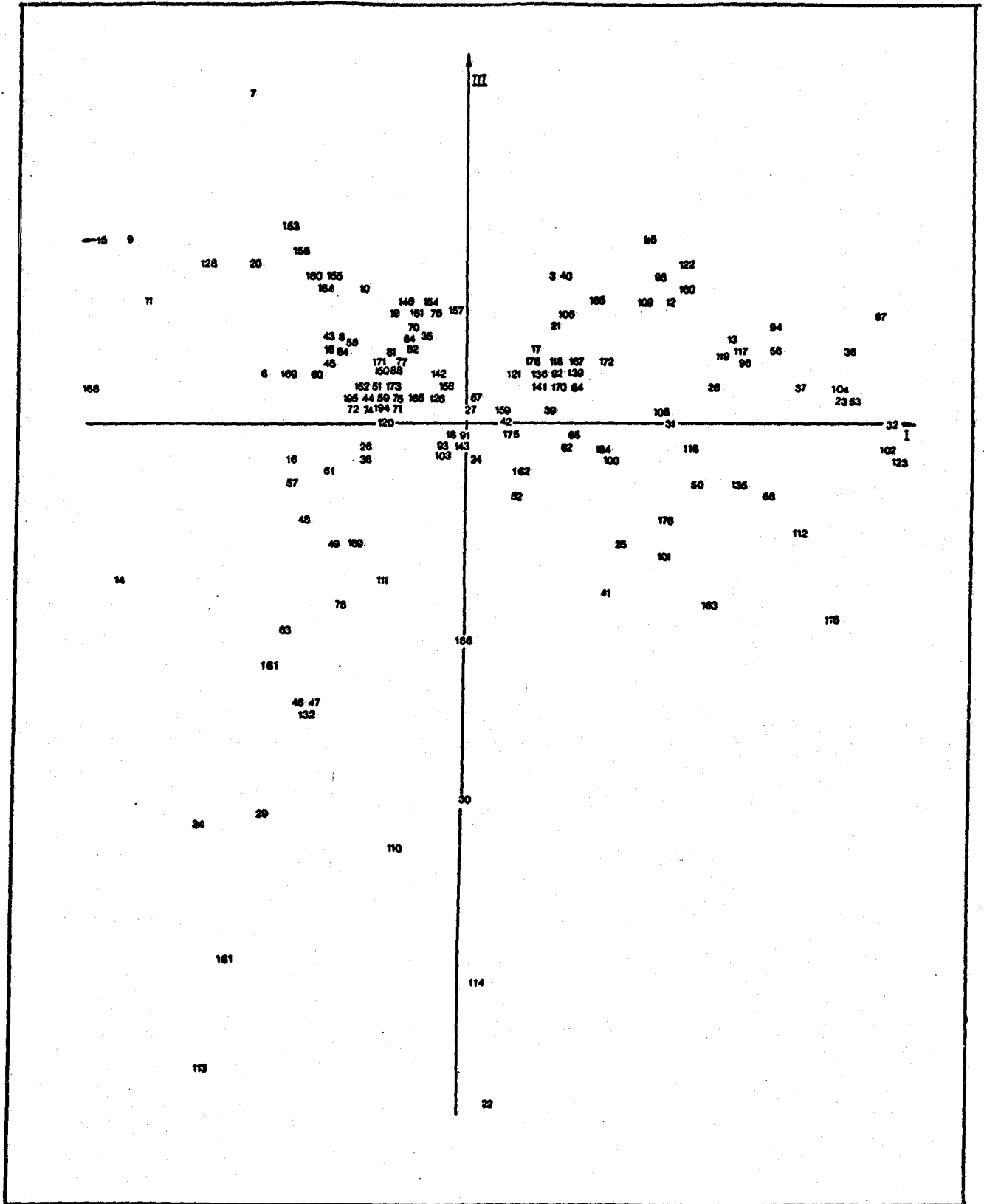
ANNEXE V - 1- CODAGE DES TAXONS

1	<i>Dugesia gonocephala</i>	67	<i>Haliplus lineatocollis</i>	133	<i>Tipula</i> sp.5
2	<i>Dugesia lugubris</i>	68	<i>Haliplus</i> sp.	134	<i>Dicranomyia mitis</i>
3	<i>Polycelis felina</i>	69	<i>Laccophilus hyalinus</i>	135	<i>Antocha vitripennis</i>
4	<i>Dendrocoelum lacteum</i>	70	<i>Hydroporus tessellatus</i>	136	<i>Dicranota</i> sp.
5	<i>Gordius aquaticus</i>	71	<i>Hydroporus</i> sp.	137	<i>Pseudolimnophila lucorum</i>
6	<i>Oligochètes</i>	72	<i>Scarodytes halensia</i>	138	<i>Eloeophila</i> sp.
7	<i>Glossiphonia complanata</i>	73	<i>Scarodytes</i> sp.	139	<i>Pilaria discicollis</i>
8	<i>Glossiphonia heteroclita</i>	74	<i>Stictotarsus duodecimpustulatus</i>	140	<i>Neolimnomyia nemoralis</i>
9	<i>Helobdella stagnalis</i>	75	<i>Stictonectes lepidus</i>	141	<i>Hexatoma bicolor</i>
10	<i>Hemiclepsis marginata</i>	76	<i>Deronectes moestus</i>	142	<i>Erioptera lutea</i>
11	<i>Erpobdella octoculata</i>	77	<i>Potamonectes</i> sp.	143	<i>Scleroprocta</i> sp.
12	<i>Potamopyrgus jenkensi</i>	78	<i>Agabinectes didymus</i>	144	<i>Cheilotrichia</i> sp.
13	<i>Bythinella</i> sp.	79	<i>Phothydraena testacea</i>	145	<i>Ormosia</i> sp.
14	<i>Bithynia</i> sp.	80	<i>Hydraena</i> sp.1	146	<i>Molophilus</i> sp.
15	<i>Physa acuta</i>	81	<i>Hydraena</i> sp.2	147	<i>Gonomyia lucidula</i>
16	<i>Lymnaea peregra</i>	82	<i>Asiobates</i> sp.	148	<i>Idiocera lateralis</i>
17	<i>Planorbis</i> sp.	83	<i>Hydrochus grandicollis</i>	149	<i>Austrolimnophila</i> sp.
18	<i>Ancylus fluviatilis</i>	84	<i>Paracymus</i> sp.	150	<i>Pericoma fallax</i>
19	<i>Pisidium subtruncatum</i>	85	<i>Anacaena bipustulata</i>	151	<i>Satchelliella trivialis</i>
20	<i>Asellus aquaticus</i>	86	<i>Anacaena globulus</i>	152	<i>Jungiella parvula</i>
21	<i>Gammarus</i> (fossarum + pulex)	87	<i>Anacaena limbata</i>	153	<i>Psychoda alternata</i>
22	<i>Baetis lutheri</i>	88	<i>Laccobius</i> sp.	154	<i>Psychoda cinerea</i>
23	<i>Baetis muticus</i>	89	<i>Limnebius</i> sp.	155	<i>Psychodidae</i> sp.1
24	<i>Baetis rhodani</i>	90	<i>Dryops luridus</i>	156	<i>Psychodidae</i> sp.2
25	<i>Baetis sinaicus</i>	91	<i>Dryops lutulentus</i>	157	<i>Dixa maculata</i>
26	<i>Cloeon</i> sp.	92	<i>Dryops</i> sp.	158	<i>Dixa nebulosa</i>
27	<i>Ecdyonurus</i> sp.2	93	<i>Helichus substriatus</i>	159	<i>Dixa</i> sp.
28	<i>Ephemerella ignita</i>	94	<i>Elmis</i> (aenea + maugetii)	160	<i>Eusimulium aureum</i>
29	<i>Caenis</i> sp.1	95	<i>Esolus parallelepipedus</i>	161	<i>Wilhelmia equina</i>
30	<i>Caenis</i> sp.2	96	<i>Esolus</i> sp.	162	<i>Tetisimulium bezzii</i>
31	<i>Habrophlebia fusca</i>	97	<i>Limnius intermedius</i>	163	<i>Simulium gaudi</i>
32	<i>Ephemera danica</i>	98	<i>Limnius volckmari</i>	164	<i>Simulium ornata</i>
33	<i>Nemoura cinerea</i>	99	<i>Oulimnius troglodytes</i>	165	<i>Tanyptodinae</i>
34	<i>Nemoura</i> sp.	100	<i>Oulimnius</i> sp.	166	<i>Orthoclaadiinae</i>
35	<i>Protonemura intricata</i>	101	<i>Riolus subviolaceus</i>	167	<i>Corynoneura</i> sp.1
36	<i>Leuctra geniculata</i>	102	<i>Riolus</i> sp.	168	<i>Chironomini</i> sp.
37	<i>Leuctra</i> sp.	103	<i>Stenelmis semicanaliculata</i>	169	<i>Tanytarsini</i> sp.
38	<i>Capnia bifrons</i>	104	<i>Helodes</i> sp.	170	<i>Ceratopogonidae</i>
39	<i>Isoperla grammatica</i>	105	<i>Hydrocyphon</i> sp.	171	<i>Beria vallata</i>
40	<i>Perla marginata</i>	106	<i>Rhyacophila dorsalis</i>	172	<i>Oxycera pardalina</i>
41	<i>Calopteryx splendens</i>	109	<i>Agapetus cravensis</i>	173	<i>Oxycera</i> sp.1
42	<i>Calopteryx virgo</i>	110	<i>Hydroptila vectis</i>	174	<i>Oxycera</i> sp.2
43	<i>Sympecma fusca</i>	111	<i>Hydroptila</i> sp.	175	<i>Atalantinae</i> sp.
44	<i>Lestes viridis</i>	112	<i>Wormaldia occipitalis</i>	176	<i>Hemerodromiinae</i> sp.1
45	<i>Lestidae</i>	113	<i>Hydropsyche dissimulata</i>	177	<i>Hemerodromiinae</i> sp.2
46	<i>Platynemesis latipes</i>	114	<i>Hydropsyche pallidula</i>	178	<i>Hemerodromiinae</i> sp.3
47	<i>Coenagrion coerulescens</i>	115	<i>Hydropsyche siltalai</i>	179	<i>Hydrophorus</i> sp.
48	<i>Coenagrion mercuriale</i>	116	<i>Plectrocnemia</i> sp.	180	<i>Liancalus virens</i>
49	<i>Coenagrion lindeni</i>	117	<i>Psychomyia pusilla</i>	181	<i>Dolichopodidae</i> sp.1
50	<i>Boyeria irene</i>	118	<i>Lype reducta</i>	182	<i>Dolichopodidae</i> sp.2
51	<i>Aeshna affinis</i>	119	<i>Tinodes</i> sp.	183	<i>Chrysops</i> sp.
52	<i>Gomphus</i> sp.	120	<i>Limnephilini</i>	184	<i>Tabanus maculicornis</i>
53	<i>Onychogomphus uncatatus</i>	121	<i>Stenophylacini</i> + <i>Chaetopterygini</i>	185	<i>Tabanus</i> sp.
54	<i>Cordulegaster bidentatus</i>	122	<i>Silo nigricornis</i>	186	<i>Atrichops crassipes</i>
55	<i>Cordulegaster boltoni</i>	123	<i>Sericostoma galeatum</i>	187	<i>Chrysopilus auratus</i>
56	<i>Cordulegaster annulatus</i>	124	<i>Ctenophora pectinicornis</i>	188	<i>Syrphidae</i> sp.2
57	<i>Somatochlora metallica</i>	125	<i>Ctenophora</i> sp.1	189	<i>Ephyridae</i> sp.1
58	<i>Libellula fulva</i>	126	<i>Ctenophora</i> sp.2	190	<i>Ephyridae</i> sp.2
59	<i>Orthetrum</i> sp.	127	<i>Ctenophora</i> sp.3	191	<i>Ephyridae</i> sp.3
60	<i>Sympetrum vulgatum</i>	128	<i>Tipula lateralis</i>	192	<i>Ephyridae</i> sp.4
61	<i>Nepa cinerea</i>	129	<i>Tipula</i> sp.1	193	<i>Ephyridae</i> sp.5
62	<i>Gerris thoracicus</i>	130	<i>Tipula</i> sp.2	194	<i>Hydrellia</i> sp.
63	<i>Hydrometra stagnorum</i>	131	<i>Tipula</i> sp.3	195	<i>Melanochelia</i> sp.
64	<i>Microvelia pygmaea</i>	132	<i>Tipula</i> sp.4	196	<i>Sciaridae</i>
65	<i>Velia caprai</i>			197	<i>Cecidomyiidae</i>
66	<i>Orectochilus villosus</i>				

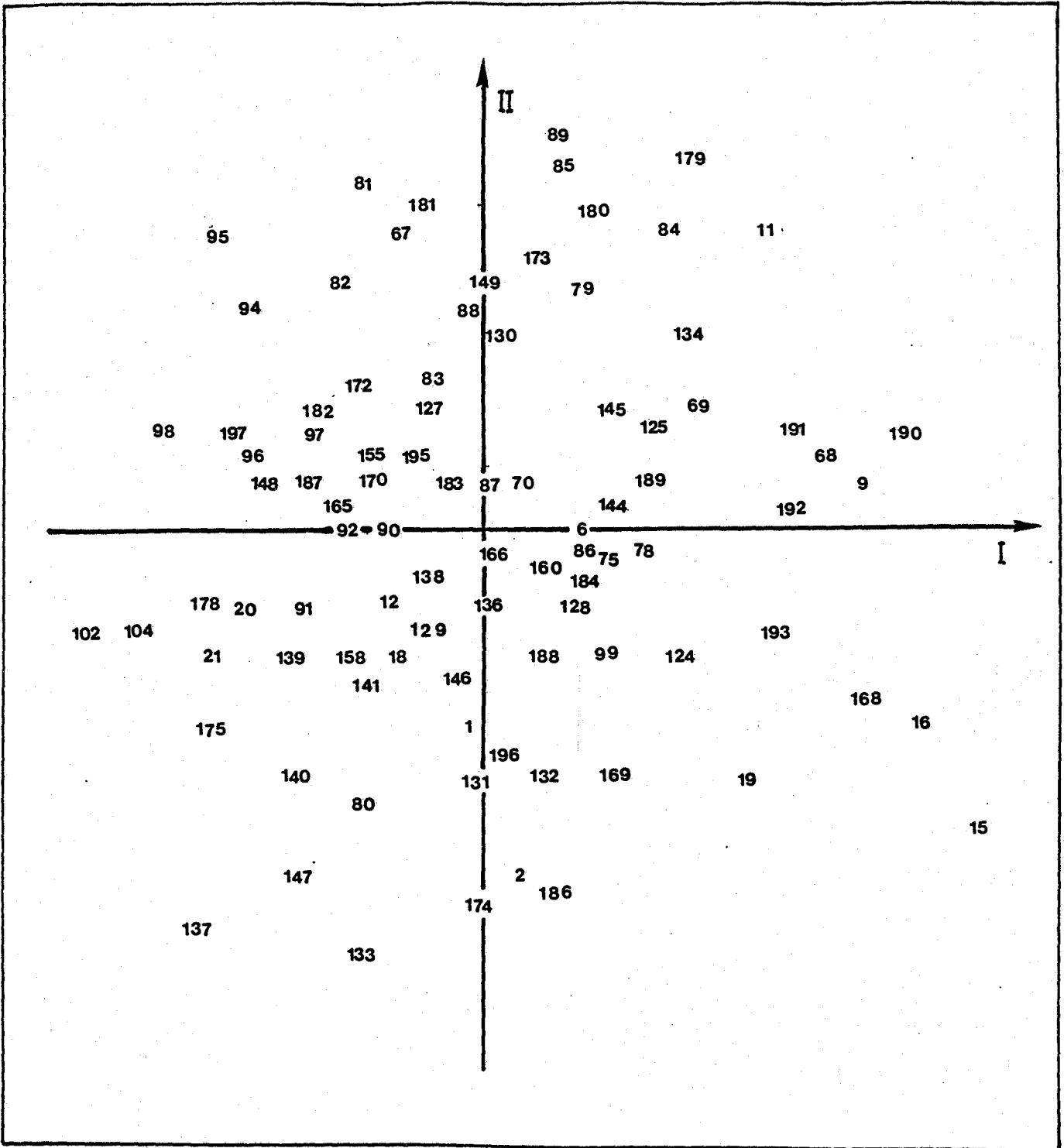
ANNEXE V -2 - Carte factorielle I/II des points-taxons de l'A.F.C. relative aux Invertébrés benthiques récoltés dans l'ensemble des stations.



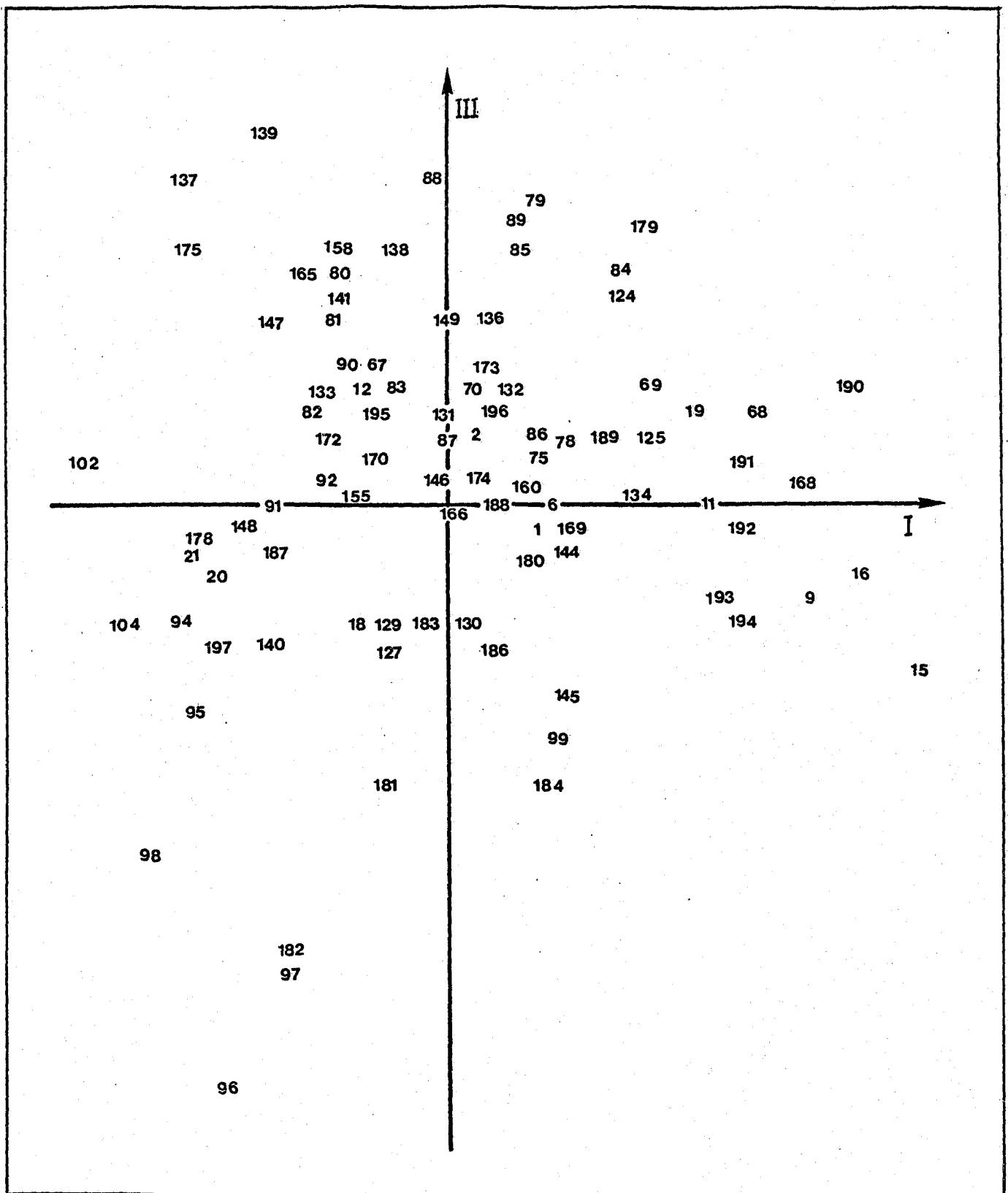
ANNEXE V - 3- Carte factorielle I/III des points-taxons de l'A.F.C. relative aux Invertébrés benthiques récoltés dans l'ensemble des stations.



ANNEXE V - 4- Carte factorielle I/III des points-taxons de l'A.F.C. relative aux Invertébrés ripicoles aquatiques.



ANNEXE V - 5- Carte factorielle I/II des points-taxons de l'A.F.C. relative aux Invertébrés ripicoles aquatiques.



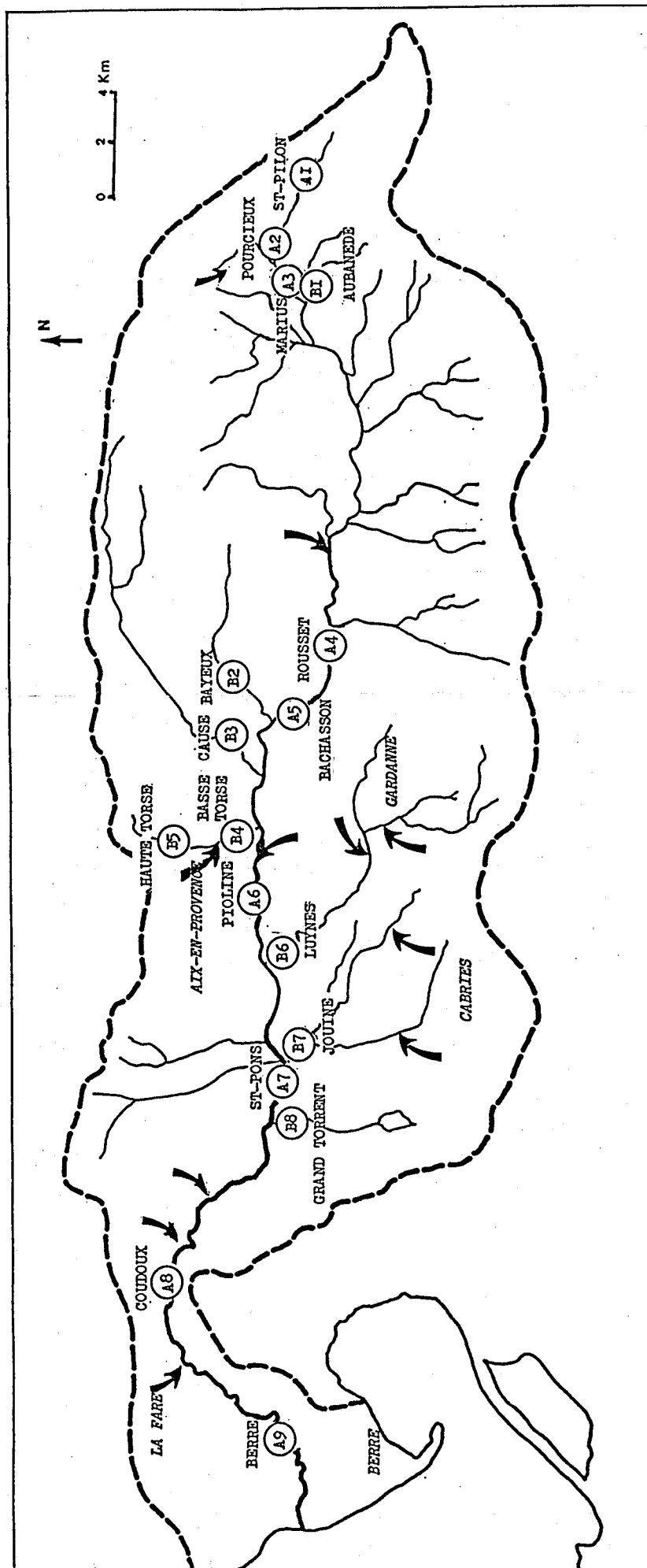


FIGURE 1 - RESEAU HYDROGRAPHIQUE DE L'ARC

- Localisation des stations (A1 à A9: cours axial)

B1 à B8: affluents)

- Localisation des impacts (↙)

- Titre de la thèse :

Etude d'un réseau hydrographique méditerranéen de basse altitude : l'Arc (Bouches-du-Rhône). Hydrochimie, Communautés benthiques et ripicoles, impact des perturbations.

- Spécialité : Ecologie (Option Zooécologie)

- Nom et prénom : PLAYOUST Corinne

- Date et lieu de soutenance : 5 février 1988,
Faculté des Sciences et Techniques de Saint-Jérôme.

- Composition du Jury :

Rapporteurs	A. CHAMPEAU	Professeur
	H. TACHET	Maître de conférences
	J. GIUDICELLI	Professeur
	J. CACAS	Ingénieur I.G.R.E.F.
	R. LOISEL	Professeur
	J.J.MUSSO	Maître de conférences.

- Résumé :

L'Arc est un fleuve côtier méditerranéen soumis à une forte pression anthropique. Ce travail étudie la répartition des phytocénoses et des zoocénoses benthiques et ripicoles aquatiques à l'échelle d'un réseau hydrographique présentant une très grande hétérogénéité hydrochimique.

L'analyse des descripteurs abiotiques a mis en évidence 7 types hydrochimiques qui s'ordonnent selon un gradient d'eutrophication induit par de nombreux altéragènes.

La répartition des phytocénoses et des zoocénoses au sein du réseau de l'Arc est déterminée par ce gradient de trophie et traduit un état de perturbation critique dans la majeure partie du cours axial.

Des groupements d'espèces benthiques associées aux diverses situations hydrochimiques ont été mis en évidence. Le peuplement des affluents naturels constitue un réservoir d'espèces caractéristiques du rhithron, zone disparue du cours principal de l'Arc en raison d'une trop forte pression anthropique ; il représente ainsi la "mémoire" du peuplement originel de l'Arc.

L'analyse des communautés ripicoles aquatiques confirme ces résultats et montre que ces organismes peuvent être considérés comme des bio-indicateurs.

L'étude simultanée des peuplements benthiques et ripicoles met en évidence d'une part, les caractéristiques propres à chacun de ces groupes faunistiques, d'autre part, la similitude de leur réponse aux mêmes variations des descripteurs physico-chimiques du milieu.

- Mots clefs :

Ecosystème lotique, Provence calcaire, Pollution, Hydrochimie, Algues, Invertébrés benthiques, Invertébrés ripicoles.