

MAG/ 591.5 - 20/01

THESE

Présentée

à l'UNIVERSITE DE TLEMCEN

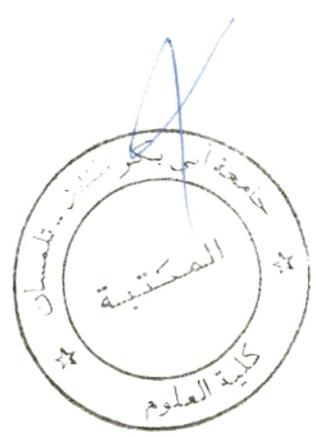
Institut de Biologie

Pour obtenir

LE DIPLOME DE MAGISTERE

en ECOLOGIE ANIMALE

Option : Hydrobiologie



Par

Chafika BENDIOUIS-CHAOUI BOUDGHANE

CONTRIBUTION A L'ETUDE DE LA FAUNE HYPOGEE D'AFRIQUE DU NORD
(MILIEUX HYPORHEIQUE ET PHREATIQUE)

Soutenue le

devant la Commission d'examen

MM. N. LEUTREUCH

Président

J. GAGNEUR

Promoteur

E. ANGELIER

N. GIANI

M^{me} M. CHERBI

} Examineurs

REMERCIEMENTS

Je tiens à exprimer toute ma gratitude à Monsieur J. GAGNEUR pour son aide précieuse et efficace dans l'élaboration de ce travail.

Ma reconnaissance va à Monsieur le Professeur E. ANGELIER qui m'a accueilli dans son laboratoire.

Je remercie également Monsieur N. LEUTREUCH d'avoir présidé ce jury, Madame M. CHERBI et Monsieur N. GIANNI pour avoir accepté de juger ce travail.

Mes remerciements vont également à tous ceux qui ont contribué, de près ou de loin, à la réalisation de cette thèse.

SOMMAIRE

	Page
INTRODUCTION	1
CHAPITRE I. DEFINITIONS ET METHODOLOGIE	4
1. Le milieu phréatique ou nappe phréatique	5
2. Le milieu hyporhéique.	6
CHAPITRE II. LE BIOTOPE	8
1. Apperçu hydrogéologique de la région étudiée	9
1.1. Les Monts de Tlemcen	9
1.2. La plaine de Remchi	9
1.3. Les Monts des Traras	10
2. Le climat	10
3. Présentation des stations	11
3.1. Stations du milieu hyporhéique.	12
3.1.1. Station T _O : oued Tafna près de la source	12
3.1.2. Station SD : oued Sebdou.	14
3.1.3. Station R : oued Ed Fali	15
3.1.4. Station IM : oued Bel-Abbès	16
3.1.5. Station SS : oued Safsaf en aval d'El-Ourit	17
3.1.6. Station T _g : Basse Tafna.	18
3.1.7. Station X : oued Ouidane	19
3.1.8. Station H : oued Rediou	20
3.2. Stations du milieu phréatique	20
3.2.1. Les sources	20
3.2.1.1. Source d'El-Ourit (OS)	20
3.2.1.2. Source de Mansourah(MS).	21
3.2.2. Les puits	22
3.2.2.1. Puits Ghar Boumaza (MP)	23
3.2.2.2. Puits Bab-El-Hadid (BP)	23
3.2.2.3. Puits El-Kiffane (TP)	25
3.2.2.4. Puits Riyat-El-Hemmar (GP).	25
3.2.2.5. Puits Honaine (HP)	26

CHAPITRE III. MATERIEL ET METHODES	27
1. Méthodes d'analyse physico-chimique de l'eau.	28
2. Méthodes d'échantillonnage dans le milieu interstitiel	29
2.1. La méthode Karaman-Chappuis	31
2.2. La méthode de pompage	31
2.2.1. Description de l'appareil de pompage utilisé.	31
2.2.1.1. La sonde	33
2.2.1.2. Le piston	33
2.2.1.3. Le système de pompage ou pompe	33
2.2.2. Technique de prélèvement sur le terrain.	34
2.3. Méthode de récolte de la faune des puits et des sources	35
2.4. Traitement de l'échantillon	35
2.5. Traitement des données.	35
2.5.1. Indices de diversité et de similitude.	37
2.5.2. Analyse factorielle des correspondances (AFC).	38
2.5.3. Classification hiérarchique	39
CHAPITRE IV. RESULTATS DE L'ANALYSE PHYSICO-CHIMIQUE DE L'EAU	40
1. Le milieu hyporhéïque	41
1.1. Comparaison des milieux superficiels et interstitiel	41
1.1.1. La température	41
1.1.2. Le pH	44
1.1.3. La conductivité.	44
1.2. Caractéristiques physico-chimique du milieu interstitiel	44
1.2.1. La température	46
1.2.2. La conductivité	46
1.2.3. Les chlorures	46
1.2.4. La dureté	48
1.2.5. L'acidité	48
1.2.6. L'alcalinité	50
1.2.7. L'oxygène dissous.	50
1.2.8. Les nitrites	50
1.2.9. Les nitrates	52

1.3. Conclusion	52
2. Le milieu phréatique	53
3. Comparaison des milieux hyporhéique et phréatique.	54
CHAPITRE V. RESULTATS FAUNISTIQUES	55
1. Liste faunistique.	56
2. Remarques générales sur les peuplements.	59
3. Composition et structure des peuplements	65
3.1. Le milieu hyporhéique	65
3.1.1. Peuplement de la station SD.	65
3.1.2. Peuplement de la station T _O	66
3.1.3. Peuplement de la station R	66
3.1.4. Peuplement de la station SS.	69
3.1.5. Peuplement de la station IM.	69
3.1.6. Peuplement de la station T _g	70
3.1.7. Peuplement de la station X	70
3.1.8. Peuplement de la station H	73
3.2. Le milieu phréatique	73
3.2.1. Les puits	73
3.2.2. Les sources	74
4. Comparaison des deux méthodes d'échantillonnage dans le milieu hyporhéique	74
5. Analyse statistique	77
5.1. L'analyse factorielle des correspondances	77
5.1.1. L'A.F.C. sur les densités	77
5.1.2. L'A.F.C. sur les log. des densités	81
5.1.3. L'A.F.C. sur les variables disjonctées	83
5.1.4. Conclusion	90
5.2. Classification hiérarchique.	91
5.2.1. Résultats	91
5.2.2. Conclusion	94
6. Discussion	94
CONCLUSION	99
BIBLIOGRAPHIE	102

INTRODUCTION

L'étude du fonctionnement des oueds d'Afrique du Nord passe par la connaissance des différents biotopes aquatiques qui entrent en relation avec l'écosystème oued. Parmi ceux-ci et par degré de relation décroissant, nous pouvons citer le milieu hyporhéique, associé aux nappes parafluviales, et le milieu interstitiel profond associé aux nappes phréatiques. Ces deux milieux appartenant au milieu hypogé.

Le but de ce travail a été d'étudier la faune du milieu hyporhéique des oueds, et celle du milieu phréatique par un aperçu de la faune des puits et des sources. Nous nous sommes proposés de mettre en évidence les affinités éventuelles existant entre ces milieux tant du point de vue faunistique que physico-chimique.

Le milieu aquatique hypogé est d'une importance considérable tant par la quantité d'eau qu'il représente que par son rôle dans l'alimentation en eau des populations humaines. La vulnérabilité de ce milieu face aux diverses pollutions justifie l'intérêt que nous devons lui porter. Dans le domaine phréatique la composition de la faune nous renseigne sur la qualité de l'eau (Boutin, 1988). De même, l'étude de la faune hyporhéique, fortement dépendante des conditions régissant dans le milieu superficiel, nous renseigne sur l'état biologique des oueds.

La faune hypogée a suscité de nombreuses recherches consacrées à la faune des milieux phréatiques et hyporhéiques. Parmi ceux-ci, nous pouvons citer : Angelier, 1953; Delamare -Deboutteville, 1960; Ruffo, 1961; Ruttner-Kolisko,

1961; Schwoerbel, 1961; 1964; Motas, 1962; Husmann, 1966; 1971; Gourbault et Lescher - Moutoué, 1968; Sterba et Holzer, 1977; Gibert et al., 1977; Braioni et al., 1980; Dole, 1983; Marmonier et Dole, 1986...

En Afrique du Nord, jusqu'à une époque récente, les connaissances dans ce domaine sont restées fragmentaires, elles se rapportaient :

- soit à l'étude d'un biotope déterminé (Boutin et Boulanouar, 1984; Messouli, 1984; Boulal, 1984; 1988; Boulanouar, 1986; Fakher e^l Abiari, 1986; Boumezzough, 1988; Boutin et Ibdennacer, 1989),

- soit à des prélèvements ponctuels à visée biogéographique (Chevreux, 1901; Gurney, 1909; Monod, 1924; 1930; 1972; Gauthier, 1928 a, 1928 b; Braga, 1948; Nourisson, 1956; Pesce et Tete, 1978; Guldemont et al., 1979; Pesce et al., 1981; Magniez, 1984; Bader, 1989),

- soit à une étude d'ordre systématique (Chevreux et Gauthier, 1924; Henry et Magniez, 1972; 1973; 1981; Karaman et Pinkster, 1977; Magniez, 1977-78; Karaman et Pesce, 1980, Pesce, 1981; Boutin et Cals, 1985; Boutin, 1987; Boutin et Coineau, 1987; Boutin et Messouli, 1988; Messouli et Boulal, 1990).

La majorité de ces travaux concernaient le milieu phréatique et cavernicole. Plus récemment, l'étude du fonctionnement des écosystèmes aquatiques Nord-africains a conduit plusieurs auteurs à s'intéresser à l'étude du milieu hyporhéique. Ce sont les travaux de Benazouz(1983), de Yacoubi

Khebiza (1987, 1990) et d'Ajakane (1988) au Maroc et ceux de Notenboom et Winter (1986) et de Rouch (1987) en Algérie.

Les résultats contenus dans ce travail, bien que partiels, contribuent à une meilleure compréhension du fonctionnement de l'écosystème oued concernant les relations existant entre les biotopes aquatiques superficiels et hypogés et font suite aux travaux sur le milieu hyporhéique déjà réalisés (Chaoui-Boudghène 1984; Gagneur et Chaoui Boudghène, 1990).

CHAPITRE I

DEFINITIONS ET METHODOLOGIE

Nous savons aujourd'hui que le domaine des eaux souterraines est plus étendu que celui des réseaux hydrographiques de surface. Les nombreux travaux sur ce milieu ont montré la continuité entre ses divers habitats, très différents dans leur configuration.

Le domaine souterrain dans ses terrains "perméables en petit", par opposition aux terrains "perméables en grand" représentés essentiellement par les eaux qui circulent à l'intérieur des massifs calcaires, constitue le milieu interstitiel. Ce dernier représente l'habitat aquatique des interstices qui séparent les grains de sables les uns des autres. La faune qui s'y installe est nommée faune interstitielle.

Il existe différents milieux interstitiels, citons en l'occurrence le biotope hypotelminorhéique de Mestrov (1962), le psammon réservé selon Motas (1962) à la faune des plages littorales marines, les nappes phréatiques et les nappes parafluviales (ou sous-écoulement).

Essayons de donner les principales caractéristiques des milieux interstitiels étudiés.

1. Le milieu phréatique ou nappe phréatique :

La notion de nappe phréatique fut réservée aux nappes d'eau les plus proches du sol qui alimentent les puits.

Motas et Tanasachi (1946) ont donné le nom de phréatobis aux organismes qui peuplent les nappes phréatiques.

La connaissance de cette faune n'était possible que par la prospection des puits et des sources. Dans les puits, les

récoltes étaient faites en utilisant d'abord des pièges ap-
pâtés (ou balances) puis, et par la suite, le filet phréa-
tobiologique de Cvetkov (Bou, 1974). Au niveau des sources,
les chercheurs ont souvent utilisé des filtres pour recueil-
lir la faune hypogée.

2. Le milieu hyporhéique (nappes parafluviales)

Le milieu hyporhéique (fig.1) définit par Orghidan (1959) représente le biotope des interstices qui séparent les grains de sables et de graviers des dépôts alluvionnaires des cours d'eau. L'eau souterraine qui circule forme les nappes souterraines parafluviales qui encadrent les rivières et qui peuvent s'étendre dans toute la plaine alluviale.

Chappuis (1946) a utilisé l'expression de nappe phréatique pour définir ce milieu. En effet, certains auteurs (Angelier, 1953; Ruffo, 1961) affirment qu'il n'y a pas de différence fondamentale entre le milieu hyporhéique et le milieu phréatique. L'un est interstitiel superficiel, l'autre est interstitiel profond.

Orghidan (1959) a donné le nom de faune hyporhéique aux animaux qui colonisent les nappes parafluviales.

Les méthodes de récolte de la faune interstitielle, et plus particulièrement de la faune hyporhéique, se sont multipliées depuis la technique des sondages Karaman - Chappuis (Chappuis, 1946), méthode qui consiste à filtrer l'eau accumulée dans un trou creusé sur les berges des cours d'eau.

Renaud - Debyser (1957) et Williams et Hynes (1974) ont utilisé la méthode du carottage, Hynes (1974) adopte la méthode des substrats artificiels et de nombreux autres auteurs ont opté pour la méthode des sondages tubés Bou - Rouch (Bou, 1974) entre autres : Gibert et al. (1977); Dole (1983) et Rouch (1988).

Toutes ces prospections ont souligné la particularité et la diversité écologique (Gibert et al., 1977) des biocénoses du sous-écoulement. En effet, celles-ci regroupent la faune hypogée des nappes phréatiques, les organismes épigés du cours superficiel et même des individus de la pédofaune ayant une préférence pour les milieux humides.

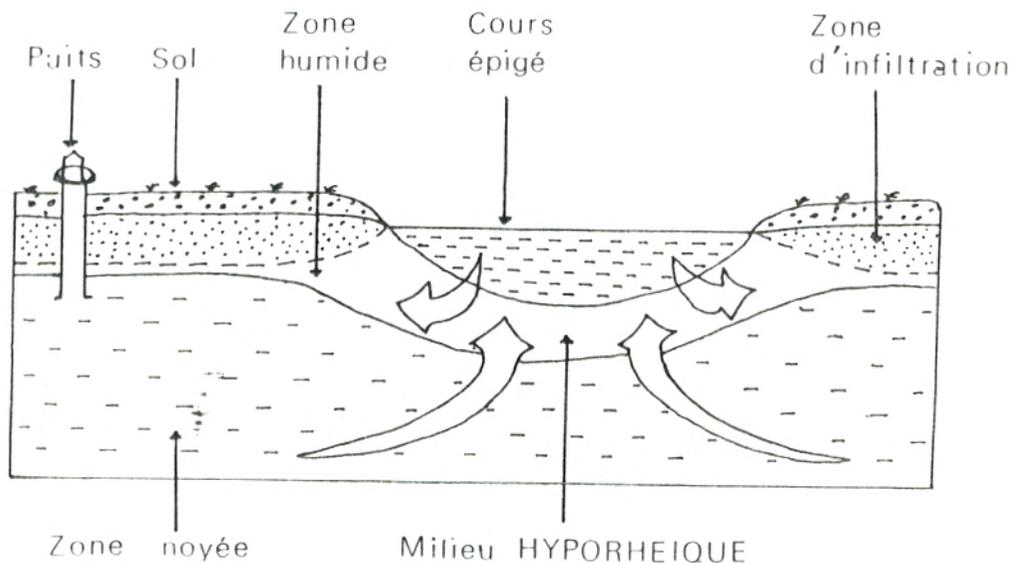


Fig. 1 : Le milieu hyporhéique ou sous-écoulement des cours d'eau.

CHAPITRE II

LE BIOTOPE

Afin d'avoir une représentation aussi large que possible des peuplements hypogés, quinze stations ont été sélectionnées dans la Wilaya de Tlemcen. Huit d'entre elles concernent le milieu hyporhéique des oueds (stations SD, T₀, R, IM, SS, T_g, X et H) et sept le domaine phréatique représenté par les puits (MP, BP, TP, GP et HP) et les exutoires de sources (OS et MS).

1. Aperçu hydrogéologique de la région étudiée :

La zone d'étude se situe essentiellement dans le bassin versant de la Tafna. L'oued Tafna prend sa source dans les Monts de Tlemcen à 1090 mètres d'altitude, traverse la plaine de Remchi et atteint la méditerranée au niveau de la commune de Rachgoun située à environ 60 km de la ville de Tlemcen.

Géologiquement, cette région se divise en trois ensembles distincts :

1.1. Les Monts de Tlemcen, au Sud, où affleurent principalement des roches sédimentaires carbonatées, majoritairement dolomitiques, du Jurassique supérieur. Ces terrains sont fissurés et largement karstifiés, ce qui leur confère une grande perméabilité et une importance hydrogéologique considérable par la circulation d'eau souterraine (Collignon, 1986).

1.2. La plaine de Remchi, au Nord, caractérisée par des dépôts argilo-gréseux du Miocène. Les dépôts alluvionnaires recouvrent les fonds des vallées.

1.3. Les Monts des Traras à l'Ouest de l'embouchure de la Tafna. Ils comportent des terrains schisteux du primaire, des roches carbonatées du Jurassique, des argiles sableuses à blocs de calcaire métamorphique du Miocène et des marnes salifères du Trias.

L'oued Ouidane (station X) traverse ces différentes roches depuis sa source jusqu'à la mer. L'oued Rediou (station H) prend sa source dans les calcaires très perméables et court sur des sédiments argilo-sableux peu perméables (communication orale Mr Bensalah).

L'oued Ed-Diab qui se jette dans la Tafna juste en amont de la station T₈, traverse ces terrains et influence la station T₈.

2. Le climat :

Le climat de type méditerranéen, avec précipitations concentrées sur la saison froide de l'année (Octobre à Mai) et été sec, caractérise la zone d'étude.

Les précipitations sont irrégulières, 25 à 30% des pluies peuvent tomber en quelques jours et provoquer ainsi des crues violentes fortement érosives.

La Wilaya de Tlemcen présente du Nord au Sud différents étages bioclimatiques. Honaïne se situe dans le semi-aride frais influencé par la mer, Tlemcen dans le sub-humide inférieur et Sebdou dans le semi-aride froid.

L'Ouest algérien a connu une sécheresse prolongée à partir de 1982 marquée par une pluviosité inférieure à 300mm par an. Ceci a complètement perturbé le régime hydrologique des oueds de la région de Tlemcen.

Le présent travail a été réalisé pendant cette période de déficit hydrique, ce qui est intéressant puisque tous les phénomènes s'en trouvent accentués. L'impact sur les communautés animales risque d'être plus marqué et par conséquent l'étude des stratégies adaptatives de la faune benthique des oueds s'en trouve facilitée.

3. Présentation des stations :

Les stations prospectées, appartenant à des milieux souterrains différents (hyporhéique et phréatique), peuvent être regroupées en quatre unités géographiquement distinctes du Sud au Nord.

- une zone d'altitude au niveau des Monts de Tlemcen comprenant les stations SD, T_O et MP (commune de Sebdou),
- une zone de piemont au niveau de la ville de Tlemcen où sont localisées les stations R, IM, SS, BP, TP, GP, OS et MS,
- une zone de plaines (stations T_g),
- une zone cotière à l'Ouest de l'embouchure de la Tafna sur la commune de Honaine (stations X, H et HP).

3.1. Stations du milieu interstitiel hyporhéique :
(fig. 2)

3.1.1. Stations T_0 : oued Tafna près de la source :
(fig. 3)

Altitude : 1090 m

Latitude : $34^{\circ}42'00''N$

Longitude: $1^{\circ}18'30''W$

Largeur du lit à l'étiage : 2 m

Orientation du cours d'eau : N - S

Substrat : blocs et galets

Variations du niveau piezométrique : 15 à 35 cm

En contrebas de la grotte de Ghar Boumaza, considérée comme la source de la Tafna mais qui est en réalité l'arrivée à l'air libre d'une rivière souterraine permanente longue de plusieurs kilomètres. En période de hautes eaux, les cours souterrain et superficiel sont en continuité. Dès que l'écoulement se réduit, la rivière souterraine n'atteint plus l'entrée de la grotte où ne subsiste le plus souvent qu'une mare utilisée par les habitants de la région pour le rouissage de l'alfa. Le cours superficiel permanent de la Tafna commence alors à environ 300 mètres de la grotte. Le débit moyen de la résurgence est relativement important : $0,5m^3/s$.

Nos prélèvements hyporhéiques ont été effectués à 200 mètres en aval de la grotte, dans la zone s'asséchant en été. A cet endroit, le lit rocailleux de la rivière est peu encaissé. L'orientation plein Sud (versant méridional de l'Atlas tellien) et l'absence de végétation alentour exposent cette station à une forte insolation.

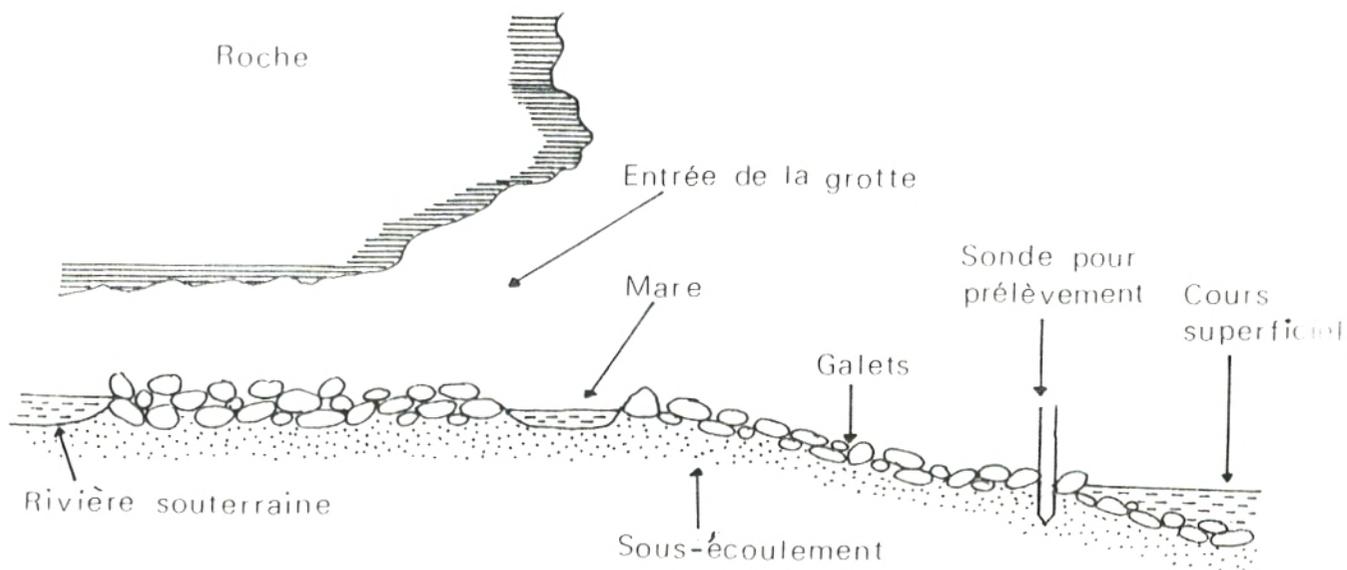


Fig. 3 : La source de l'Oued Tafna (station To) .

3.1.2. Station SD : oued Sebdou

Altitude : 930 m

Latitude : 34°37'45"N

Longitude: 1°20'47"W

Largeur du lit à l'étiage : 1 m

Orientation du cours d'eau : SW - N

Substrat : zone de galets entrecoupée de bancs argilo - sableux.

Variations du niveau piezométrique : 10 à 30 cm

Sur la commune de Sebdou (30 km au Sud de la ville de Tlemcen) naît l'oued Sebdou qui constitue un petit affluent rive gauche de la haute Tafna. En cas de sécheresse prolongée, l'oued s'assèche pendant 2 à 3 mois, mais le plus souvent des mares d'eau (profondeur = 30cm environ) peuvent subsister en été.

La station SD se localise dans un fossé peu profond creusé par l'oued Sebdou dans sa partie amont.

L'échantillonnage de la faune interstitielle a toujours été effectué sur la rive gauche du cours d'eau car, sur sa rive droite, de petits suintements latéraux alimentent le ruisseau.

A cet endroit, quelques arbrisseaux de lauriers roses (Nerium oleander) bordent le lit de l'oued. En été, lorsque le débit de l'oued est faible, la végétation aquatique devient considérable par un important développement d'algues filamenteuses (Cladophora sp).

La proximité de chantiers de constructions aux alentours de la station fait qu'elle n'est pas à l'abri de perturbations diverses.

3.1.3. Station R : oued Ed - Fali

Altitude : 754 m

Latitude : 34°51'48"N

Longitude: 1°22'43"W

Largeur du lit à l'étiage : < 1 m

Orientation du cours d'eau : S - N

Substrat : sable et débris végétaux peu décomposés.

Variations du niveau piezométrique : 10 à 20 cm

L'oued Ed-Fali est un petit ruisseau du réseau hydrographique du bassin versant de la Tafna sur la commune de Mansourah à l'Ouest de la ville de Tlemcen (6 km).

La station R se situe en aval du pont de la route Tlemcen-Beni Mester, sur la rive droite de l'oued dont le lit à cet endroit est encaissé (4 mètres de profondeur environ). Pour satisfaire les besoins en eau des cultures avoisinantes, des retenues sont installées de part et d'autre du point d'échantillonnage. Ceci ayant pour conséquence une baisse du débit de l'oued. La station, difficilement accessible, est faiblement éclairée en raison de la densité de la végétation riverraine.

3.1.4 Station IM : Oued Bel-Abbès.

Altitude : 757 m

Latitude : 34°52'41"N

Longitude: 1°21'02"W

Largeur du lit à l'étiage : < 1 m

Orientation du cours d'eau : S - N

Substrat : blocs et galets + quelques bancs argilo-sableux.

Variations du niveau piezométrique : 15 à 30 cm.

Situé à environ 5 km à l'Ouest de la ville de Tlemcen (Ain Imama), en contrebas de la rocade Ouest de Tlemcen (route Oran-Terni), la station IM concerne le milieu interstitiel hyporhéique de l'oued Bel-Abbès, un oued temporaire qui s'assèche chaque été pendant 3 à 4 mois. Une source, au débit irrégulier, alimente le cours d'eau sur sa rive gauche, à une quinzaine de mètres en amont de la zone de prélèvements (rive droite).

Dans ce secteur, la végétation est limitée à quelques peupliers (Populus alba) qui ombragent le lit de l'oued. De part et d'autre du ruisseau, les activités agricoles sont bien développées (champs de blé, cultures d'oliviers, vignes)

3.1.5. station SS : oued Safsaf en aval d'El-ourit.

Altitude : 650 m

Latitude : 34°51'57"N

Longitude: 1°15'51"W

Largeur du lit à l'étiage : 2 m

Orientation du cours d'eau : S - N

Substrat : débris végétaux peu décomposés + sable.

Variations du niveau piezométrique : 10 à 15cm

L'oued Safsaf (appelé en aval oued Sikkak), alimenté principalement par les sources d'El-Ourit, se jette à une vingtaine de kilomètres au Nord de Tlemcen dans l'oued Isser, affluent rive droite de l'oued Tafna. Après les cascades d'El-Ourit, l'oued Safsaf coule en contrebas de la route Tlemcen-Sidi

Bel-Abbès dans une vallée très encaissée (profonde d'une cinquantaine de mètres).

C'est dans ce secteur que nous avons choisi la station SS en prélevant les échantillons du milieu hyporhéique sur la berge droite de l'oued. La station est très ombragée en raison de la grande diversité végétale arborescente, arbustive et herbacée. Ceci fait que le substrat est riche en matière organique peu décomposée.

3.1.6 Station T8 : basse Tafna

Altitude : 44 m

Latitude : 34°08'57"N

Longitude: 1°27'58"W

Largeur du lit à l'étiage : 10 m

Orientation du cours d'eau : SW - N

Substrat : argiles, limons et blocs.

Variations du niveau piezométrique : 20 à 30 cm

Elle est située au niveau des alluvions fluviales de la basse Tafna, à proximité du village " Pierre du chat ". A ce niveau, le lit de la Tafna s'élargit et constitue l'hyporithral. A noter aussi qu'à cet endroit, la Tafna reçoit, sur sa rive gauche, les apports de l'oued Ed-Diab, un oued salé qui prend sa source dans les monts des Traras, au niveau de Souk-El-Khémis.

Nous avons choisi notre zone d'échantillonnage sur la rive gauche de la Tafna à une dizaine de mètres à l'aval du confluent oued Tafna-oued Ed-Diab afin de voir l'impact de la

forte concentration en sels sur les biocénoses hyporhéiques.

La rareté de la végétation terrestre, à l'exception du Tamarix : Tamarix gallica (plante halophile), fait que la station est entièrement exposée au rayonnement solaire durant toute la journée.

3.1.7 Station X : Oued Ouidane.

Altitude : 40 m

Latitude : 35°11'32"N

Longitude: 1°36'12"W

Largeur du lit à l'étiage : < 1 m

Orientation du cours d'eau : SE - NW

Substrat : sableux.

Variations du niveau piézométrique : 15 à 35 cm

A 10 km à l'Est du village de Honaine (60 km au Nord Ouest de Tlemcen), la station X est située dans la partie médiane de l'oued Ouidane, en amont d'un gué. Cet oued draine un bassin versant cotier complètement indépendant de celui de la Tafna. Le déficit hydrique que connaît l'Ouest Algérien a fait que l'oued Ouidane s'est asséché chaque été pendant 3 à 4 mois depuis les années 80.

La végétation de la station est représentée surtout par des buissons de lauriers roses (Nerium Oléander).

3.1.8 Station H : Oued Rediou.

Altitude : 20 m

Latitude : 35°10'21"N

Longitude: 1°39'15"W

Largeur du lit à l'étiage : < 1 m

Orientation du cours d'eau : S - N

Substrat : sable et roches en place

Variations du niveau piezométrique : 15 à 30 cm

L'oued Rediou est un oued côtier qui naît dans les Monts des Traras près du littoral et se déverse rapidement dans la mer. En été l'oued s'assèche deux à trois mois et le niveau piezométrique baisse rapidement.

La station, choisie sur cet oued, se trouve dans un fossé peu profond (environ trois mètres de profondeur).

La végétation terrestre, assez dense et diversifiée, ombrage la station.

3.2. Stations du milieu phréatique :

3.2.1. Les sources :

3.2.1.1. Source d'El-Ourit (OS)

Altitude : 700 m

Latitude : 34°51'40"N

Longitude : 1°16'24"W

Située au pied des cascades d'El-Ourit (10 km à l'Est de Tlemcen), la source OS émerge des Monts de Tlemcen et plus précisément du Djebel Hanif. Elle est retenue sous la roche dans un bassin créé par l'homme. Ce dernier utilise cette eau

à deux mètres plus en aval pour la consommation. Nous avons effectué nos prélèvements à l'entrée de la grotte (fig. 4).

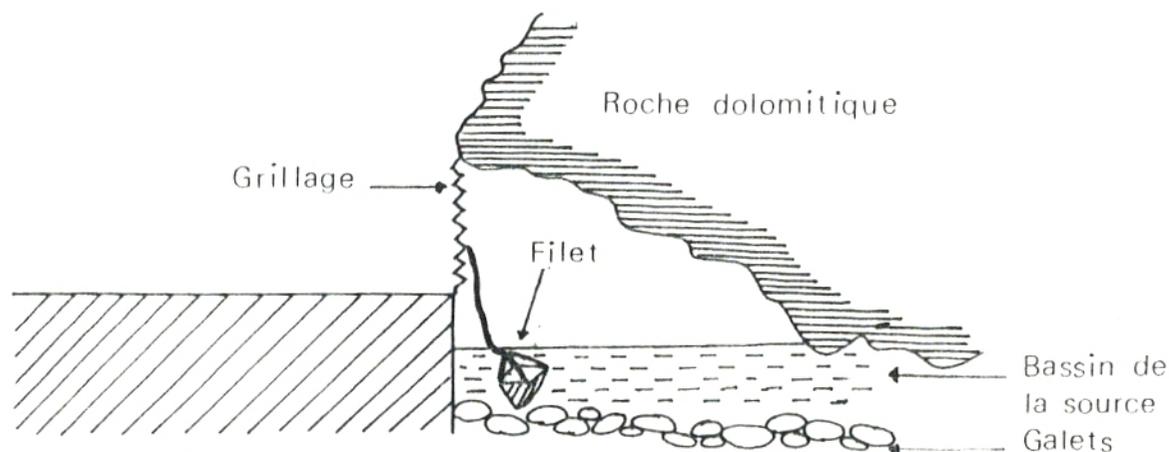


Fig. 4 : La source d'El-Ourit vue en coupe.

3.2.1.2. Source de Mansourah (MS)

Altitude : 910 m

Latitude : 34°51'59"N

Longitude : 1°19'55"W

A deux kilomètres au Sud-Ouest de Tlemcen naît la source de Mansourah dans les Monts de Tlemcen. Elle émerge dans une propriété privée. De ce fait, on l'a aménagée et utilisée à des fins thérapeutiques et le public peut recueillir cette eau, plus en aval, grâce à des fontaines.

Nous avons échantillonné dans un petit bassin (50 cm x 50 cm sur 1 mètre de hauteur) où est collectée l'eau de source. Ce bassin, construit par l'homme est complètement abrité et l'eau est évacuée par des canalisations (fig. 5).

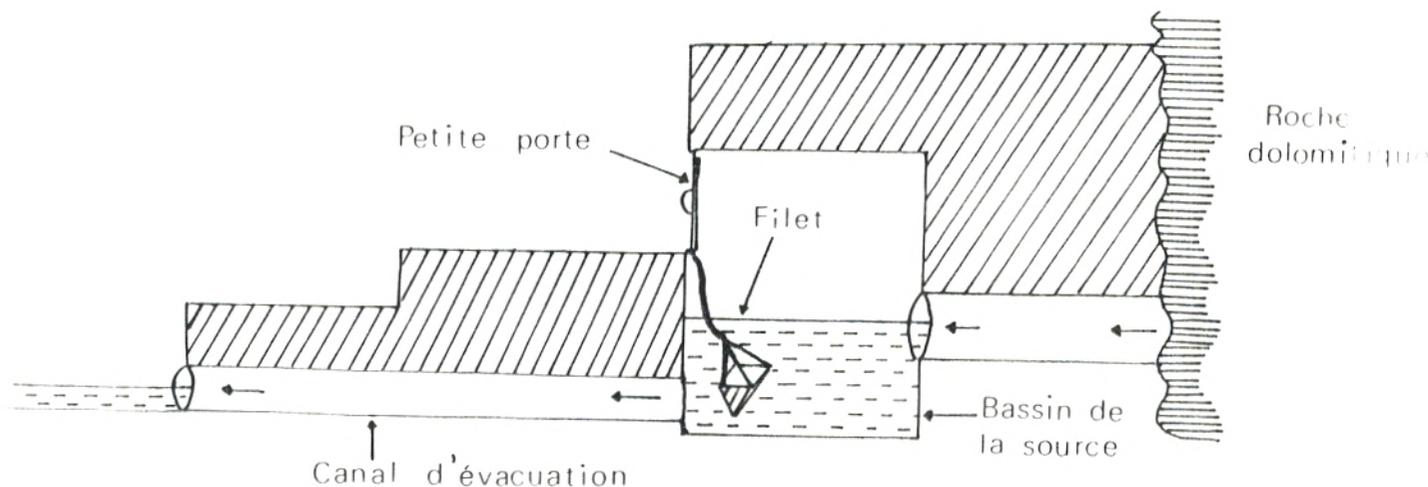


Fig. 5 : Captage de la source de Mansourah vu en coupe.

3.2.2. Les puits (fig. 6)

Pour ces milieux, nous avons choisi à chaque fois des puits de propriétés privées (ferme ou maison) pour une bonne sécurité du filet qu'on laissait séjourner dans le puits environ 48 heures. Tous les puits prospectés sont des puits non couverts. A noter que certains puits ont été traités pendant la période d'étude ce qui a perturbé l'échantillonnage.

3.2.2.1. Puits Ghar Boumaza (MP) :

Altitude : 1090 m

Latitude : 34°41'58"N

Longitude : 1°18'33"W

Profondeur moyenne du niveau piezométrique : 6 m.

Ce puits est situé au voisinage de la source de l'oued Tafna. Il est creusé à l'intérieur de la cour d'une ferme. Son eau, non traitée, est utilisée pour la consommation et les besoins domestiques.

3.2.2.2. Puits Bab-El-Hadid (BP) :

Altitude : 810 m

Latitude : 34°52'53"N

Longitude : 1°18'37"W

Profondeur moyenne du niveau piezométrique : 8 m.

Au centre ville de Tlemcen, nous avons choisi un puits dans une ancienne maison mauresque. C'est un puits relativement profond et étroit qui se trouve dans la cour de la maison. Son eau n'est utilisée que pour les besoins domestiques. Il n'a subi aucun traitement.

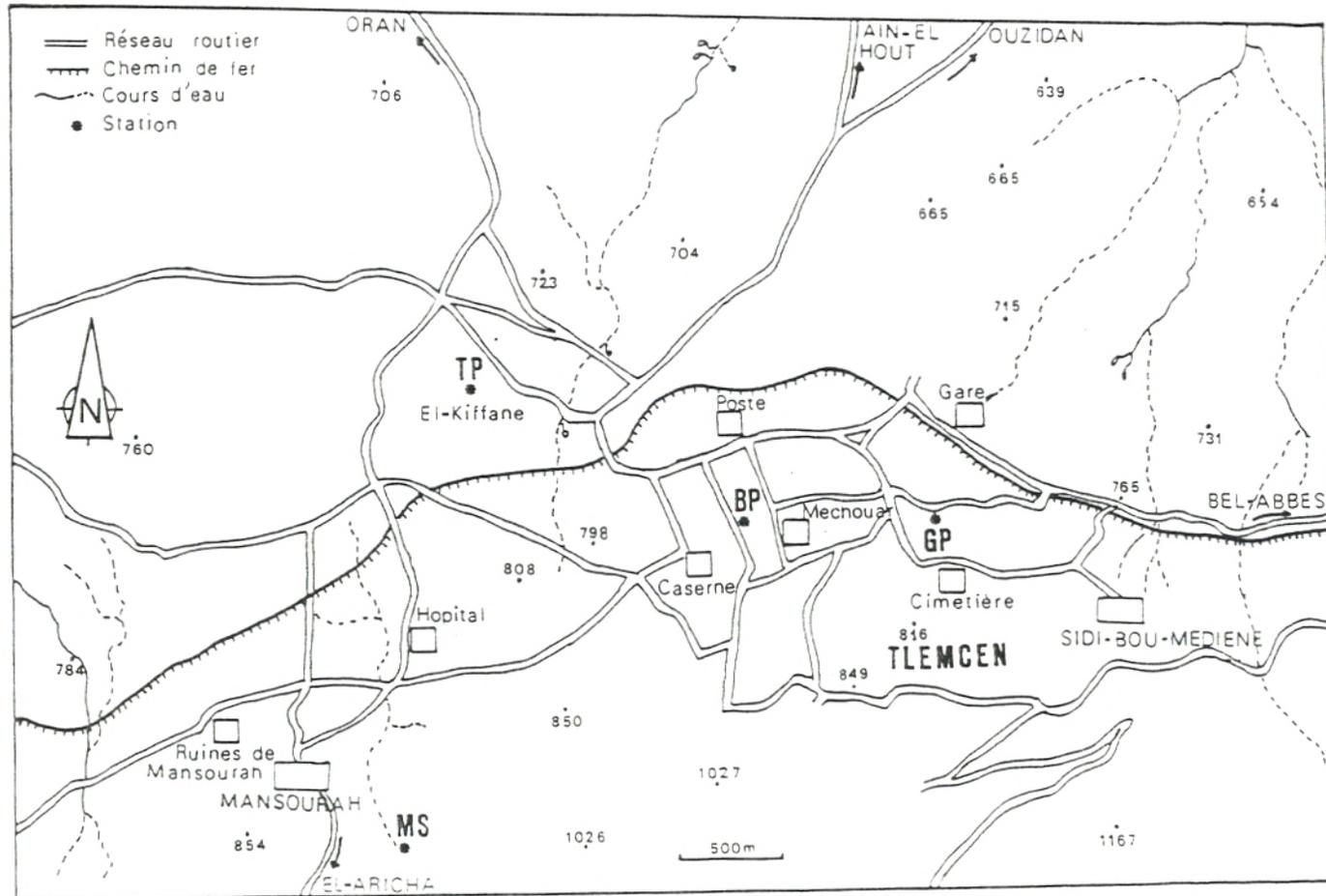


Fig. 6 : Localisation des stations de la ville de Tlemcen.

3.2.2.3. Puits El-Kiffane (TP) :

Altitude : 760 m

Latitude : 34°53'16"N

Longitude : 1°19'38"W

Profondeur moyenne du niveau piezométrique : 5 m.

Ce puits, nouvellement construit, est localisé dans le jardin d'une nouvelle maison dans la région d'El-Kiffane au Nord-Ouest de Tlemcen. Il a été traité par l'eau de Javel tous les deux à trois mois et son eau, utilisée pour la consommation, est retirée par pompage électrique.

3.2.2.4. Puits Riyat-El-Hemmar (GP) :

Altitude : 800 m

Latitude : 34°52'56"N

Longitude : 1°18'00"W

Profondeur moyenne du niveau piezométrique : 6 m.

A l'Est de Tlemcen, le puits GP est situé dans une maison d'un ancien quartier "Riyat-El-Hemmar" (sur la route de Tlemcen-Sidi-Bel-Abbès). Ce puits a été creusé au niveau même de la cuisine. Son propriétaire l'a traité durant la période d'échantillonnage afin d'utiliser son eau pour la consommation.

3.2.2.5. Puits Honaïne (HP) :

Altitude : 40 m

Latitude : 35°10'21"N

Longitude : 1°35'48"W

Profondeur moyenne du niveau piezométrique : 5 m.

Le puits HP a été creusé dans un champ à une dizaine de kilomètres à l'Est de Honaïne. Son eau, non traitée, est réservée à l'arrosage des cultures avoisinantes.

CHAPITRE III

MATERIEL ET METHODES

1. Méthodes d'analyse physico-chimique de l'eau :

Toutes les analyses ont été faites sur le terrain. L'eau interstitielle, utilisée pour les analyses dans le milieu hyporhéique, était celle qui emplissait le trou réalisé pour les sondages Karaman-Chappuis.

Pour les analyses dans le domaine phréatique, un échantillon d'eau provenant directement du puits ou de la source est utilisé.

La température, le pH et la conductivité de l'eau interstitielle et superficielle sont mesurés in situ :

- La température est relevée à l'aide d'un thermomètre à sonde,
- Le pH est déterminé grâce à du papier pH (précision 0,1 unité pH),
- La conductivité est mesurée grâce à un conductimètre à sonde,
- Les autres analyses, réalisées à l'aide des troussees HACH, concernent :
 - L'oxygène dissous dosé par la méthode de Winkler et exprimé en pourcentage de saturation,
 - L'acidité dosée par titrage avec une solution d'hydroxyde de sodium en présence de phénolphtaléine et exprimée en mg/l de carbonate de calcium,
 - L'alcalinité dosée par neutralisation de l'eau par l'acide sulfurique en présence de phénolphtaléine et exprimée en mg/l de CaCO_3 ,

- La dureté totale dosée par complexométrie avec une solution d'EDTA en présence du noir d'eriochrome et exprimée en mg/l de CaCO_3 ,
- Les chlorures dosés par une solution titrée de nitrate d'argent en présence de chromate de potassium et exprimés en mg/l de NaCl,
- Les nitrates dosés par réduction au nitrover V et exprimés en mg/l d'azote nitrique,
- Les nitrites dosés par réduction au nitrover II et exprimés en mg/l d'azote nitreux.

La profondeur par rapport à la surface du niveau pézométrique, est notée pour chaque prélèvement du milieu hyporhéique et phréatique.

2. Méthodes d'échantillonnage dans le milieu interstitiel :

La campagne d'échantillonnage s'est étalée sur trois ans, de 1986 à 1989 (**tableau I**). Les premiers prélèvements (de Juin 1986 à Juin 1987), dans le milieu hyporhéique, ont été réalisés selon la méthode des sondages Karaman-Chappuis. La seconde année fût consacrée aux récoltes dans le milieu phréatique des puits et des sources utilisant le système de balance. Juste après le retour des pluies en Mars 1989 (après une sécheresse prolongée depuis l'été 1988), nous avons repris les prélèvements dans le sous-écoulement des oueds utilisant cette fois, en parallèle avec la méthode Karaman-Chappuis, une technique de pompage adaptée de la méthode des sondages Bou-Rouch.

	1986			1987			1988			1989			Méthode de prélevement																	
	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M		J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J			
Code de la station suivi de la lettre	B		C		D		F		G		H														J	K	L	M	Karaman-Chappuis	
																										A	E	I	V	Pompage
																				N	O	P	Q						Balance	
Périodes d'assèchement	SD																													
	To																													
	R																													
	IM																													
	SS																													
	T8																													
	X																													
	H																													

Tableau I : Calendrier des prélèvements (selon le code adopté pour l'analyse factorielle des correspondances AFC) et périodes d'assèchement des oueds prospectés

2.1. La méthode Karaman-Chappuis :

Le principe de la technique est simple. Il suffit de creuser des trous sur les berges des cours d'eau ou dans le lit des oueds asséchés. L'eau qui s'y accumule est ensuite filtrée à l'aide d'un filet fin (300 μ m de vide de maille) pour recueillir la faune interstitielle entraînée dans le trou par les suintements.

Utilisée pour la première fois par Karaman en Yougoslavie en 1936 (in Motas, 1962), cette méthode a été ensuite reprise par Chappuis en 1942 (Chappuis, 1946). Ce dernier nota alors une forte diversité de la faune par rapport aux anciennes récoltes dans le milieu.

Les échantillons ont porté sur un volume de 30 litres d'eau par prélèvement.

2. 2. La méthode de pompage :

Nous avons utilisé une pompe à aspiration dont le système est conçu selon le principe des sondages tubés Bou-Rouch qui consiste à "prélever un maximum de matériaux à l'aide d'un courant d'eau afin d'entraîner les animaux interstitiels libres et fixés qui seront séparés ultérieurement du sédiment" (Bou, 1974).

2.2.1. Description de l'appareil de pompage utilisé :

Le système est constitué d'un seul ensemble en tôle galvanisée qui comprend à la fois la sonde et la pompe (fig. 7).

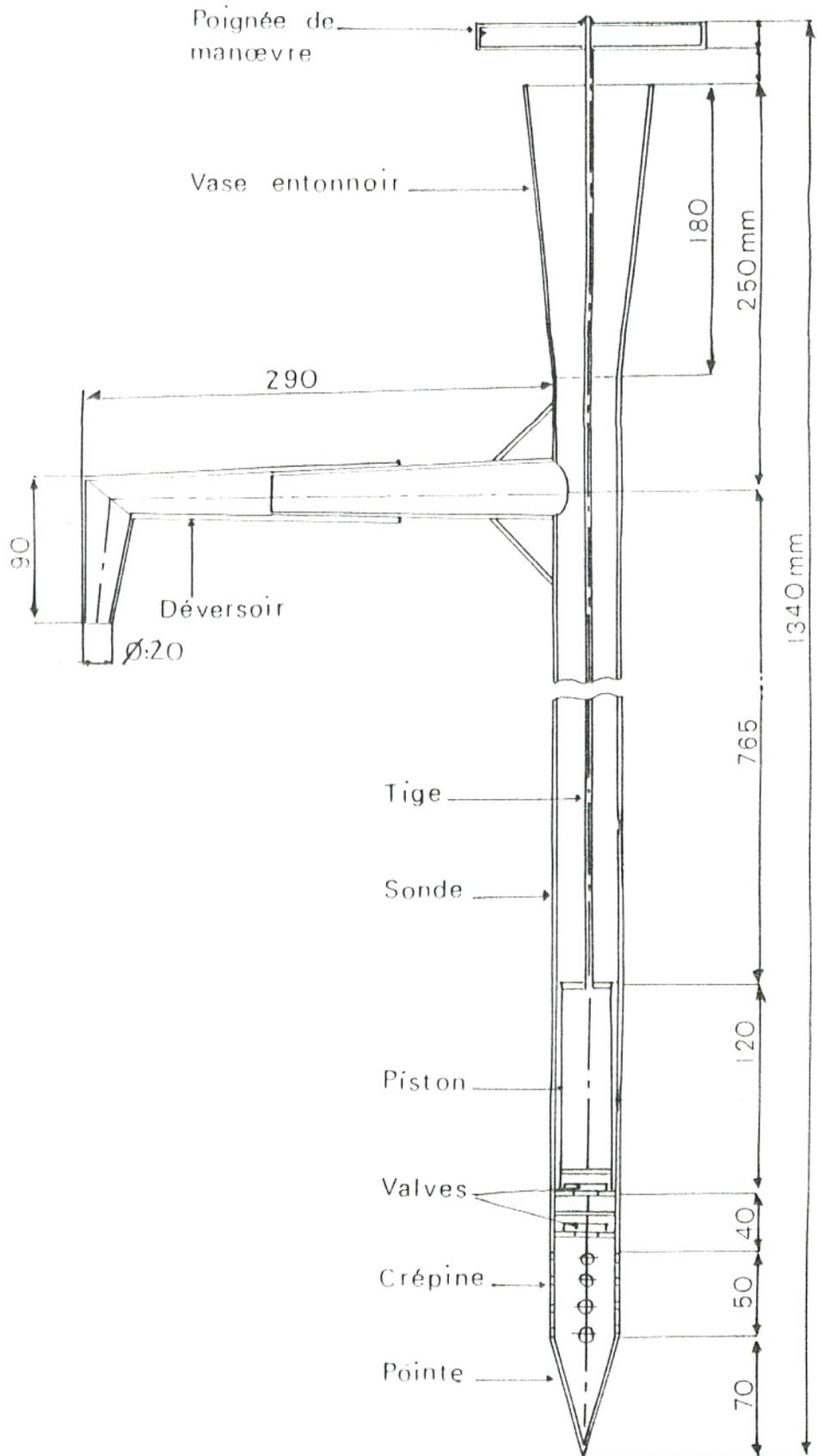


Fig. 7 : Le système de pompage utilisé dans le milieu hyperbérique.

2.2.1.1. La sonde :

C'est un tube de 4cm de diamètre et d'un mètre de long, surmonté d'un vase en forme d'entonnoir de 18cm de hauteur, et terminé par une pointe pyramidale. Juste au dessus de la pointe, la sonde est percée, sur une hauteur de 5cm, de trous de 0,2cm de diamètre : c'est la crépine. Un système de valves, situé au dessus de la crépine, empêche le retour de l'eau aspirée par les mouvements du piston. Un déversoir, situé à la partie supérieure de la sonde, permet de recueillir l'eau pompée.

2.2.1.2. le piston :

Il est constitué, dans sa partie inférieure, d'un cylindre muni d'une petite ouverture à sa base et contenant un système de valves fonctionnant à l'inverse de celui de la sonde et permettant une aspiration de l'eau dans le corps de la pompe.

2.2.1.3. le système de pompage ou "pompe" :

Une fois le piston en place, les deux systèmes de valves viennent en contact. Après quelques mouvements d'amorçage, l'eau interstitielle est aspirée par le va-et-vient du piston. Cette eau remonte le long de la sonde pour être refoulée par le déversoir. Le débit est d'environ 5 litres par minute.

2.2.2. Technique de prélèvement sur le terrain :

On enfonce la sonde dans le sédiment au voisinage du niveau piezométrique. L'eau pompée, chargée de sédiments fins et autres, est recueillie dans un seau de 10 litres et filtrée sur un filet de $300\mu_m$ de vide de maille. Cette opération est répétée à plusieurs reprises. Le volume filtré est de 30 litres par échantillon. Danielopol (1976) estime que les dix premiers litres d'eau pompée sont représentatifs du peuplement interstitiel situé au voisinage de la crépine. Le matériel récolté est fixé au formaldéhyde à 5 %.

Remarques :

* Les points de prélèvements n'étaient pas fixes afin d'éviter toute perturbation provoquée dans le sédiment par les pompages répétés dans un même endroit (changement de la granulométrie et même de la densité du peuplement (Dole, 1983)).

* La majorité de la faune interstitielle se concentre dans les couches les plus superficielles (Bou, 1974; Williams et Hynes, 1974; Danielopol, 1976), là où se déroulent la plupart des réactions de transformation de la matière organique (Husmann, 1974; 1975). Ainsi nous avons effectué les prélèvements au voisinage du niveau piezométrique, à une profondeur moyenne de 30cm.

* Contrairement à la pompe Bou-Rouch, notre appareil ne permet pas d'échantillonner en dessous de 50cm de profondeur car la sonde (1 mètre de long seulement) fait partie intégrante du système de pompage.

2.3. Méthode de récolte de la faune des puits et des sources :

Pour ces prélèvements, nous avons utilisé le système de balance. Ce type de piège comprend un filet en soie à bluter, de 50cm de profondeur, fixé à une armature métallique chromée rectangulaire (30cmx40cm de dimension). Le filet est lesté, en sa partie inférieure, par un poids et suspendu par un système de cordes qui relie les quatre coins du cadre (fig. 8).

La technique consiste à plonger le filet appâté (viande ou fromage) au fond du puits ou dans le bassin de la source. Après une durée d'environ 48 heures, le filet est retiré afin de récupérer le matériel récolté qui sera fixé au formaldéhyde à 5 %.

2.4. Traitement de l'échantillon :

Au laboratoire, le tri se fait directement sous la loupe binoculaire. Les animaux récoltés sont conservés dans l'alcool à 70°C pour les déterminations spécifiques établies par les spécialistes.

2.5. Traitement des données :

Les données ont subi un traitement comportant d'une part un calcul des indices de diversité et de similitude et d'autre part, une analyse factorielle des correspondances accompagnée d'une classification hiérarchique.

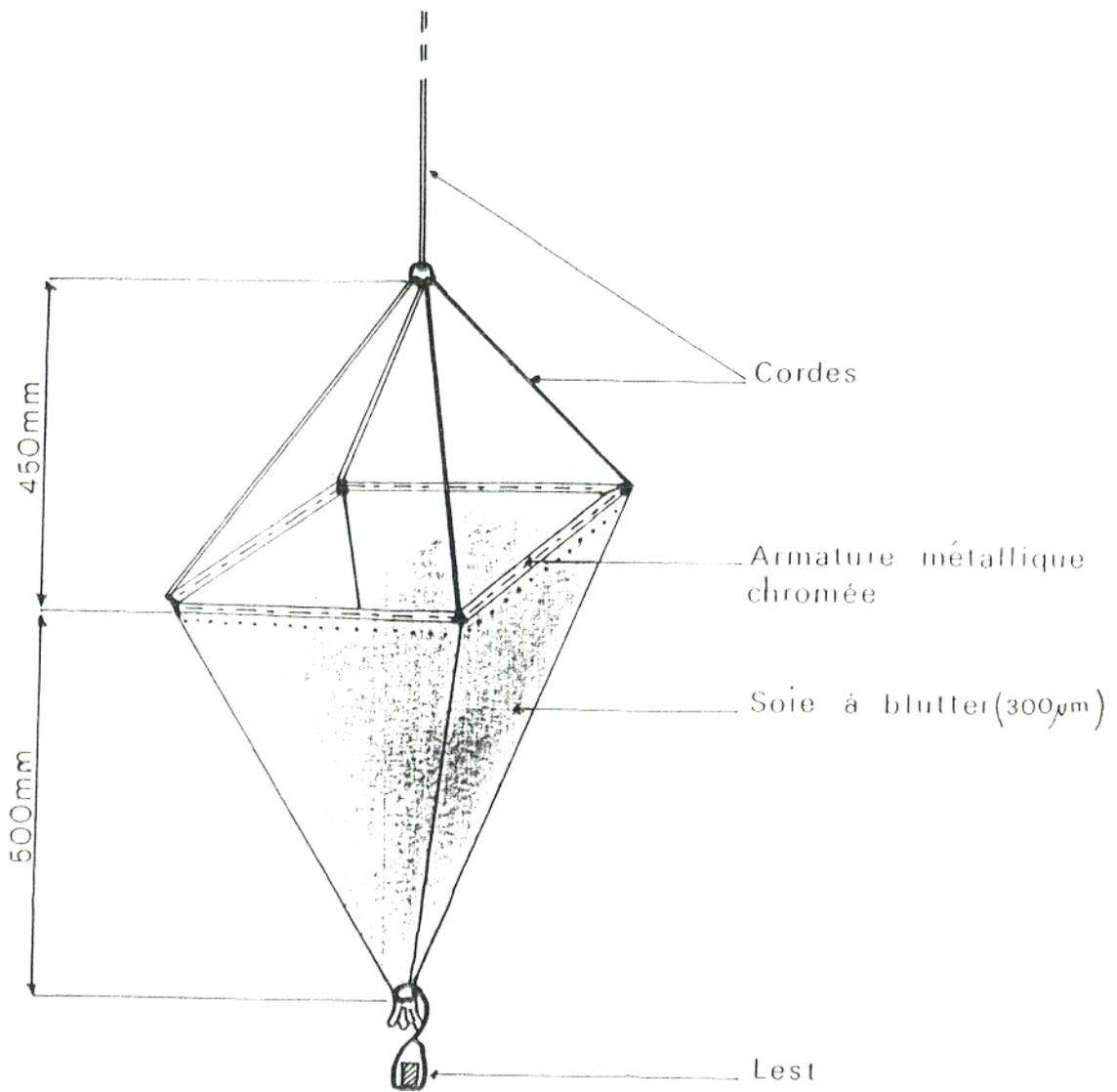


Fig. 8 : La balance utilisée dans le milieu phréatique.

2.5.1. Indices de diversité et de similitude :

Les indices de diversité utilisés sont :

■ L'indice de Fischer α : $S = \alpha \log (1 + NT/\alpha)$

■ L'indice de Simpson $D = \text{somme de } (NS/NT)$

Il est maximal (de l'ordre de 1) quand il y a une dominance quasi absolue d'un seul taxon et minimal quand tous les taxons ont la même abondance.

■ L'indice de Shannon $H = - \text{somme de } (NS/NT) \log (NS/NT)$

Cet indice atteint sa valeur maximale lorsque tous les taxons ont la même abondance.

■ L'indice d'équitabilité $E = H/\log (S)$

L'équitabilité varie entre 0 et 1, elle tend vers 0 quand la quasi-totalité des effectifs correspond à un seul taxon et tend vers 1 lorsque chacun des taxons est représenté par le même nombre d'individus.

S = nombre de taxons.

NS = nombre d'individus par taxon.

NT = nombre total d'individus.

Les indices de similitude employés sont :

■ l'indice de Jaccard $J = \frac{Sc}{(Sx + Sy) - Sc} \cdot 100$

■ l'indice de Sorensen $S = \frac{2 Sc}{Sx + Sy} \cdot 100$

Sx : nombre de taxons de la station x .

Sy : nombre de taxons de la station y .

Sc : nombre de taxons communs.

2.5.2. Analyse factorielle des correspondances (AFC) :

L'analyse factorielle des correspondances permet d'ordonner les valeurs d'un tableau suivant un certain nombre d'axes correspondant à des facteurs de distribution.

Nous avons effectué l'AFC sur trois types de données. La première analyse est établie sur les densités de tous les taxons récoltés; la seconde analyse concerne les logarithmes des densités et la troisième est effectuée sur les variables disjonctées. Dans ce dernier type de présentation des données, chaque unité taxonomique est représentée deux fois selon qu'elle est présente ou absente.

exemple :

	NE ₁	NE ₀
Si le taxon est présent	1	0
Si le taxon est absent	0	1

NE : taxon des Nématodes.

Ainsi le poids de chaque ligne du tableau des données est équivalent.

Nous avons utilisé le sous-programme MYSTAT pour l'entrée des données et le programme SYSTAT pour le traitement.

L'introduction des données dans l'ordinateur a nécessité un code pour les prélèvements (tableau I) et un second pour les taxons (voir liste faunistique).

2.5.3. Classification hiérarchique :

La classification hiérarchique permet le regroupement des identificateurs de lignes ou de colonnes d'un tableau selon leur degré d'affinités.

Elle a été établie sur les coordonnées des points obtenus pour les quatre premiers facteurs de l'AFC réalisée sur les variables disjointées.

Le code des prélèvements et des taxons est celui qui a été utilisé pour l'AFC.

CHAPITRE IV

RESULTATS DE L'ANALYSE PHYSICO-CHIMIQUE DE L'EAU

1. Le milieu hyporhéique :

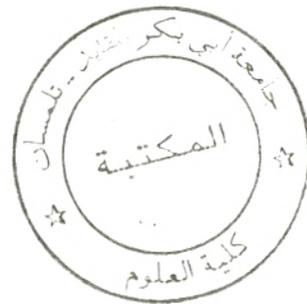
1.1. Comparaison des milieux superficiel et interstitiel :

Outre l'analyse des eaux interstitielles, nous avons mesuré quelques paramètres physico-chimiques des eaux de surface des oueds afin de les comparer (tableau II).

1.1.1. La température :

La température, facteur écologique important, est considérée comme un "régulateur de biocénose" dans le milieu interstitiel (Angelier, 1962).

Pour la majorité des stations, nous avons relevé des températures plus faibles en moyenne dans le sous-écoulement que dans le cours superficiel (fig. 9). La différence n'est pas significative au seuil de 95% de sécurité, mais elle est simplement dûe à un léger réchauffement des eaux de surface par le rayonnement solaire, d'autant plus qu'au niveau des étages supérieurs du milieu interstitiel la température de l'eau est fortement liée aux conditions climatiques du sol, en particulier l'ensoleillement des terrains (Wisniewsky in Delamare - Deboutteville, 1960).



		SD		To		R		IM		S		T8		X		H	
		sup	int	sup	int	sup	int	sup	int								
T°C	min	5.5	1.2	13.4	10	13	10.2	12.1	8.8	12.3	13	19.7	10	10.7	10.6	9.7	9.4
	max	28.4	26	21	22.8	17.7	22	18.2	20	16	16	32.3	30	27.3	24.2	25.4	25.8
	m	19.6	16.9	17.3	17.0	14.9	14.9	14.6	13.8	14.9	25.9	25.92	22	21.3	16.6	18.76	17.7
	σ	8.03	6.68	2.51	3.31	1.83	3.45	2.28	3.60	1.32	0.9	4.56	6.07	7.53	4.39	6.06	5.63
pH	min	6.7	6.5	6.7	6.6	6.6	6.5	6.7	6.5	7.2	7	7.8	7.3	7.8	7	7	6.9
	max	7.6	7.6	7.6	7.6	6.8	7.1	7.7	7.6	7.6	7.7	8.4	8.4	7.8	7.7	7.4	7
	m	7.16	7.02	7.16	7.11	6.7	6.85	7.2	7	7.36	7.24	8.1	7.45	7.8	7.23	7.20	6.96
	σ	0.36	0.36	0.36	0.30	1	2.59	0.5	0.4	1.69	3	2.44	0.46	0	0.32	2	1.54
Conductivité $\mu\text{S/cm}$	min	740	1000	430	475	790	660	860	840	400	400	2400	2200	1800	1850	1075	900
	max	1050	1125	670	840	1430	1150	1500	1300	530	720	>10.000	>10.000	3600	3550	500	1580
	m	914	1057	554	665	1055	976	1140	1098	477	565.8			2733	2787	1271	1261
	σ	1276	54.6	99.7	1252	2333	5129	2815	1874	55.4	104.4	-	-	7363	6278	139.1	2072

Tableau I : Variations de la température, du pH et de la conductivité des milieux superficiel (sup) et interstitiel (int) des oueds durant la période d'échantillonnage.

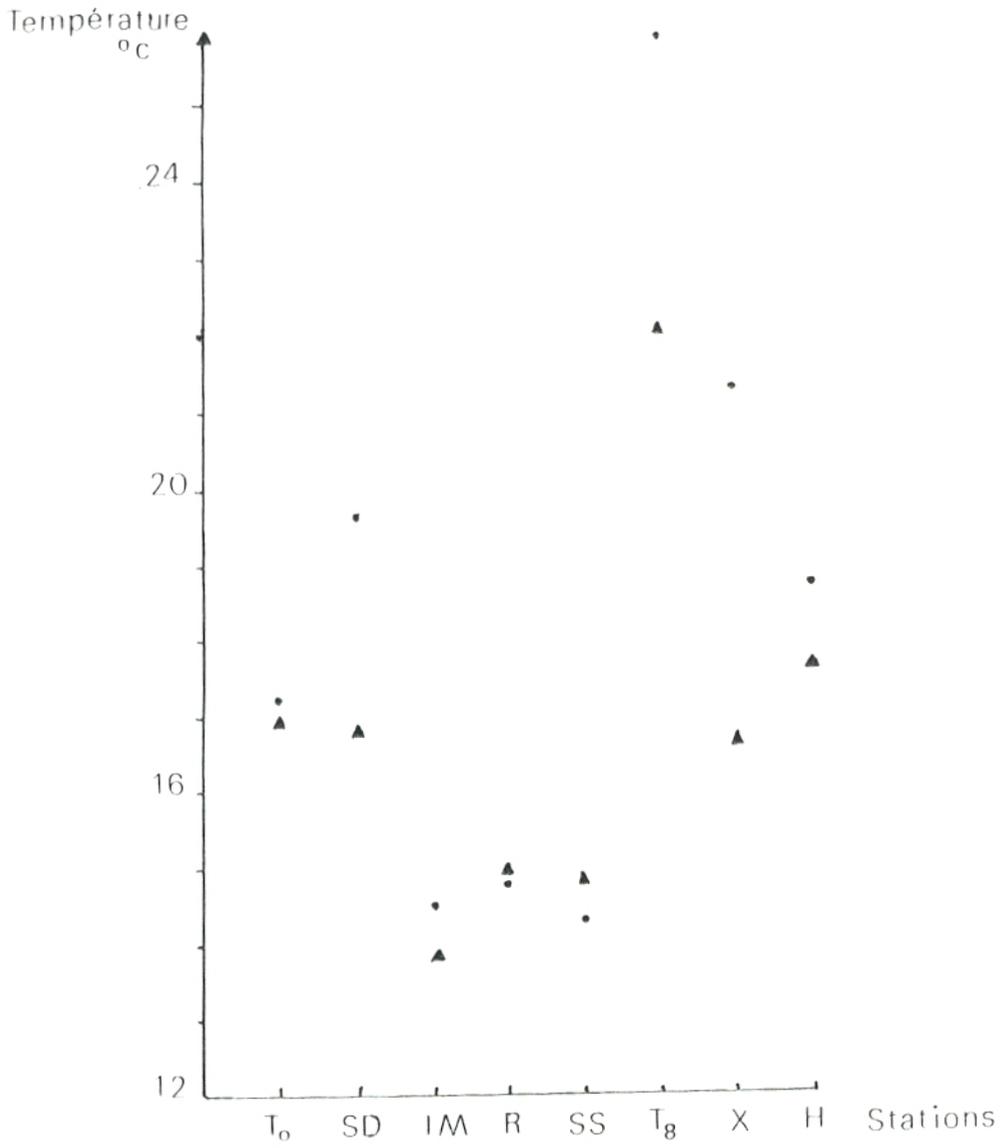


Fig. 9 : Températures moyennes superficielles (.) et interstitielles^(▲) de l'eau de chacune des stations du milieu hyporhéique

1.1.2. Le pH :

Les valeurs du pH oscillent autour de la neutralité avec une tendance vers l'alcalinité pour certains relevés des stations aval (pH = 8,4 en T₈ le 14-06-86).

Les eaux interstitielles ont un pH généralement plus faible que les eaux superficielles très influencées par l'activité photosynthétique. La différence observée de (0,1 à 0,5 unité pH) n'est pas significative au seuil de 95% de sécurité.

1.1.3. La conductivité :

Les valeurs mesurées dans les milieux superficiel et interstitiel sont du même ordre de grandeur, voire même égales, ceci traduit l'importance des échanges entre le milieu épigé et le sous-écoulement et leur analogie sur le plan chimique remarquée entre autre par divers auteurs (Angelier, 1953; Schwoerbel, 1961; Ruttner-Kolisko, 1961; Husmann, 1971; Williams et Hynes, 1974; Danielopol, 1976; Ferrarese et Sambugar, 1976; Braioni et al., 1980; Reygrobellet et al., 1981; Dole, 1983).

1.2. Caractéristiques physico-chimiques du milieu interstitiel :

Deux campagnes d'analyses, l'une en été, l'autre en hiver, ont été menées dans le but de connaître la nature des eaux interstitielles des stations prospectées (tableau III).

Paramètres		Heure	T°air (°C)	T°eau (°C)	pH	Conduc- tivité µs/cm	Acidi- té mg/l	Alcalinité (mg/l)	Dureté (mg/l)	Chlorures (mg/l)	O2 dissous (%)	nitrates (mg/l)	nitrites (mg/l)
Stations	Date												
SD	E14-09-86	13H50'	32,6	20,4	7,4	1125	114	680	442	287,5	32,5	0	0
	H23-01-88	17 20'	13,4	11,1	6,8	1000	102,6	408	782	250	42	5	0,04
To	E14-09-86	11H	26,2	18	7,4	840	114	527	578	75	25	4	0,03
	H23-01-88	17H	11,7	13	6,9	650	45,6	272	680	37,5	56	5	0,07
IM	E14-11-86	17H	20,4	13	6,8	1300	45,6	680	1700	200	76	0	0
	H11-02-88	10H40'	11,4	8,8	7,1	840	74,1	13,6	952	100	-	3	0,05
R	E14-11-86	16H	21,1	13,4	7,1	1150	39,9	442	1020	150	43	0	0
	H11-02-88	11H05'	12	10,2	7,1	1000	57	13,6	1020	150	-	1	0,05
SS	E26-09-86	10H	16	15	7	625	85,5	510	833	25	34	0	0
	H25-10-87	16H	29,7	16	7,7	485	17,1	13,6	595	20	50	6	0
T8	E19-09-86	15H50'	22,3	26	7,5	>10.000	239,4	340	2380	>6000	25	1	0,01
	H26-01-88	15H25'	22,2	16	7	2200	62,7	340	1258	550	42	6	0,03
X	E	Sec	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	H26-01-88	14H	21,3	13	7	3100	62,7	323	2482	1250	74	6	0,04
H	E19-09-86	18H05'	23,3	25,8	7	1400	17,1	272	578	450	50	2	0
	H18-01-88	15H45'	12,7	12,7	7	900	34,2	221	527	300	25	1	0,01
MP	E08-07-88	11H	2,6	16	7	-	45,6	-	731	100	-	4,5	0,01
	H21-01-88	10H	3,5	13	6,5	800	57	255	870	150	40,5	5	0,07
BP	E16-07-88	21H	28	20	7	-	68,4	-	289	137,5	-	5	0,01
	H15-01-88	16H30'	15,3	16,3	7,2	1400	85,5	408	1326	150	36	15	0
TP	H19-01-88	20H	7,2	15,3	7	1100	34,2	27,2	952	150	25,5	6	0,06
GP	H28-01-88	19H	-	17,2	7,2	1100	85,5	340	578	150	54	16	0,09
HP	H26-01-88	14H35'	23	15,6	7	4000	62,7	374	2788	1250	31	1	0,03

Tableau III : Résultats de l'analyse physico-chimique de l'eau dans les milieux hyporhéale et phréatique des deux campagnes d'analyse : été (E) et hiver (H).

1.2.1. La température :

On peut noter de grandes différences entre les stations, certaines stations présentent des températures faibles toute l'année, même en été (IM, R) tandis que d'autres subissent un net réchauffement en été (SD, T_g, H).

1.2.2. La conductivité :

La mesure de la conductivité a donné des valeurs élevées (supérieures à $400\ \mu\text{S/cm}$) pour la totalité des stations, reflétant ainsi la nature calcaréo-dolomitique des bassins versants. D'autre part, les valeurs sont plus élevées en été. Nous constatons donc, qu'après les pluies, la dilution des eaux des cours d'eau fait baisser la minéralisation dans le milieu hyporhéique (fig. 10).

La conductivité reste moyenne, pour les eaux Nord-africaines, à la station T₀ (maximum $840\ \mu\text{S/cm}$) et à la station SS (maximum $720\ \mu\text{S/cm}$) mais elle dépasse souvent $1000\ \mu\text{S/cm}$ dans les autres sites, ce qui est très élevé comparé aux classes établies par Nisbet et Verneaux (1970).

1.2.3. Les chlorures :

Le taux des chlorures, très variable, ne dépasse pas $300\ \text{mg/l}$ pour les stations amont, alors qu'il atteint $1250\ \text{mg/l}$ en basse altitude (station X). Effectivement, les teneurs élevées sont caractéristiques des eaux Nord-africaines en moyenne et en basse altitude. La station T_g, étant un cas particulier, donne des valeurs très élevées de la salinité.

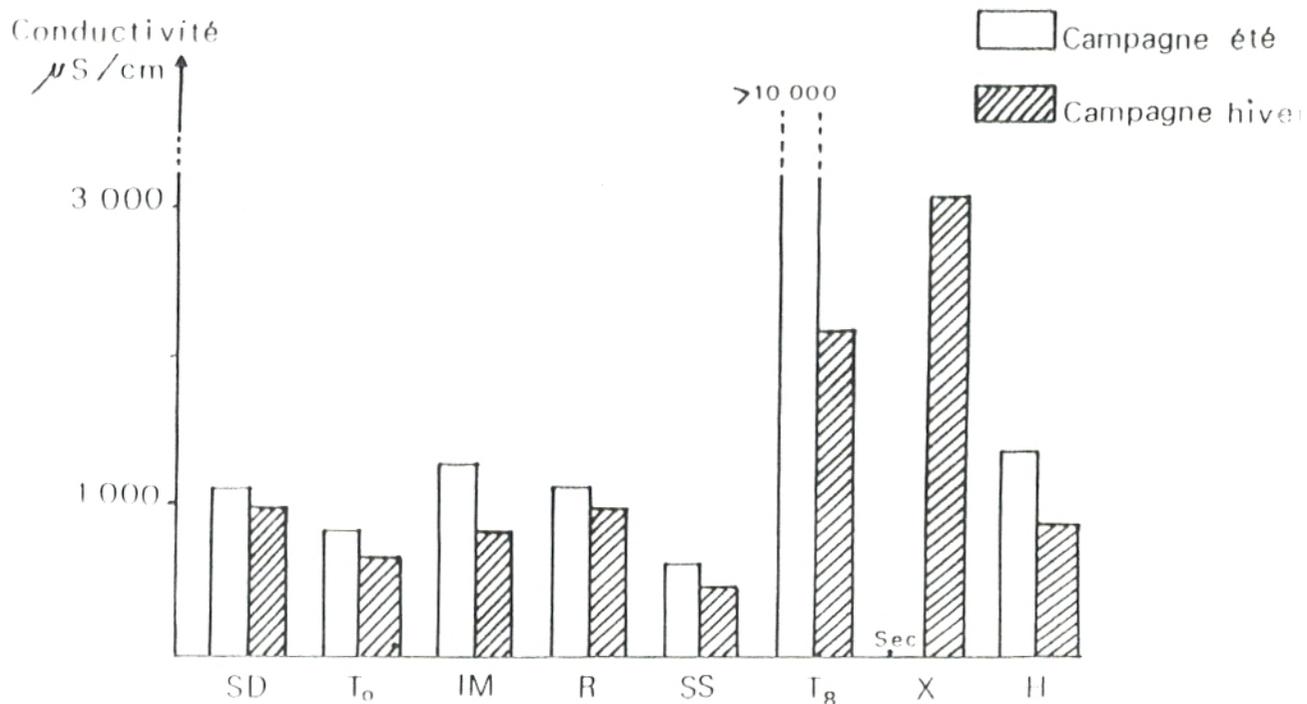


Fig. 10 : Valeurs de la conductivité de l'eau dans chacune des stations pour les deux campagnes d'analyse.

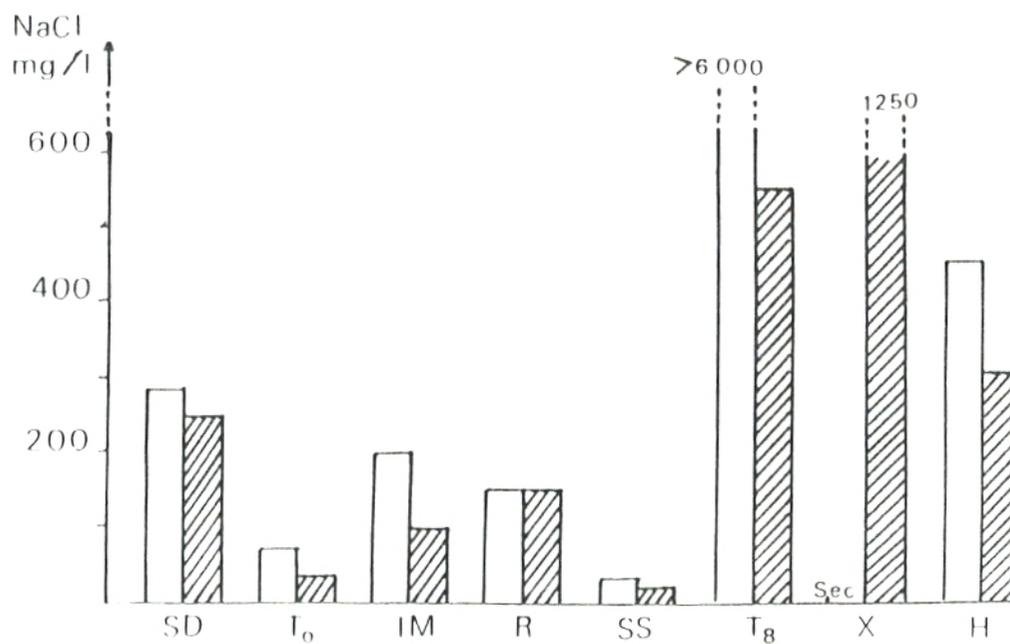


Fig. 11 : Teneurs en chlorures dans l'eau de chacune des stations lors des deux campagnes d'analyse.

Ceci est dû aux apports de l'oued Ed-Diab, un oued fortement salé qui traverse des terrains de marnes salifères du Trias.

Nous retrouvons une baisse de la teneur en chlorures dans les eaux interstitielles en hiver, en conséquence de la dilution des eaux des oueds après les pluies (fig. 11).

1.2.4. La dureté :

Les eaux interstitielles de nos stations sont dures, ce qui reflète la nature calcaire des terrains traversés. Cette dureté va en croissant de l'amont vers l'aval du bassin versant de la Tafna.

Au cours de nos campagnes, nous remarquons que les stations amont (SD et T₀) ont une dureté légèrement plus élevée en hiver qu'en été, alors que les stations aval (IM, SS, T₈ et H) présentent le cas contraire (fig. 12). Les eaux souterraines (phréatiques) chargées en CaCO₃ qui alimentent particulièrement le sous-écoulement des stations SD et T₀ pourraient être responsables de ces faits observés.

1.2.5. L'acidité :

L'acidité, représentant essentiellement la teneur en anhydride carbonique libre, est très variable d'une station à une autre. L'écart entre les relevés d'été et d'hiver varie aussi dans l'espace. Il est de 11,4 mg/l de carbonate de calcium en SD et de 176 mg/l en T₈ (fig. 13).

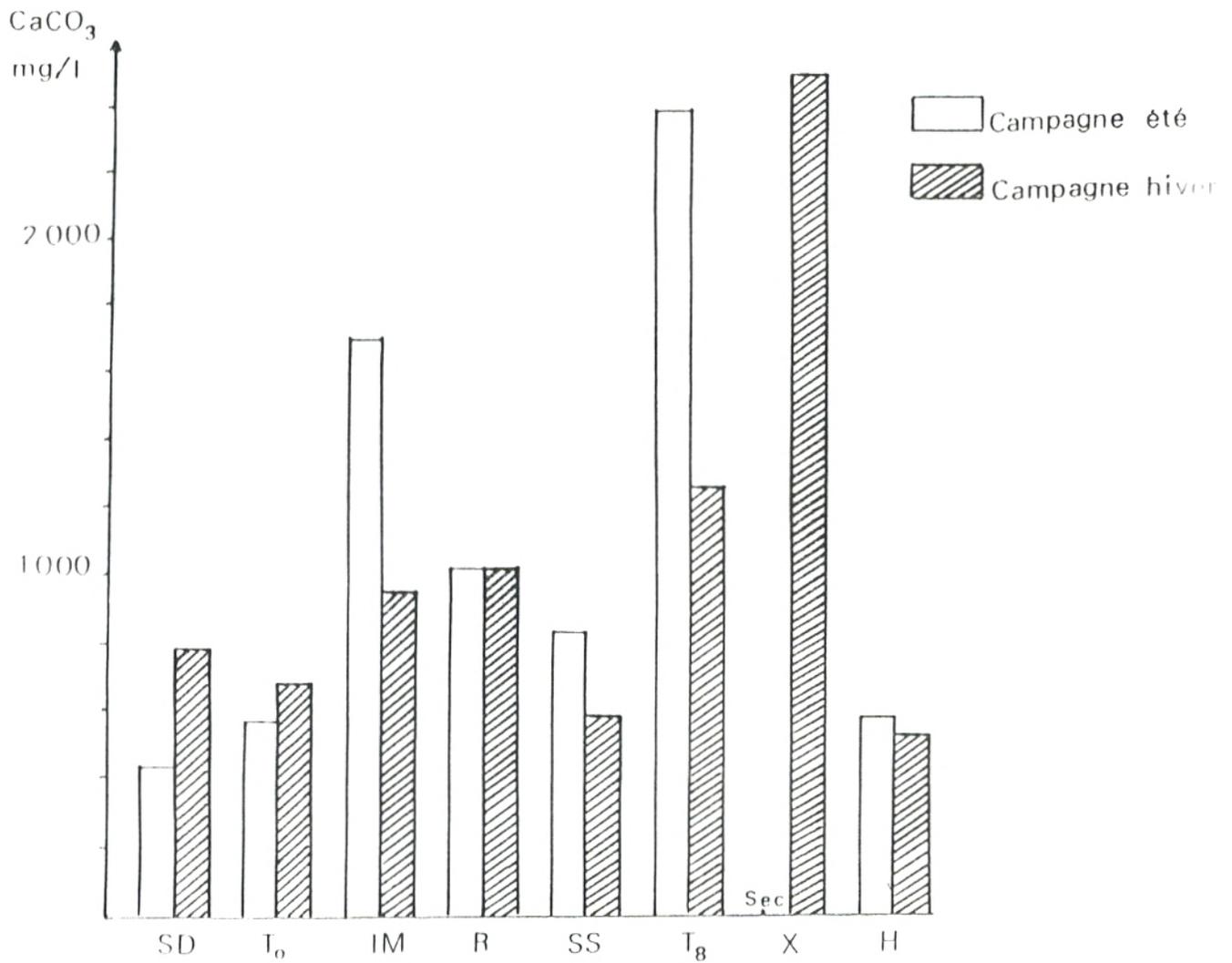


Fig. 12 : Valeurs de la dureté de l'eau dans chacune des stations

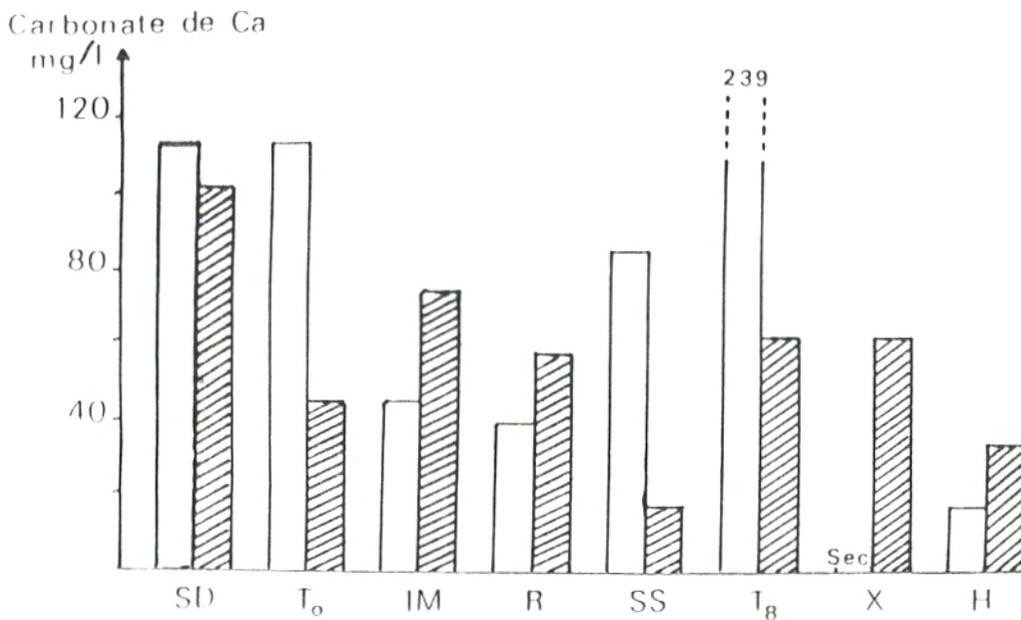


Fig. 13 : Valeurs de l'acidité de l'eau dans chacune des stations

1.2.6. L'alcalinité :

La nature karstique des terrains pourrait expliquer en partie la forte concentration en bicarbonates dans les stations localisées sur les Monts de Tlemcen (SD, T₀, IM, R et SS). Toutefois, nous notons une chute de l'alcalinité en hiver, probablement en raison de la dilution des eaux (fig.14).

1.2.7. L'oxygène dissous :

Les eaux interstitielles de nos stations sont toujours sous-saturées. Le pourcentage de saturation varie de 25 à 75% selon la station (porosité du milieu interstitiel, dynamique de l'écoulement...). La teneur en oxygène dissous diminue quand la température augmente. En effet, la campagne d'été donne des pourcentages de saturation plus faibles que celle de l'hiver (fig.15). La sous-saturation à certaines stations en été (T₀, T₈) est à mettre en relation avec une réduction des échanges air-eau due au colmatage des couches supérieures des alluvions et aux oxydations de la matière organique interstitielle.

1.2.8. Les nitrites :

La présence de nitrites sous forme de traces (0 à 0,07 mg/l) dans les eaux interstitielles est liée à la sous-saturation en oxygène du milieu. Nous pouvons dès lors dire que les eaux interstitielles des stations étudiées sont encore exemptes de pollution, Elles rejoignent les eaux du Jura (Nisbet et Verneaux, 1970) quant à leur teneur en nitrites.

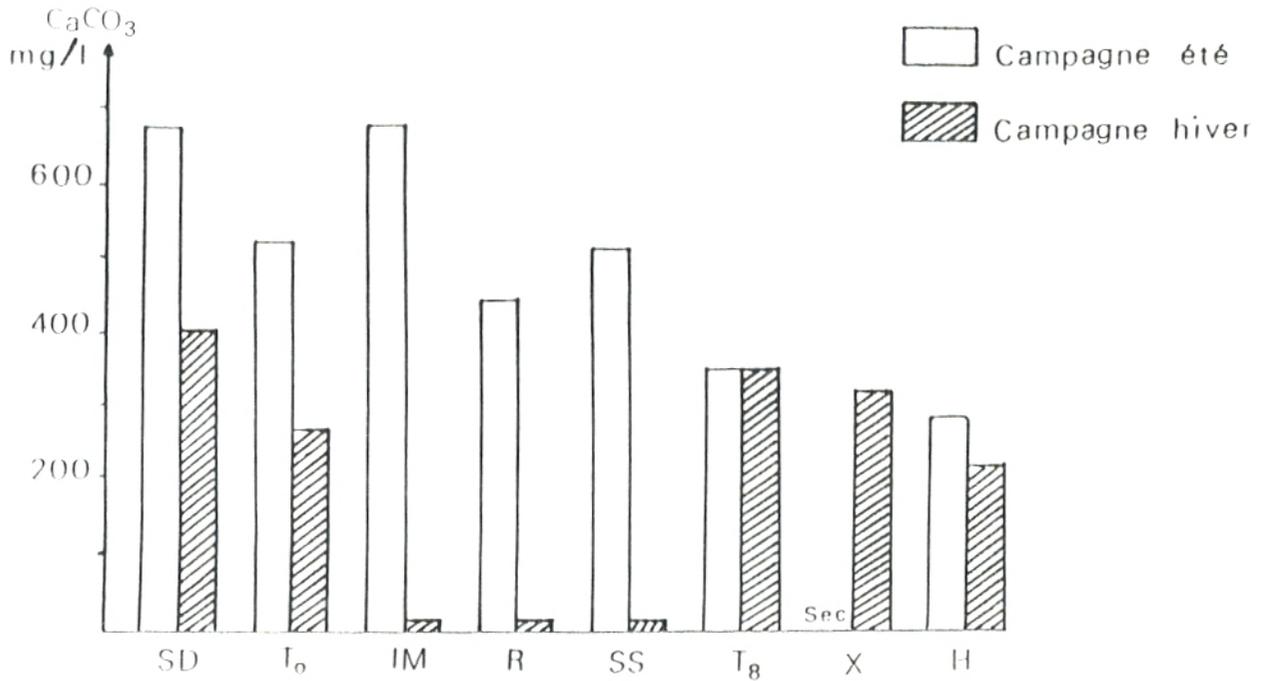


Fig. 14 : Valeurs de l'alcalinité de l'eau dans chacune des stations

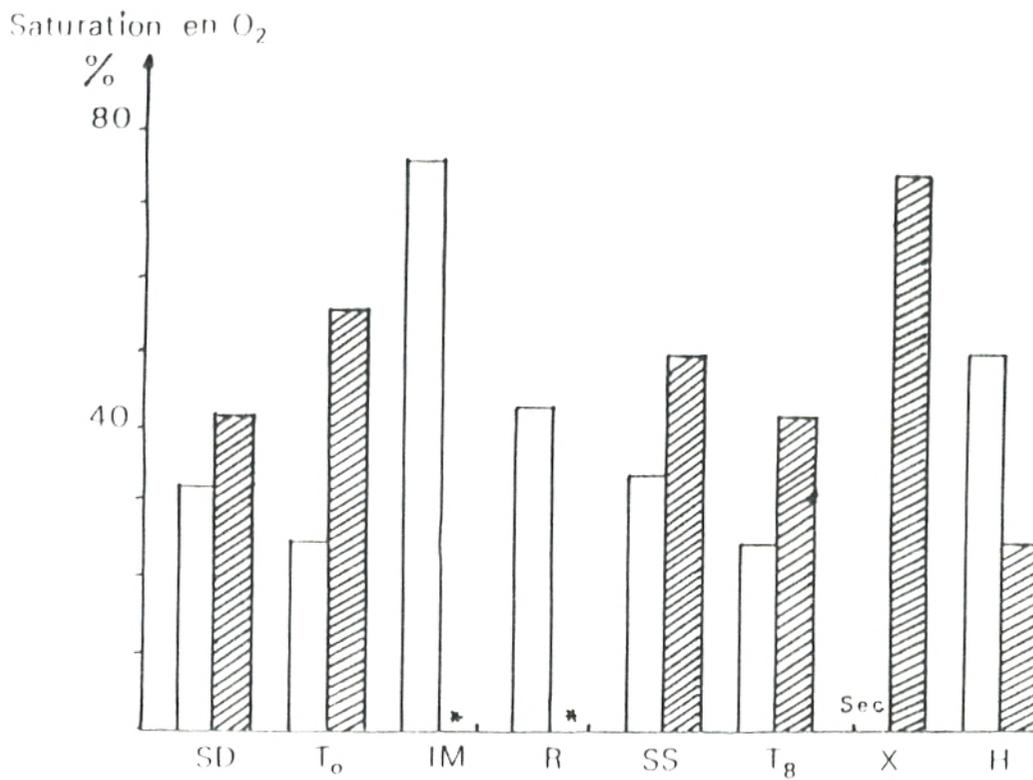


Fig. 15 : Pourcentage de saturation en oxygène dissous dans chacune des stations

* mesures non effectuées.

1.2.9. Les nitrates :

les teneurs en nitrates dans les eaux hyporhéiques sont loin d'être critiquables; elles correspondent aux normes des eaux naturelles établies par Nisbet et Verneaux (1970). De plus, les valeurs relevées en hiver sont plus élevées que celles de l'été (exception faite pour la station H où nous avons relevé 2 mg/l en été et 1 mg/l en hiver).

1.3. Conclusion :

L'eau interstitielle des stations prospectées garde dans l'ensemble les caractères physico-chimiques des eaux naturelles. Toutefois, certains critères qui caractérisent les eaux Nord-africaines restent valables, à savoir:

- * une minéralisation très élevée (supérieure à 400 μ S/cm) et en particulier pour les eaux de moyenne et de basse altitude,
- * un taux en chlorures très élevé dans la majorité des cas et surtout lorsque la station est influencée par l'eau qui traverse les marnes salifères du Trias de la région,
- * des eaux dures qui soulignent la nature calcaire des bassins versants et des terrains traversés.

Cependant, l'eau interstitielle des stations étudiées demeure encore de qualité et est loin d'être sujette à une pollution qui mérite d'être signalée. En effet, les teneurs en nitrates et nitrites sont celles des eaux naturelles non polluées.

2. Le milieu phréatique :

Les analyses de l'eau ont porté sur l'ensemble des puits en hiver et seulement sur deux puits (MP et BP) en été.

Du point de vue physico-chimique, les eaux des puits étudiés possèdent, comme celles du milieu hyporhéique les caractéristiques des eaux Nord-africaines (Tableau III).

Les températures relativement stables, sont celles des eaux souterraines de la région, le pH oscille autour de la neutralité, le milieu est toujours nettement sous-saturé en oxygène (valeurs inférieures à 50% de saturation) et les autres paramètres chimiques divisent les stations en trois groupes selon l'altitude :

- * le puits MP, en haute altitude, qui renferme une eau moins minéralisée (la conductivité est de $800\mu\text{S/cm}$),
- * les puits de la ville de Tlemcen (BP, TP et GP) qui sont moyennement minéralisés (la conductivité est supérieure à $1000\mu\text{S/cm}$),
- * le puits HP, fortement salé (1250mg/l de chlorures) qui montre une conductivité excessive atteignant $4000\mu\text{S/cm}$.

Les eaux phréatiques ne semblent pas atteintes par la pollution. Le taux de nitrates varie de 1 à 16 mg/l. Les faibles teneurs en nitrites proviennent d'une mauvaise minéralisation de la matière organique dûe au déficit en oxygène dissous.

3. Comparaison des milieux hyporhéique et phréatique :

Globalement on observe peu de différences entre les milieux phréatique et hyporhéique d'une même région concernant l'oxygène dissous, la conductivité et les paramètres reflétant la nature des terrains traversés (dureté et alcalinité).

Les températures dans le milieu phréatique sont plus constantes dans l'espace et dans le temps parce que moins soumises aux conditions climatiques. Les teneurs en chlorures sont en général plus constantes dans le milieu phréatique (environ 150mg/l), exception faite pour le puits HP. Dans certains puits de Tlemcen, la concentration en nitrates peut être trois fois supérieure à celle généralement mesurée dans le milieu hyporhéique.

CHAPITRE V
RESULTATS FAUNISTIQUES

1. Liste faunistique provisoire :

Seuls quelques groupes zoologiques sont déterminés au niveau spécifique. Les autres déterminations sont en cours. La liste qui suit est accompagnée du code de taxons utilisé lors de l'analyse statistique des données (analyse factorielle des correspondances : AFC).

	Codes	
	1 ^e -2 ^e AFC	3 ^e AFC
Plathelminthes		
Turbellariés		
Planariidae	PLA	
<u>Dugesia</u> sp.		
Némathelminthes		
Nématodes	NEM	NE ₁ -NE ₀
Annélides		
Oligochètes	OLI	OL ₁ -OL ₀
Achètes		
Erpobdellidae		
<u>Helobdella</u> sp.		
Mollusques		
Gastéropodes	GAS	GA ₁ -GA ₀
Arthropodes		
Crustacés		
Cladocères Det M ^{me} J. REY	CLA	
Macrothricidae		

<u>Ilyocryptus sordidus</u> (Liévin, 1848)		
<u>Macrothrix rosea</u> (Jurine, 1820)		
Ostracodes	OST	OS ₁ -OS ₀
Copépodes Det M ^h B. DUSSART		
<u>Eucyclops gr. serulatus</u>	EUC	EU ₁ -EU ₀
<u>Eucyclops agiloïdes</u> (G.O. Sars, 1918)	EUC	EU ₁ -EU ₀
<u>Paracyclops fimbriatus</u> (Fischer, 1853)	EUC	EU ₁ -EU ₀
<u>Afrocyclus gr. gibsoni</u>	CYC	CY ₁ -CY ₀
<u>Afrocyclus doryphorus</u>	CYC	CY ₁ -CY ₀
<u>Tropocyclops prasinus</u> (Fischer, 1860)	CYC	CY ₁ -CY ₀
<u>Paracyclops chiltoni</u> (Lindberg, 1958)	CYC	CY ₁ -CY ₀
<u>Cyclops gr. strenuus</u> (abyssorum O.G. Sars, 1863)	CYC	CY ₁ -CY ₀
<u>Megacyclops viridis</u> (Jurine, 1820)	CYC	CY ₁ -CY ₀
<u>Metacyclops lusitanus</u> (Lindberg, 1961)	CYC	CY ₁ -CY ₀
<u>Metacyclops minutus</u> (claus, 1863)	CYC	CY ₁ -CY ₀

Isopodes	ISO	-
Cirrolanidae		
<u>Sphaeromides</u> sp.		
Amphipodes	AMP	AM ₁ -AM ₀
<u>Gammarus</u> sp.		
Insectes		
Apterygotes		
Collemboles	CLB	CB ₁ -CB ₀
Arthropléones		
Entomobryidae		
Pterygotes		
Ephéméroptères	EPH	EP ₁ -EP ₀
<u>Centroptilum</u> sp.		
<u>Caenis luctuosa</u>		
(Barmeister, 1939)		
Trichoptères	TRI	-
<u>Hydropsyche</u> sp.		
Hétéroptères	HEM	-
Corixidae		
<u>Micronecta</u> sp.		
Autres corixidae		
Coléoptères	COL	-
Diptères		
Chironomidae	CHI	CH ₁ -CH ₀
Ceratopogonidae	CER	CE ₁ -CE ₀
Simulidae	SIM	SI ₁ -SI ₀
Culicidae	CUL	-
Limoniidae	LIM	LI ₁ -LI ₀

Stratiomyidae	STR	-
Tabanidae	TAB	-
Psychodidae	PSY	PS ₁ -PS ₀

Les déterminations étant incomplètes, nous avons effectué le traitement sur les unités taxonomiques.

2. Remarques générales sur les peuplements :

Les résultats faunistiques obtenus qu'incomplets, n'en permettent pas moins de déceler une nette variabilité du point de vue densité et diversité de la faune entre les stations (fig. 16).

2.1. Le calcul des indices de diversité (tableau IV)

Il montre une diversité peu élevée dans l'ensemble des milieux prospectés. Ceci est directement lié au fonctionnement des oueds de la région, à savoir un assèchement estival très irrégulier, à la particularité du milieu phréatique et naturellement au manque de déterminations spécifiques.

Les indices de Shannon et de Fischer séparent les stations en deux ensembles distincts :

■ Les stations du milieu hyporhéique du bassin de la Tafna (l'indice de Shannon $H \geq 2$), relativement diversifiées, avec une biocénose qui comprend la majorité des groupes zoologiques. Ce sont les stations SD, T₀, R, SS, IM et T₈ des oueds de la région supérieure et moyenne du bassin versant de la Tafna, caractérisées par des eaux peu minéralisées (excepté la station T₈ qui est un cas particulier).

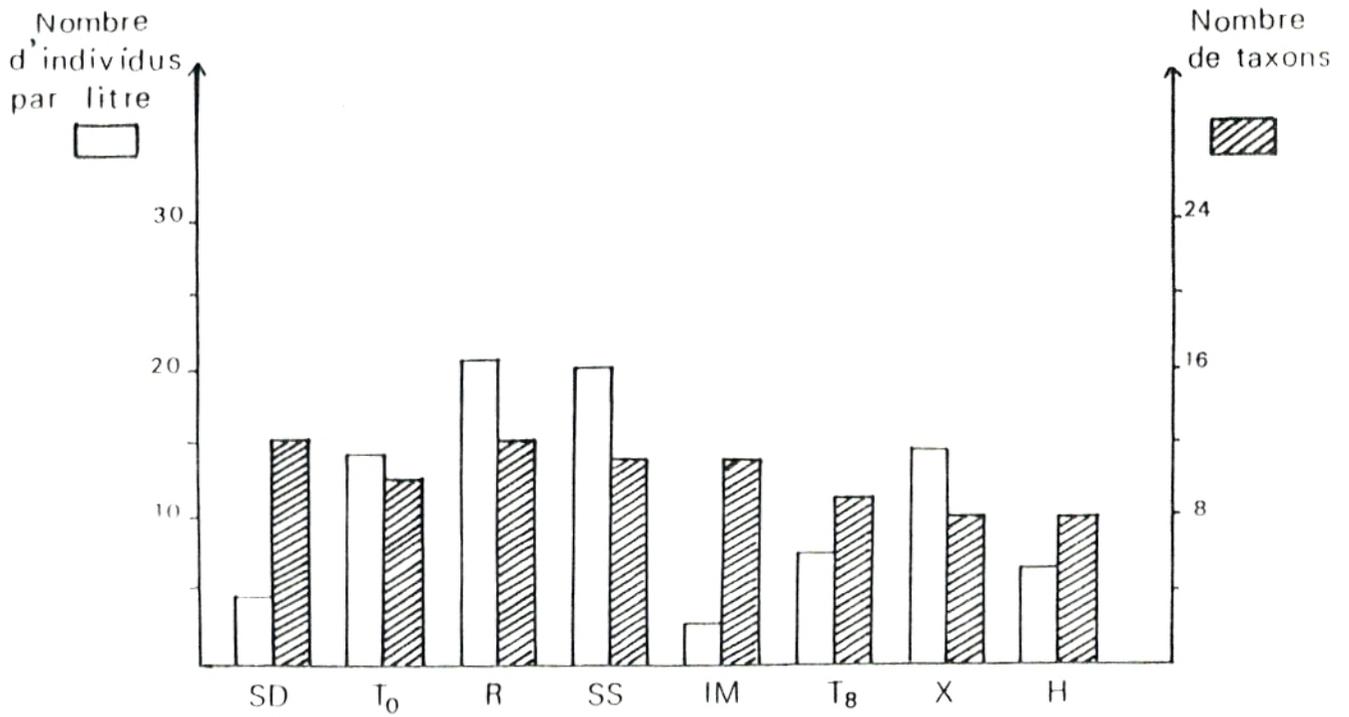


Fig. 16 : Densité et diversité de la faune des différentes stations du domaine hyporhéique.

■ Les stations côtières (X et H) ainsi que les stations du domaine phréatique des puits et des sources (l'indice de Shannon H est compris entre 0 et 1,5) qui abritent des communautés restreintes à quelques taxons. La forte minéralisation des eaux des oueds côtiers et les conditions de vie dans le milieu phréatique prospecté par une méthode peut être peu adéquate sont les principales explications de cette faible diversité de la faune.

Du point de vue structure des peuplements, nous observons dans la majorité des stations une répartition en faveur d'un groupe moyennement dominant, intervenant dans le fonctionnement du milieu, accompagné de quelques taxons moins bien représentés et d'autres, très rares, qui conditionnent la diversité et la particularité de la station. Ceci se traduit par des valeurs moyennement élevées de l'indice d'équitabilité E et par opposition des valeurs assez faibles de l'indice de Simpson D pour la plupart des stations. Les Oligochètes (dominants en SD, IM, X et H), les Ostracodes (dominants en R et SS), les Copépodes (dominants en T₀, SD et T₈) et les larves de Chironomides (dominants en T₀, X et H) représentent les principaux groupes peuplant le milieu hyporhéique des oueds étudiés. Les représentants de la faune benthique des oueds (diverses larves de Diptères et d'Ephéméroptères) constituent les taxons rares qui trouvent refuge dans le milieu hyporhéique quand les conditions ne sont pas favorables en surface à certaines périodes de l'année (un assèchement estival par exemple).

Indices	SD	TO	R	SS	IM	TS	I	H	MP	BP	TP	GP	HP	OS	MS
Nombre de taxons	12	10	12	11	11	9	8	8	4	4	1	1	3	2	2
Indice de fischer a	2.4	1.61	2.03	1.81	2.5	1.61	1.23	1.47	0.94	0.95	49.7	0.5	0.91	-	-
Indice de Simpson D	0.27	0.37	0.29	0.24	0.18	0.30	0.52	0.48	0.36	0.4	1	1	0.53	0.93	0.83
Indice de Shannon H	2.36	1.95	2.20	2.51	2.65	2.01	1.2	1.4	1.58	1.5	0	0	1.16	0.22	0.43
Indice d'équitabilité Z	0.66	0.58	0.61	0.72	0.76	0.63	0.4	0.46	0.79	0.75	0	0	0.73	0.22	0.43

Tableau IV : Indices de diversité de la faune récoltée dans les milieux hyporhéique et phréatique.

Des organismes, surtout planctoniques (Ostracodes et Copépodes), caractérisent les puits MP et BP, alors que les Amphipodes constituent la presque totalité du peuplement des sources.

2.2. Le calcul de l'indice de similitude montre la séparation entre les deux milieux phréatique et hyporhéique. Deux grands groupements, correspondant l'un au milieu hyporhéique (40 à 80% de ressemblance) l'autre au milieu phréatique (moins de 30% de ressemblance), apparaissent sur la matrice des indices de similitude (fig. 17).

Au niveau du groupe des stations du milieu hyporhéique, nous pouvons distinguer deux sous groupes :

- le premier (70 à 80% de ressemblance) correspondant aux stations de l'amont (R, SD, T₀ et IM) caractérisées par des eaux peu minéralisées et une faune diversifiée,

- le second (40 à 70% de ressemblance) regroupant les stations de l'aval (T_g, X et H) avec une biocénose moins diversifiée que celle des stations amont et des eaux hautement minéralisées,

- et la station SS, intermédiaire, qui présente des ressemblances avec les deux sous-groupes.

Il apparaît que si les peuplements du milieu hyporhéique sont constitués à partir des mêmes taxons, il n'en va pas de même pour le milieu phréatique où chaque puits semble avoir sa faune propre et se distingue des autres par des taxons qui lui sont propres. Les deux sources ont un peuplement identique.

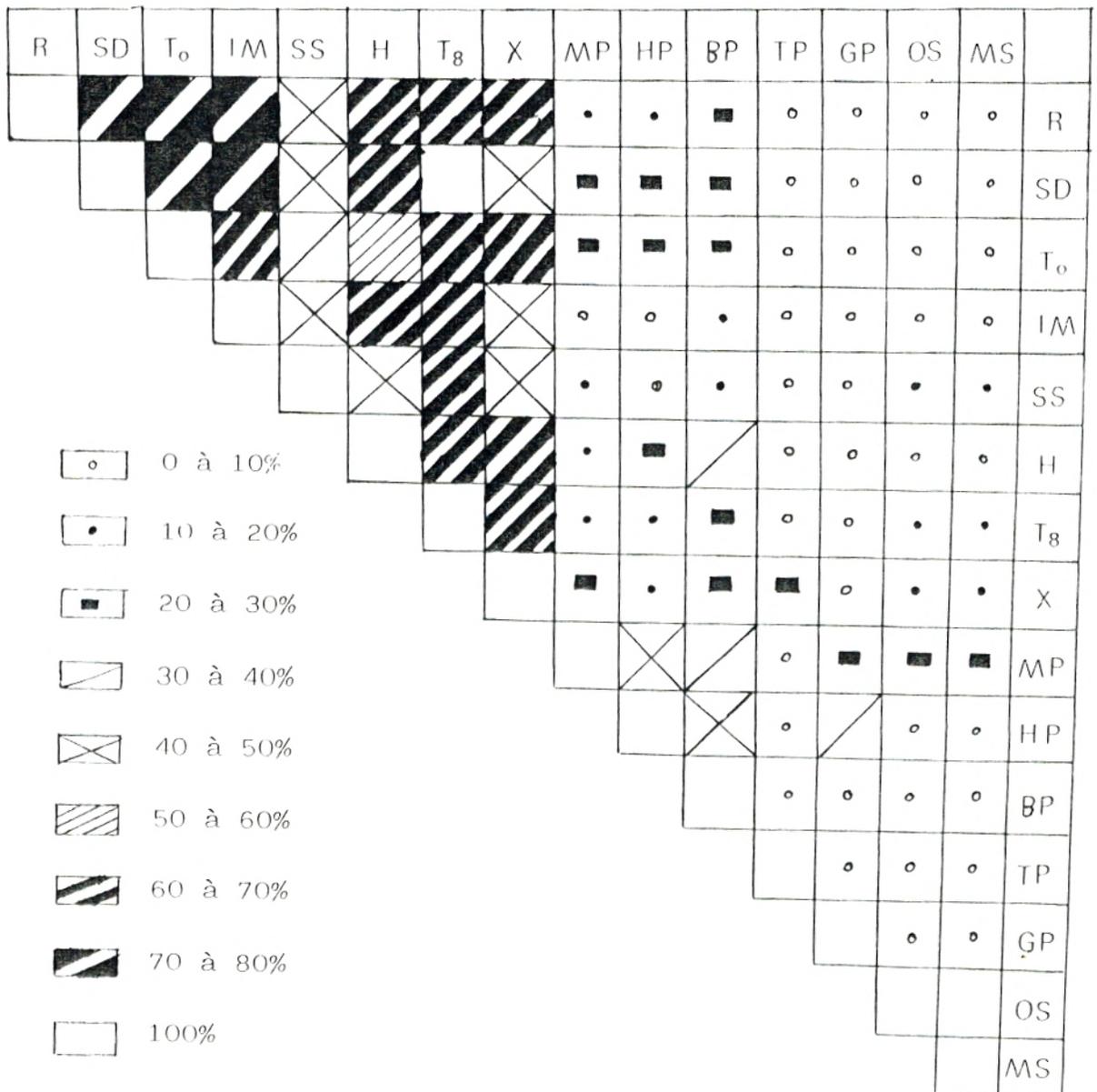


Fig.17 : Matrice des indices de Similitude .

3. Composition et structure des peuplements

L'analyse des peuplements fait apparaître les différences qui existent entre les milieux prospectés.

3.1. Le milieu hyporhéique :

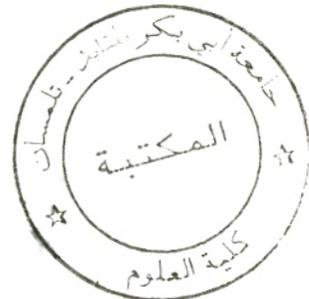
3.1.1. Peuplement de la station SD :(fig. 18A)

Une étude préliminaire de ce biotope (Gagneur et Chaoui Boudghane, 1991) a montré la grande diversité du peuplement en dépit d'une densité de faune relativement faible (19,4 individus par litre). En effet, le présent travail confirme ce résultat puisque la station SD figure parmi les stations les moins denses (4,5 individus par litre) avec une diversité taxonomique relativement élevée (12 taxons ont été récoltés au total).

Quatre groupes principaux (Nématodes, Oligochètes, Ostracodes et Copépodes), avec une dominance des Oligochètes qui représentent près de 47% du peuplement global, forment plus de 87% du peuplement.

Les larves d'Insectes, représentées essentiellement par les Chironomides, sont beaucoup moins importants que les premiers taxons.

L'étude du diagramme de Mandelbrot montre que le peuplement présente une structure relativement équilibrée (fig. 18A).



3.1.2. Peuplement de la station T₀ (fig. 18A).

Le peuplement de la station T₀ est plus dense (14 individus par litre) qu'en SD, mais moins diversifié.

Sur un total de 1820 individus, les Copépodes forment 58% du peuplement. D'autres groupes zoologiques sont aussi bien représentés, bien que moins abondants : ce sont les Oligochètes (10%), les Ostracodes (12%) et les Chironomides (13%), la présence de diverses larves de Diptères (Limoniides, Cératopogonides, Culicides et Psychodides) et d'Ephéméroptères contribue à une augmentation de la diversité taxonomique de la faune à la station.

La dominance des Copépodes traduit une structure du peuplement moins équilibrée sur le diagramme de Mandelbrot (fig. 18A).

3.1.3. Peuplement de la station R (fig. 18B).

Les relevés effectués à la station R sont les plus denses (20 individus par litre). Les animaux capturés se répartissent en 12 taxons.

Les Ostracodes et les Oligochètes représentent les principaux groupes, ils constituent à eux seuls 72% de la faune récoltée. D'autres taxons, moins abondants, entrent dans la composition de ce biotope, leur abondance varie entre 3 et 9%. Ce sont, par ordre décroissant, les Gastropodes, les Copépodes, les Chironomides et les Nématodes. Ceci se traduit sur le diagramme de Mandelbrot par une tendance climacique quant à la structure du peuplement (fig. 18B)

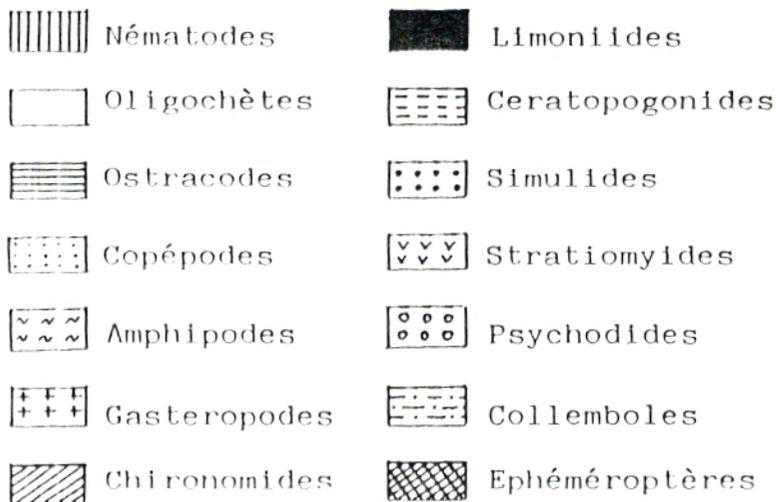
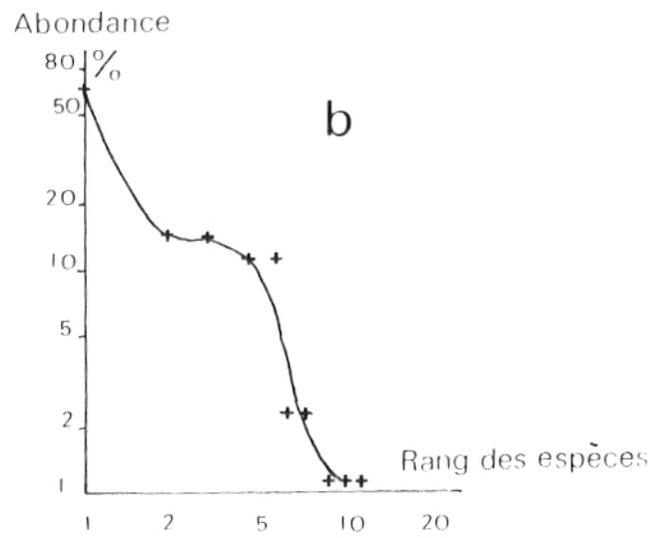
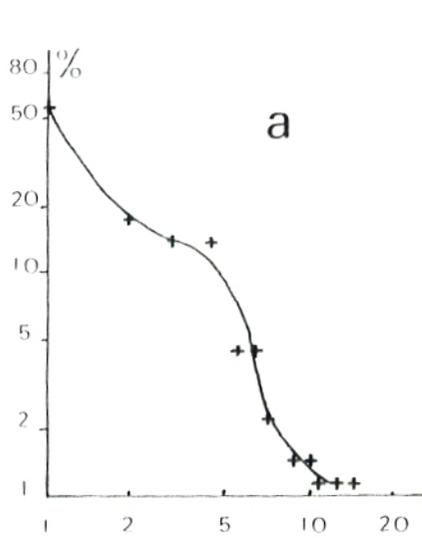
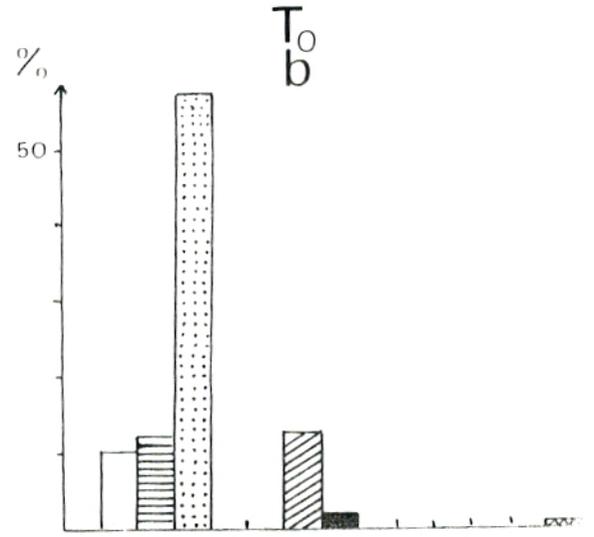
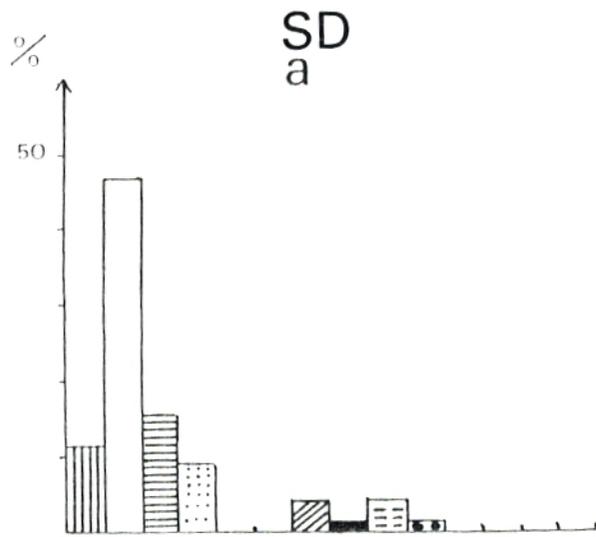


Fig 18A: Abondances relatives des principaux taxons et courbes des diagrammes de Mandelbrot des peuplements des stations SD et T₀.

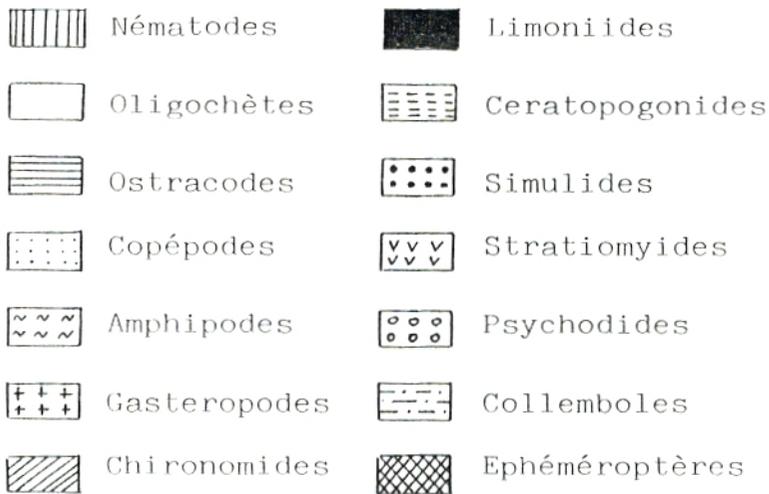
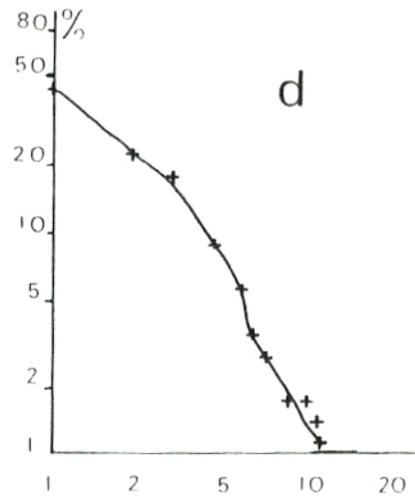
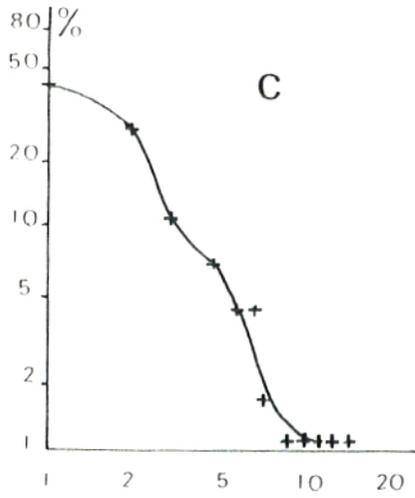
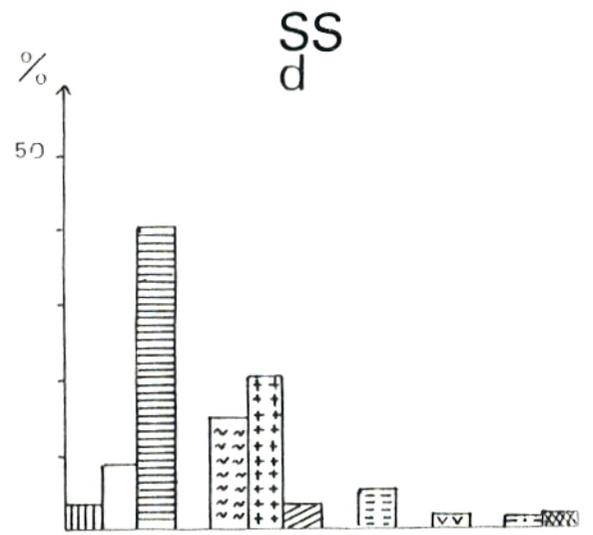
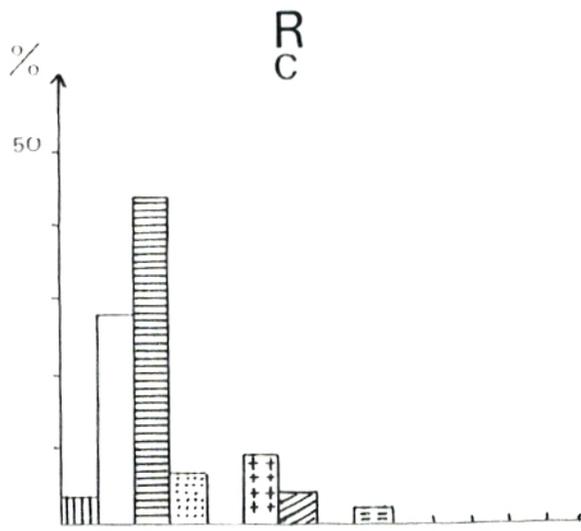


Fig 18 B: Abondances relatives des principaux taxons et courbes des diagrammes de Mandelbrat des peulements des stations R et SS

3.1.4. Le peuplement de la station SS (fig. 18B)

Le milieu hyporhéal de cette station héberge une biocénose relativement diversifiée et très dense (20 individus par litre).

Les Ostracodes, dominants, ont une abondance de 41%. Les Gastéropodes (20%) et les Amphipodes (14%) figurent parmi les principaux taxons. Le reste du peuplement se compose essentiellement des Oligochètes, des Nématodes et de diverses larves de Diptères (en particulier Ceratopogonides), de Trichoptères, de Coléoptères et d'Ephéméroptères.

Le peuplement à cette station présente une structure quasi-climacique d'après le diagramme de Mandelbrot (fig. 18B).

3.1.5. Peuplement de la station IM (fig. 19A)

C'est une station caractérisée par une très faible densité (2,4 individus par litre). En revanche, nous avons récolté 11 taxons dans ce milieu.

Les principaux taxons se répartissent de façon équitable au sein du peuplement. Cependant les Oligochètes (30%) et les Ostracodes (20%) prédominent légèrement. Les autres groupes, rarement rencontrés, représentent la faune benthique qui trouve refuge dans le milieu hyporhéal (Gastéropodes et Chironomides).

L'allure de la courbe du diagramme de Mandelbrot reflète un certain déséquilibre au niveau de la faune de cette station (fig. 19A) par une opposition des organismes dominants, qui trouvent les conditions favorables à leur développement, à un groupe de taxons marginalisés.

3.1.6. Peuplement de la station T₈ (fig. 19A)

La station héberge une biocénose pauvre (7,6 individus par litre) mais moyennement diversifiée (9 taxons sont capturés au total).

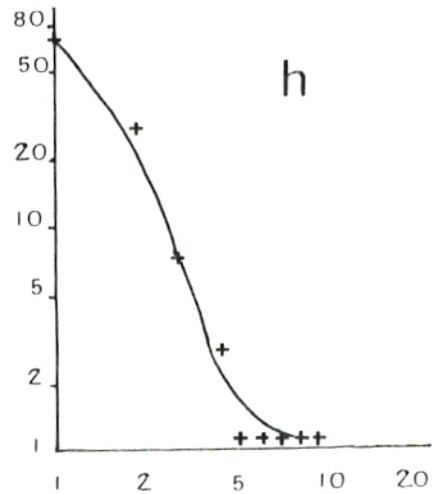
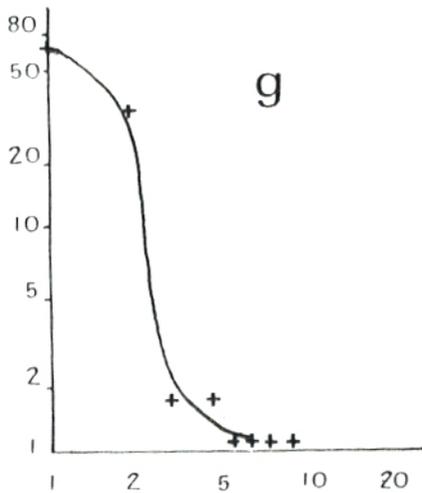
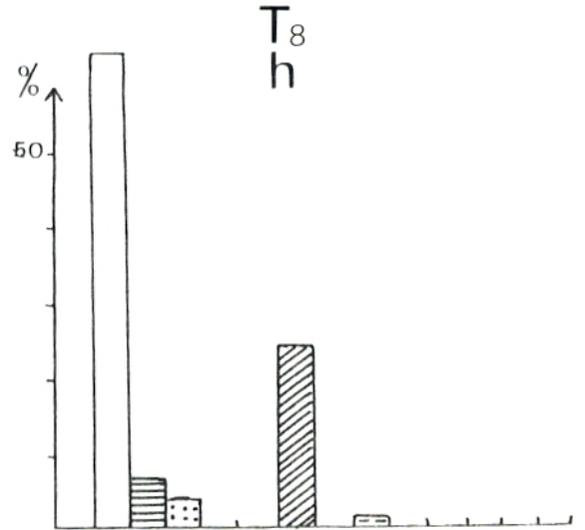
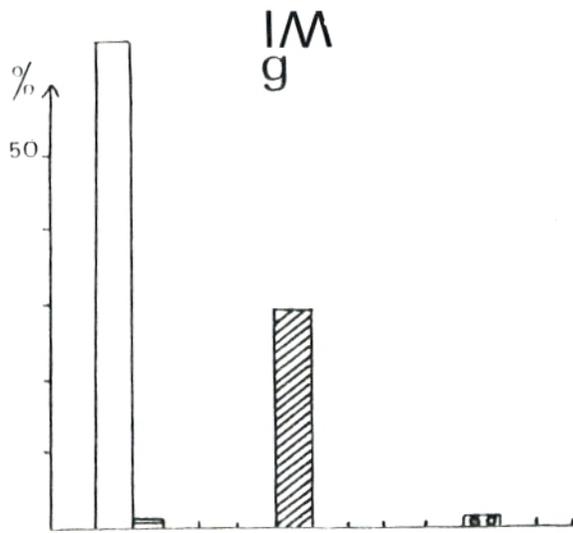
Plus de 75% du peuplement global sont représentés par les Copépodes (50%) et les Oligochètes (26%). L'autre partie du peuplement se compose en particulier des Ostracodes, des Chironomides et des Cératopogonides.

La courbe de Mandelbrot traduit un milieu spécialisé perturbé (forte salinité) (fig. 19A).

3.1.7. Peuplement de la station X (fig. 19B)

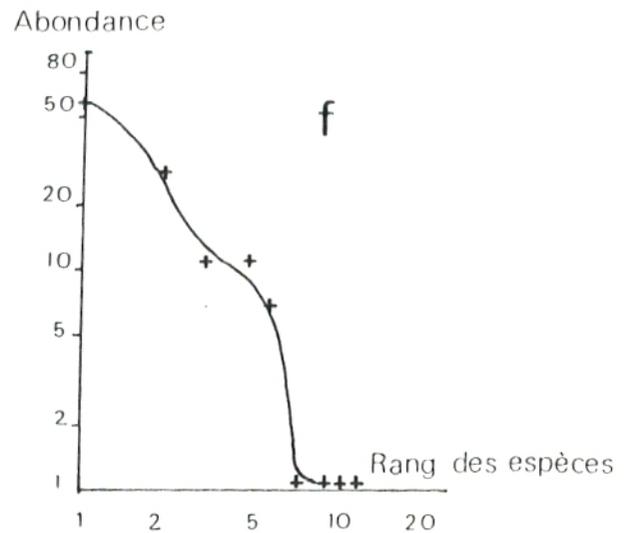
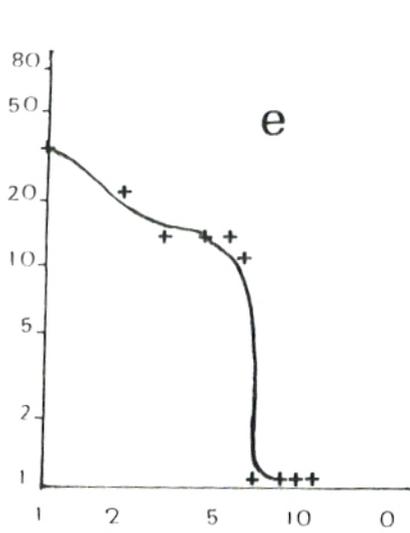
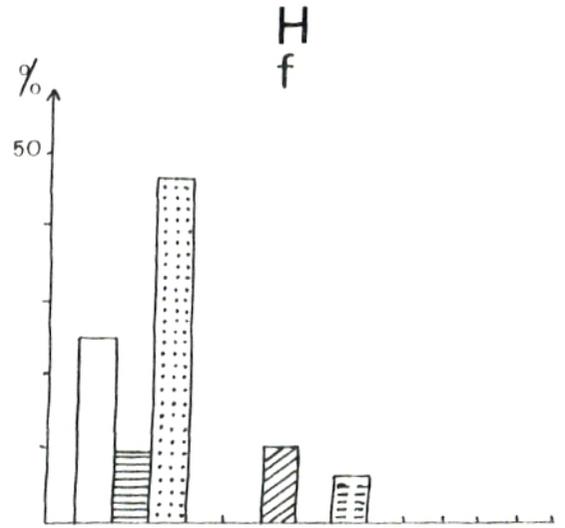
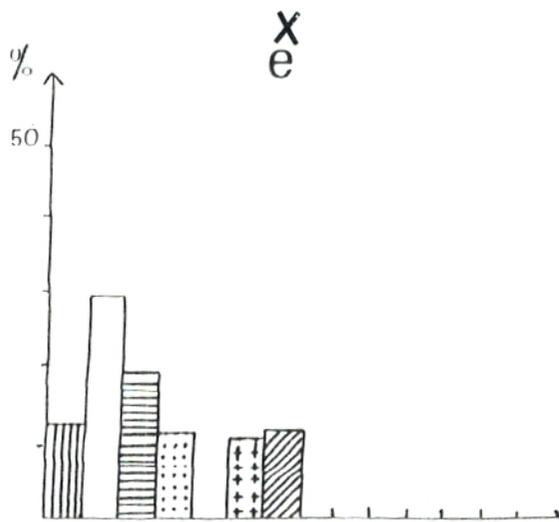
Un peu plus dense que la précédente (14,5 individus par litre), cette station héberge une biocénose peu diversifiée (8 taxons).

Sur les huit unités taxonomiques récoltées, deux d'entre elles représentent plus de 95% du peuplement global. Ce sont en l'occurrence les Oligochètes avec une abondance relative de 66% et les larves de Chironomides (30%). Nématodes, Ostracodes, Copépodes et autres larves de Diptères entrent aussi dans la composition faunistique du peuplement de l'oued Ouidane.



- | | |
|--|---|
|  Nématodes |  Limoniides |
|  Oligochètes |  Ceratopogonides |
|  Ostracodes |  Simulides |
|  Copépodes |  Stratiomyides |
|  Amphipodes |  Psychodides |
|  Gasteropodes |  Collemboles |
|  Chironomides |  Ephéméroptères |

Fig 19 A: Abondances relatives des principaux taxons et courbes des diagrammes de Mandelbrot des peuplements des stations IM et T₈



- | | | | |
|---|--------------|---|-----------------|
|  | Nématodes |  | Limoniides |
|  | Oligochètes |  | Ceratopogonides |
|  | Ostracodes |  | Simulides |
|  | Copépodes |  | Stratiomyides |
|  | Amphipodes |  | Psychodides |
|  | Gasteropodes |  | Collemboles |
|  | Chironomides |  | Ephéméroptères |

Fig 19 B: Abondances relatives des principaux taxons et courbes des diagrammes de Mandelbrot des peuplements des stations X et H.

L'allure concave de la courbe de Mandelbrot (fig. 19B) est le signe d'un milieu spécialisé ne convenant qu'à très peu d'espèces.

3.1.8. Peuplement de la station H (fig. 19B)

Du point de vue composition faunistique, le milieu interstitiel de cette station s'apparente à celui de l'Oued Ouidane, ce qui se traduit par une allure identique de la courbe de Mandelbrot mais avec un meilleur équilibre entre les taxons (fig. 19B). En effet, ce sont les mêmes groupes qui prédominent (Oligochètes 64% et Chironomides 24%). Les Crustacés (Ostracodes 6% et Copépodes 3%) sont mieux représentés dans cette station.

3.2. Le milieu phréatique

3.2.1. Les puits

La faune récoltée dans les puits s'avère très pauvre. Elle est restreinte à un maximum de quatre taxons représentés par des Crustacés Ostracodes, Copépodes, Amphipodes et quelques larves d'Insectes. De plus, nous observons des différences très nettes de la faune entre les puits prospectés. Le puits MP (Ghar Boumaza) est le plus peuplé (82 individus récoltés). Les Ostracodes et les Amphipodes, en proportions égales, forment plus de 80% de son peuplement. Les Copépodes, peu nombreux en MP, représentent 53% de la biocénose du puits BP qui est le plus peuplé des puits étudiés de la ville de Tlemcen. En effet, les puits GP et TP ne sont presque pas

colonisés (1 Collembole est capturé en TP et 4 larves de Culicidés en GP). Ce sont en fait des puits qui ont été traités pour la consommation humaine. En basse altitude, le puits HP héberge lui aussi une faune très pauvre où dominent les larves de Chironomides. Cette pauvreté est peut être à mettre en relation avec une forte minéralisation (conductivité de $4000\mu\text{S}/\text{cm}$) due, en particulier, aux chlorures (1250 mg/l de NaCl).

3.2.2. Les sources

La faune récoltée dans les sources se limite à deux groupes zoologiques. D'une part, les Amphipodes qui caractérisent ce type de milieu et d'autre part les Mollusques Gastéropodes.

La station OS est beaucoup plus peuplée (300 individus récoltés) que la station MS (67 individus capturés).

4. Comparaison des deux méthodes d'échantillonnage dans le milieu hyporhéique :

L'étude comparée des deux méthodes d'échantillonnage dans le milieu hyporhéique revêt un grand intérêt car, d'une part, les recherches en Afrique du Nord dans ce domaine sont peu nombreuses et d'autre part, l'efficacité de telle ou telle méthode n'est pas encore établie.

Effectivement, les résultats obtenus dans cette étude, bien que partiels, nous renseignent à plusieurs points de vue :

■ Les prélèvements réalisés par sondage Karaman-Chappuis abritent, dans la majorité des stations, une faune plus dense (fig. 20). En moyenne nous récoltons 17,2 individus par litre par sondage Karaman-Chappuis et 13,6 individus par litre par pompage. La différence étant hautement significative à 0,05% de sécurité.

■ Cependant les récoltes par sondage tubé Bou-Rouch s'avèrent en général plus diversifiés du point de vue faune (fig. 21).

■ Les principaux taxons (ceux qui interviennent dans le fonctionnement du milieu) rencontrés dans le milieu interstitiel étudié tels les Nématodes, Oligochètes, Ostracodes et Chironomides sont globalement mieux représentés au niveau des prélèvements réalisés par la méthode Karaman-Chappuis (fig. 22). Toutefois, les Copépodes (organismes "planctoniques") semblent être plus facilement récoltés par la méthode des pompages.

Ainsi, nous pouvons en déduire que la méthode des sondages Karaman-Chappuis fournit sur le plan faunistique, des résultats plus représentatifs, du milieu hyporhéique des oueds, que la méthode des pompages à deux points de vue :

■ la méthode Karaman-Chappuis donne une meilleure représentation de la faune en ne privilégiant pas les formes planctoniques comme le fait la méthode des sondages tubés.

■ la méthode Karaman-Chappuis permet un échantillonnage plus objectif de la faune du sous-écoulement des oueds. En effet, le substrat, très hétérogène des lits des oueds, formé de

blocs cimentés par des limons fins, ne permet pas l'enfoncement de la sonde utilisée dans la méthode des pompages. Cette dernière, qui est de loin la plus utilisée en Europe, semble moins appropriée pour l'étude du milieu hyporéique des oueds.

5. Analyse statistique

Nous avons réalisé à partir des données :
une analyse factorielle des correspondances (AFC),
une classification hiérarchique.

5.1. L'analyse factorielle des correspondances (tableau V)

5.1.1. L'AFC sur les densités

L'analyse établie sur les densités concerne tous les taxons récoltés dans l'ensemble des prélèvements.

Les pourcentages d'inertie des cinq premiers facteurs sont faibles (50% sur les quatre premiers axes) ce qui indique qu'il n'y a pas de facteur prépondérant agissant sur la distribution faunistique.

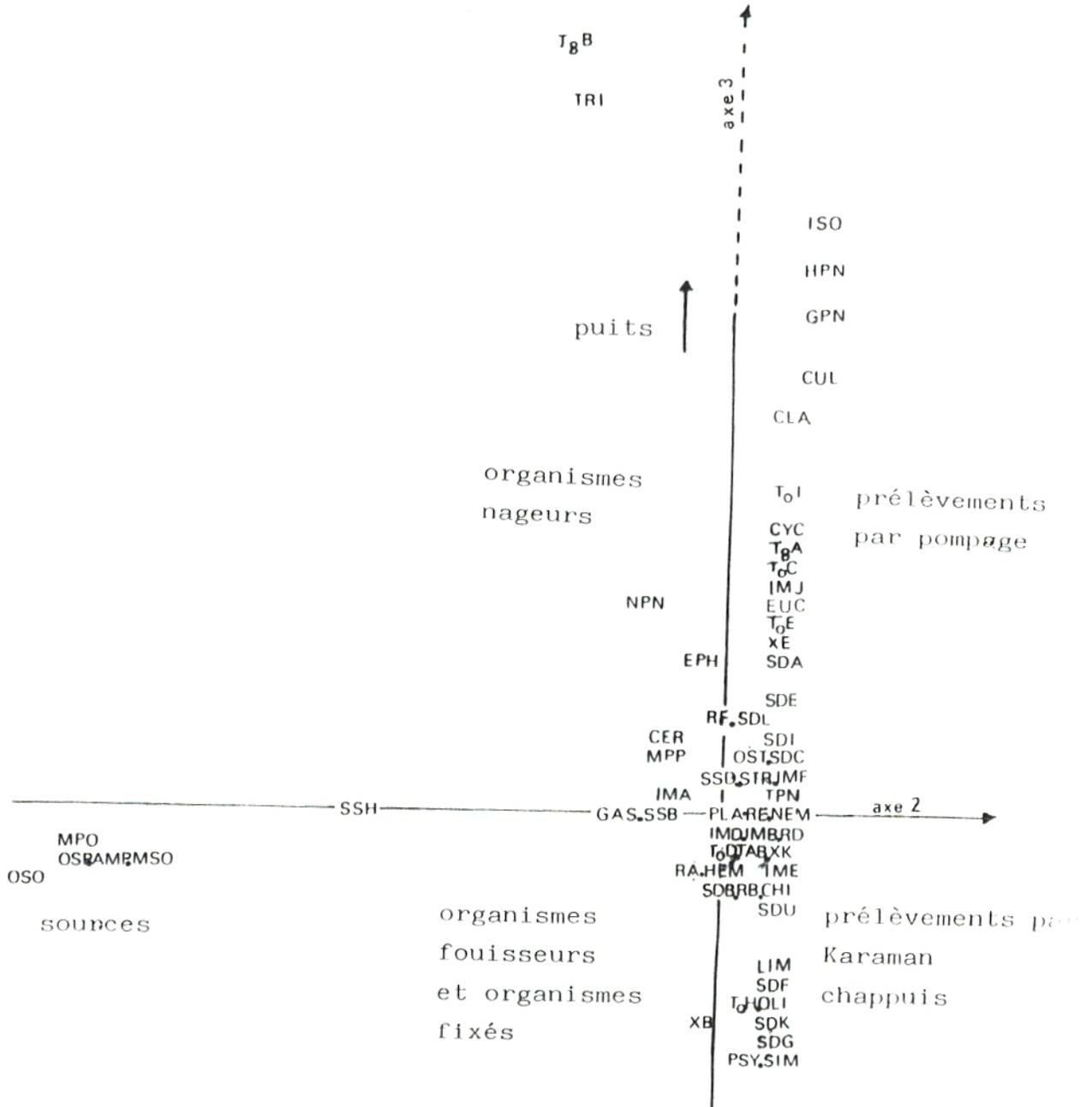
- l'axe 1 représente 16,31% de l'inertie du nuage,
- l'axe 2 représente 13,14%,
- l'axe 3 représente 10,33%,
- l'axe 4 représente 10,12%,
- et l'axe 5 représente 9,75%.

Interprétation des graphes

La projection dans le plan des axes 1 et 2 permet d'isoler un prélèvement très particulier effectué dans le puits BP (prélèvement du 26-05-88). En effet, la présence exclusive des Planaires dans ce relevé contribue fortement à la définition de l'axe 1.

Dans le plan des axes 2 et 3 (fig. 23), l'axe 2 définit le type du milieu prospecté, il sépare le milieu phréatique des sources du milieu phréatique des puits qui se rapproche du milieu hyporhéique. La totalité des prélèvements réalisés dans les sources s'isole autour des Amphipodes dans la partie négative de l'axe et s'oppose au reste des relevés et des taxons. L'axe 3 est lié surtout au mode de vie des organismes. Nous remarquons l'opposition de deux groupements, le premier, en ordonnée positive, comprend les organismes nageurs et de petite taille (Copépodes, Ostracodes et Cladocères) associés au milieu phréatique des puits et à quelques prélèvements du milieu hyporhéique réalisés selon la méthode des pompages. Le second groupement, en ordonnée négative, est caractérisé par des animaux fouisseurs et de grande taille (Oligochètes, larves de Diptères Psychodides, Simulides, Tabanides et Chironomides) liés aux prélèvements réalisés par sondage Karaman-Chappuis.

D'autre part, l'axe 4 isole les relevés à Trichoptères du reste des données. Ce sont les prélèvements effectués à la station T_g et H en juin 1986 (T_gB et HB).



Liste des points doubles (point vu - point caché) :

T ₀ I-T ₈ I	T ₀ C-T ₀ K	T ₀ E-BPQ	SDA-HI	SDE-HL	STR-COL	STR-HC
CYC-IMG	T ₀ C-T ₀ U	T ₀ E-BPQ	SDA-MPQ	SDE-HPO	STR-SSC	NEM-CLB
CYC-T ₈ E	T ₀ E-TOL	SDA-SDH	SDE-HF	SDI-T ₀ F	SSD-T ₈ K	PLA-BPP
NEM-HPP	IME-XG	AMP-MSP	SDB-XF	OSO-MSQ	SDU-HG	LIM-IMH
T ₀ D-RH	IME-XJ	CHI-T ₀ G	OSO-OSQ	SDU-T ₈ U	SDU-HA	LIM-T ₈ H
RA-IMK	AMP-OSN	CHI-T ₀ T	OSO-MSN	SDU-HD	SDU-HE	OLI-SDD
OLI-SDH	OLI-XH	SDG-SDJ				
OLI-T ₀ B	OLI-HH	SDG-XA				

Fig. 23 : Projection dans le plan des axes 2 et 3 de

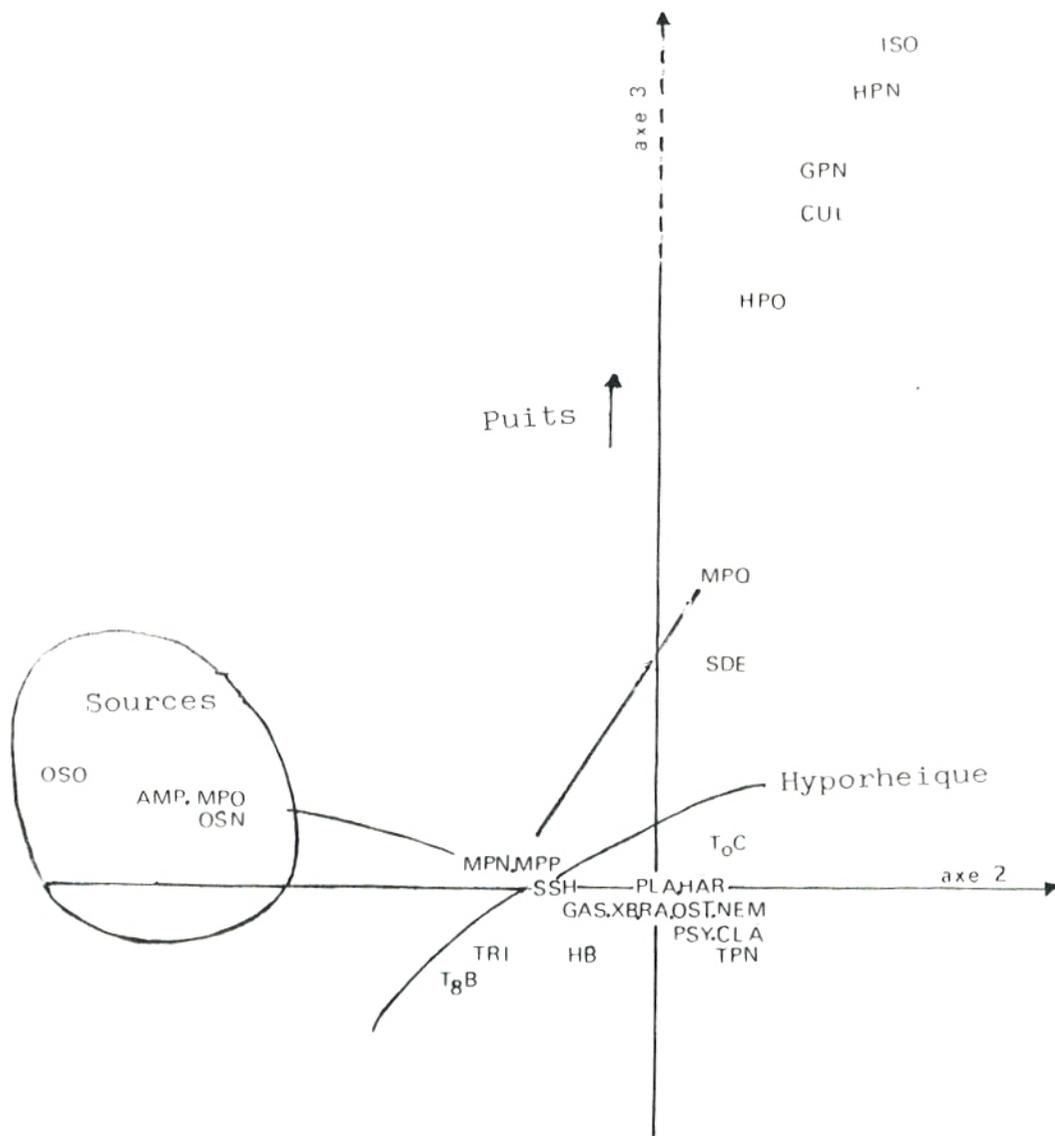
l'A.F.C sur les densités.

5.1.2. L'AFC sur les log des densités :

L'analyse des données (AFC) sur les log des densités réduit le poids de certains prélèvements. Elle fournit dans l'ensemble les mêmes informations que la précédente mais permet de mieux visualiser les différents groupements.

Les quatre premiers axes rendent compte toujours de 50% de l'information, soit 17,5 % pour l'axe 1, 12,3 % pour l'axe 2, 10,9 % pour l'axe 3 et 10,2 % pour l'axe 4.

Les axes 1, 2 et 4 définissent les mêmes tendances que la première analyse. Toutefois, le type de milieu contribue fortement à la définition de l'axe 3 (fig. 24) sur lequel se sépare le milieu phréatique des puits du milieu hyporhéique. Les Isopodes et les Culicides caractérisent les puits (MPQ, HPO, GPN, HPN) et figurent sur la partie positive de l'axe, alors que les autres taxons s'associent aux relevés du milieu hyporhéique sur la partie négative de l'axe. Suivant les saisons, le puits MP a une faune qui s'apparente à celle des sources en hiver (MPO), à celle des autres puits en été (MPQ) et à celle du milieu hyporhéique au printemps-automne (MPP, MPN).



Liste des points doubles (point vu - point caché) :

OSO-OSQ	MPO-MSO	HAR-EPH	NEM-CYC	NEM-SDC	NEM-SDL	NEM-SDU
OSO-MSN	OSN-OSP	PLA-BPP	NEM-CHI	NEM-SDF	NEM-SDI	OST-T ₀ D
OSO-MSQ	OSN-MSP	NEM-OLI	OST-CER	NEM-SDA	NEM-SDM	NEM-T ₀ F
NEM-T ₀ G	NEM-T ₀ E	OST-RB	OST-RH	OST-SSC	OST-IDM	OST-IMH
NEM-T ₀ J	NEM-T ₀ L	OST-RD	OST-RE	OST-SSD	NEM-IMF	NEM-IMJ
NEM-T ₀ K	NEM-T ₀ I	OST-RF	RA-SSB	OST-IMB	NEM-IMG	RA-IMA
RA-IMK	NEM-T ₈ A	NEM-T ₈ I	NEM-XH	NEM-XE	NEM-HF	NEM-HA
NEM-IME	NEM-T ₈ K	NEM-T ₈ U	NEM-XJ	NEM-HC	NEM-HG	NEM-HE
NEM-T ₈ H	NEM-T ₈ E	NEM-XG	NEM-XK	NEM-HD	NEM-HH	NEM-HL
NEM-HI	NEM-BPQ	CLA-SIM	PSY-COL	CLA-SDB	CLA-SDH	CLA-T ₀ B
NEM-T ₀ U	NEM-HPP	PSY-STR	CLA-CLB	CLA-SDD	CLA-SDJ	CLA-T ₀ H
NEM-BPO	CLA-LIM	PSY-TAB	PSY-HEM	CLA-SDG	CLA-SDK	CLA-XF
CLA-XA						

Fig. 24 : Projection dans le plan des axes 2 et 3 de l'A.F.C sur les log des densités.

5.1.3. L'AFC sur les variables disjonctées :

Nous avons remarqué précédemment l'importance et le poids des prélèvements particuliers (BPP, T_gB, HB) et des taxons rares sur les résultats de l'analyse factorielle des correspondances. Pour pallier ce problème, nous avons effectué l'analyse sur les variables disjonctées en ne prenant en considération que le critère présence-absence. Les taxons représentées par un seul individu ainsi que les prélèvements, ne contenant que un ou deux taxons mal représentés, sont éliminés.

Résultats

Les quatre premiers facteurs cumulent une fois de plus 50% de l'information dont 19,3% sont donnés par l'axe 1. Sur les trois autres axes, les pourcentages d'inertie sont réparties de façon assez homogène.

- l'axe 2 : 11,43%,
- l'axe 3 : 11,04%,
- l'axe 4 : 9,04%,

A noter que le pourcentage d'inertie de l'axe 1 va en augmentant d'une analyse à l'autre (13% puis 17% puis 19%).

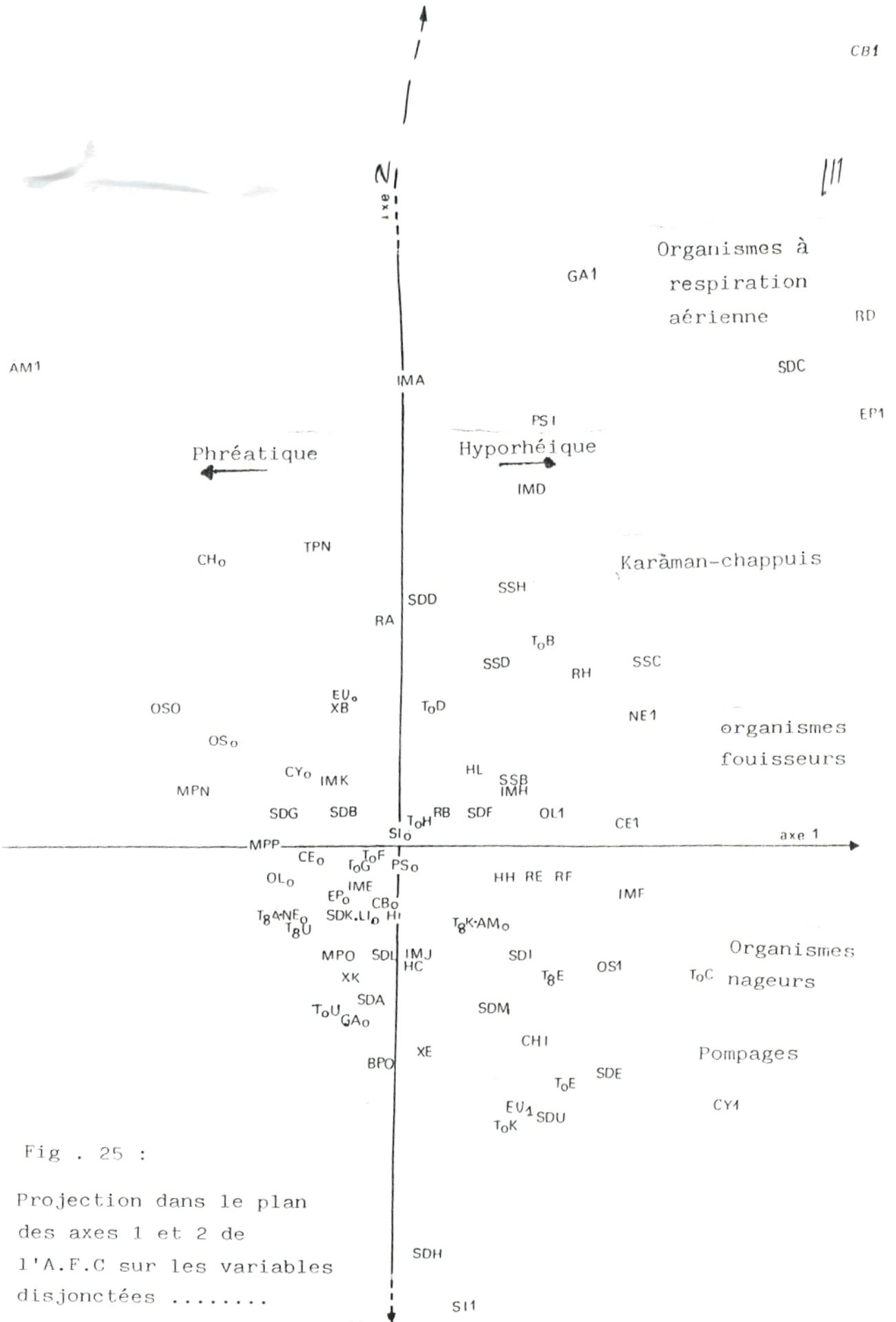


Fig . 25 :
 Projection dans le plan
 des axes 1 et 2 de
 l'A.F.C sur les variables
 disjonctées

Liste des points doubles (point vu - point caché) :

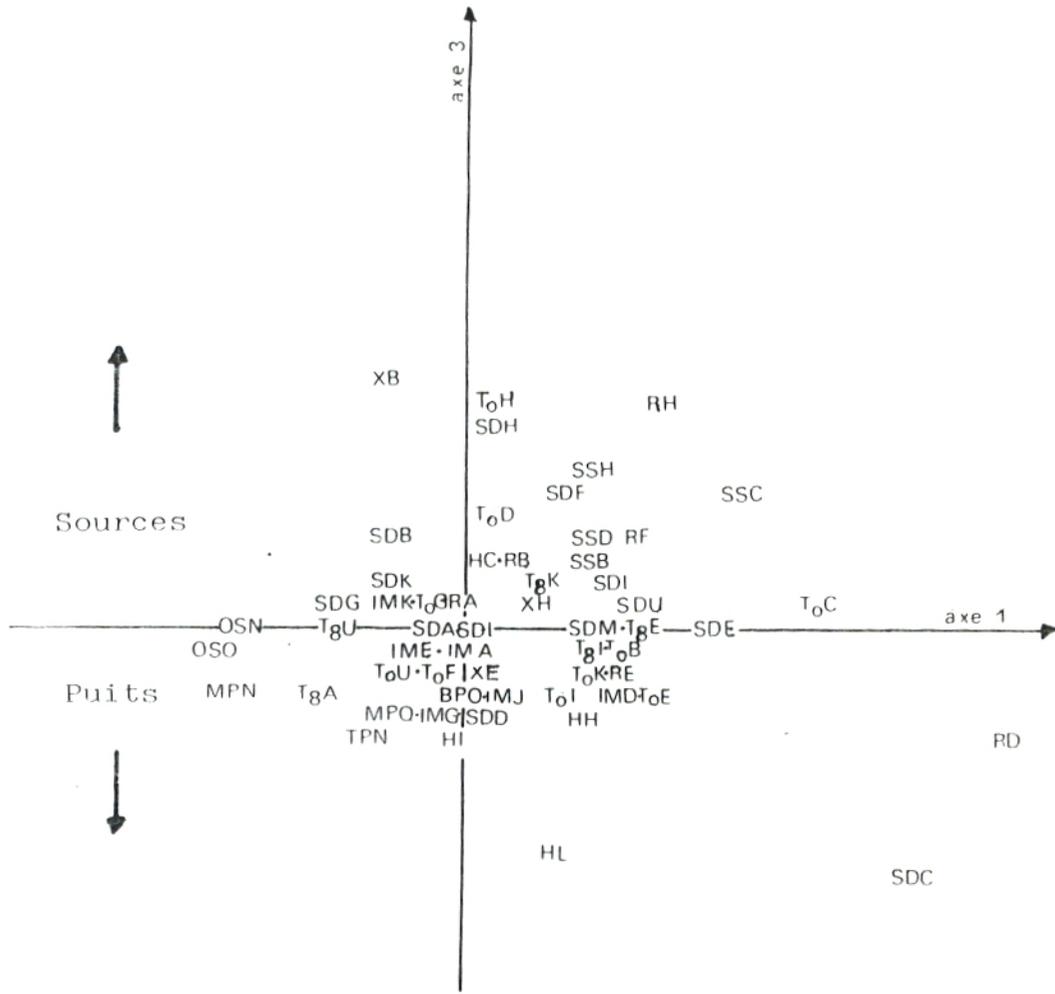
CH0-OSN	OSO-OSQ	MPN-MPO	SDB-XF	T0G-T0J	T8A-MSO	T8U-HA
CH0-OSP	OSO-MSN	SDG-SDJ	SDG-XA	IME-XG	T8A-HD	T8U-HE
CH0-MSP	OSO-MSQ	RB-IMB	T0F-IMG	IME-XJ	T8U-HG	T8U-HPO
MPQ-BPQ	T8K-XH	T0K-T8H				
	T0K-T8I	T0K-T8I				

Dans le plan 1-3 (**fig. 26**), l'axe 3 oppose les deux milieux du domaine phréatique. Les sources qui se rapprochent de la partie positive de l'axe et les puits qui tendent à se placer vers la partie négative de l'axe. Nous constatons aussi que les puits et les sources montrent très peu de variations saisonnières. Les prélèvements réalisés dans la même station (puits ou source) sont souvent très rapprochés ou même confondus sur la représentation graphique. C'est ce qui caractérise le milieu phréatique en général.

Sur ce même axe (**fig. 27**), les différents taxons du domaine hyporhéique se séparent eux aussi selon leur mode de vie. Du pôle négatif au pôle positif de l'axe se succèdent les groupements suivants :

- les animaux à respiration aérienne (Collemboles et Limoni-
ides),
- les organismes nageurs planctoniques (Ostracodes et Copé-
podes),
- les animaux fouisseurs (Oligochètes, Nématodes et Cérato-
pogonides) et épigés (Ephéméroptères, Gastéropodes),
- les taxons rares des eaux courantes (Psychodides, Simuli-
des).

Dans le milieu hyporhéique, en observant la position de chaque prélèvement par rapport à ce gradient, on peut suivre une évolution de la faune au cours des saisons. Cette évolution est variable suivant le type de cours d'eau :



Liste des points doubles (point vu - point caché) :

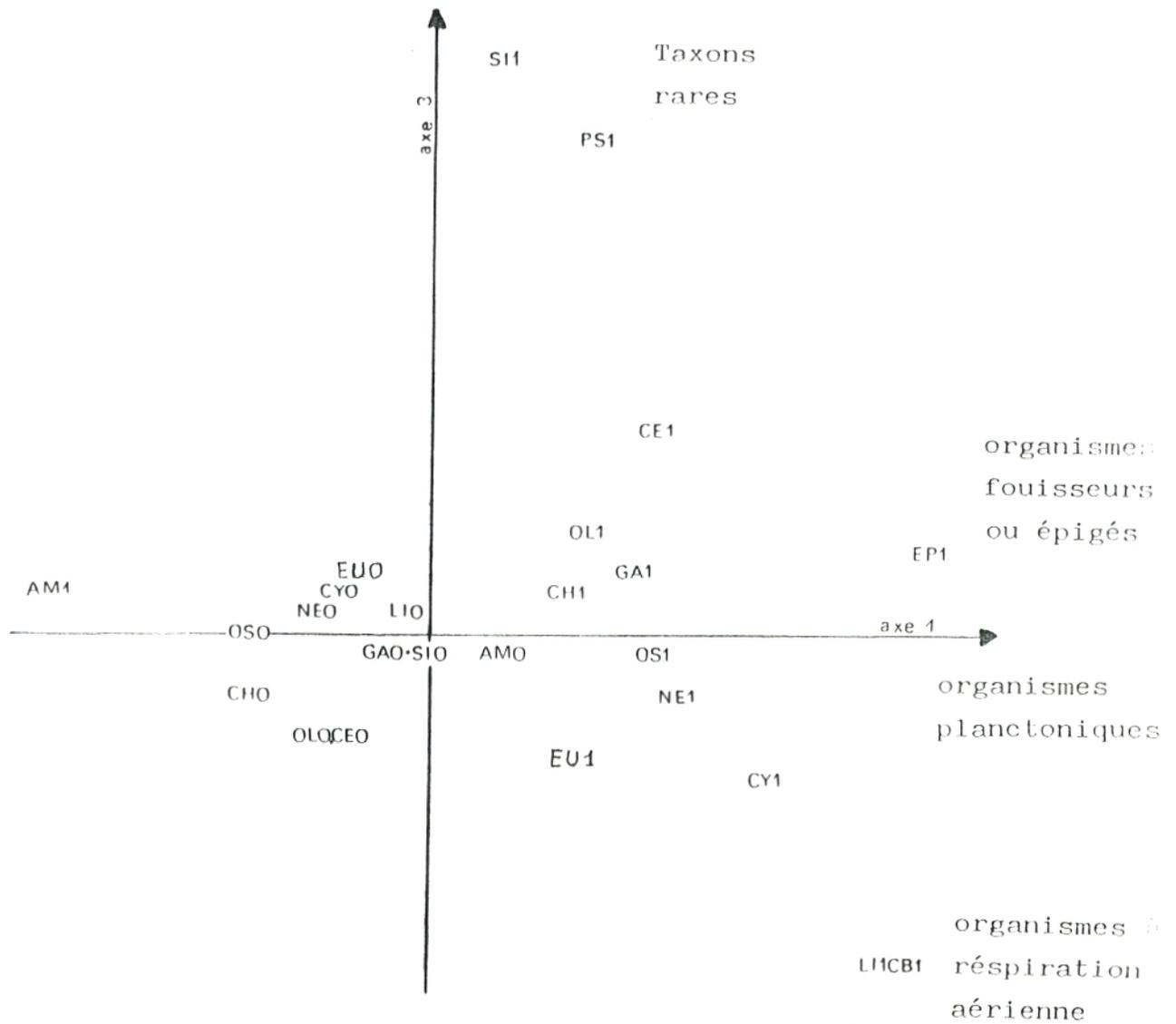
SDB-XF	RB-IMB	SDG-SDJ	T ₀ G-T ₀ J	SDG-XA	OSO-OSQ	T ₈ U-HD
OSN-OSP	OSN-MSP	IME-XG	IME-XJ	IME-XK	SDM-IMH	OSO-MSQ
MPN-MPO	T ₈ A-MPP	T ₈ A-MSO	MPQ-BPQ	SDE-IMF	OSO-MSN	T ₈ U-HG
T ₈ K-T ₈ L	T ₈ U-HE	T ₈ U-HPO				
T ₈ U-HA	XE-HF	T ₀ U-HPP				
T ₈ K-T ₈ H						

Fig . 26 : Projection dans le plan des axes 1 et 3 de l'A.F.C sur les variables disjointées.
Seuls les prélèvements sont représentés.

* Les cours d'eau en eau en hiver et s'assèchant dès le printemps : oued Tafna (T_0), oued Bel-Abbès (IM), oued Rediou (H) et oued Ouidane où les formes planctoniques dominent pendant la période de mise en eau. Les formes fouisseuses deviennent dominantes à partir du printemps et les formes à respiration aérienne apparaissent quand la sécheresse se prolonge (Collemboles en T_0 et Limoniides en IM au mois de Novembre).

* Les cours d'eau à faible écoulement où les formes benthiques occupent en permanence l'espace hyporhéique : oued Seb-dou (SD), oued Safsaf (SS), oued Ed-Fali (R). Les formes aériennes apparaissent avec l'assèchement prolongé (Collemboles au mois de Novembre en R).

* Dans l'oued Tafna (station T_8), les formes planctoniques dominent presque sur toute l'année.



Liste des points doubles (point vu - point caché) :

LIO-CBO | SIO-PSO | GAO-EPO

Fig. 27 : Projection dans le plan des axes 1 et 3 de l'A.F.C sur les variables disjonctées .
Seuls les taxons sont représentés

5.1.4. Conclusion :

L'analyse factorielle des correspondances nous a permis non seulement d'isoler certains prélèvements particuliers caractérisés par des taxons particuliers (BPP, TgB, HB) mais aussi de visualiser des affinités entre les taxons d'une part et entre les prélèvements d'autre part.

Chacun des milieux prospectés se caractérise par une faune bien particulière.

Les puits qui se caractérisent par les Isopodes, Culi- cides et Copépodes se distinguent des sources MS et OS peup- lées essentiellement d'Amphipodes. Ces deux biotopes (puits et sources) constituent le milieu phréatique qui s'oppose, par sa composition, au milieu hyporhérique des oueds. Ce der- nier s'avère colonisé par des organismes planctoniques, ré- coltés essentiellement par pompage, et surtout des animaux fouisseurs, d'autres à respiration aérienne et des formes terrestres privilégiés par la méthode Karaman-Chappuis.

Les prélèvements TgB et HB du milieu hyporhérique s'iso- lent par la présence de taxons rares tel que les Trichoptères qui trouvent refuge dans le sous-écoulement des stations Tg et H au mois de Juin (période d'assèchement).

Le peuplement du milieu hyporhérique varie en fonction de la saison et de la durée de l'assèchement de l'oued. En général les formes planctoniques sont capturées en hiver car en surface elles ne peuvent survivre.

Au début de l'été ce sont les formes fouisseuses (Oligochètes, larves de Diptères Chironomides, Tabanides, Psychodides, Stratiomyides) qui s'enfoncent progressivement avec l'assèchement. Lorsque celui-ci dure et que les conditions deviennent de plus en plus défavorables en surface, seules quelques formes planctoniques subsistent dans le sous-écoulement auxquelles s'ajoutent des formes terrestres (Collemboles) et des formes fouisseuses.

5.2. Classification hiérarchique :

5.2.1. Résultats :

Le dendrogramme obtenu (fig. 28) permet de faire les observations suivantes :

- * Les prélèvements des milieux hyporhéique et phréatique sont réunis majoritairement en une seule unité correspondant au milieu hypogé qui forme une entité.

- * Cependant, dans la partie supérieure du dendrogramme s'isolent des prélèvements caractérisés par des taxons particuliers typiquement épigés (Psychodides dans les relevés XB, T₀H et RH, Limoniides dans les prélèvements SDD, IMD, T₀B, RD et SDC), voire même terrestres (Collemboles dans les relevés SDC et RD).

- * Le milieu phréatique s'isole dans la partie inférieure du dendrogramme et se décompose en deux sous-groupes : les sources, mêlées à quelques prélèvements des puits (du puits MP), et les puits faisant la jonction entre le milieu hyporhéique strict et le milieu phréatique strict.

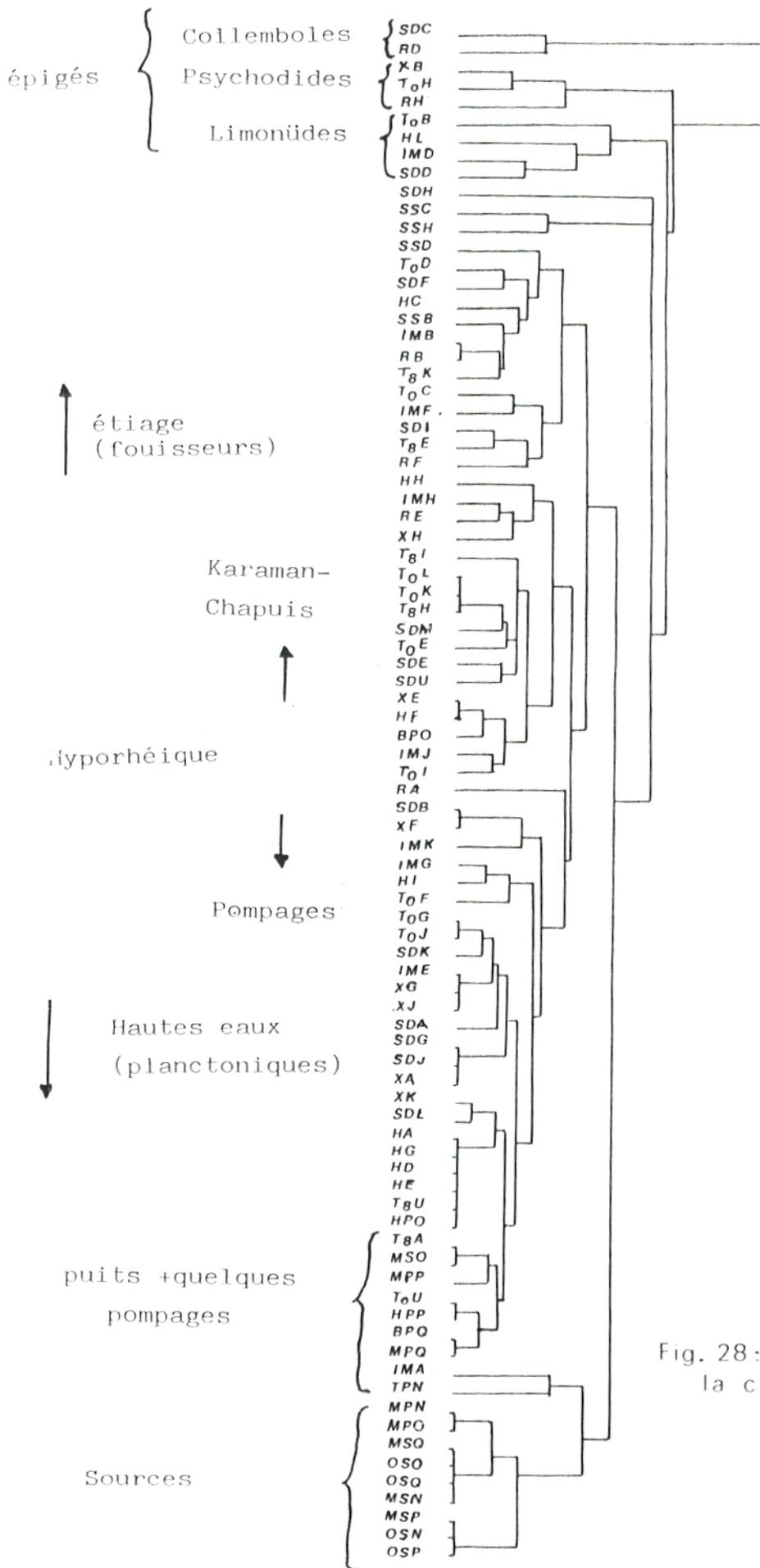


Fig. 28: Dendrogramme de la classification hiérarchique

* En fait, les prélèvements réalisés par pompage dans le biotope hyporhéique (T_{OU} , T_{gA} et IMA) se mêlent à ceux des puits suite à la présence dans les deux milieux de formes planctoniques (Copépodes et Ostracodes).

* Les prélèvements réalisés par sondage Karaman-Chapuis, où dominant les formes benthiques, se regroupent dans la moitié supérieure du dendrogramme et se distinguent des relevés effectués par pompage qui ont tendance à se regrouper vers la deuxième moitié de la figure.

* Sur la figure, nous constatons aussi des regroupements de prélèvements selon la saison. En effet, les relevés de fin de printemps-été-automne se regroupent vers le haut du dendrogramme avec les prélèvements à faune épigée composée de fousseurs. Les relevés d'hiver-printemps (lorsque l'écoulement superficiel est important) se rassemblent vers la seconde moitié du tableau, là où figurent le milieu phréatique et les prélèvements obtenus par pompage, prélèvements caractérisés par la présence de formes planctoniques.

* Le milieu phréatique, et en particulier celui des sources, ne montre pas de grandes variations saisonnières; les prélèvements d'une même station se regroupent avec des degrés de ressemblance très forts (distances euclidiennes faibles). Les prélèvements réalisés dans le milieu hyporhéique présentent peu de ressemblances entre eux (distances euclidiennes fortes).

* La proximité des identificateurs sur le dendrogramme varie suivant les stations :

■ la station SS montre peu de variations saisonnières et les prélèvements sont regroupés.

■ d'autres stations (SD, T₀, X, R, IM et T₈) ont une faune qui varie selon les saisons et les prélèvements se retrouvent donc dispersés sur le dendrogramme.

5.2.2. Conclusion :

Les résultats de la classification hiérarchique viennent compléter ceux de l'analyse factorielle des correspondances.

Le milieu phréatique, beaucoup plus stable (en particulier les sources), ne montre pas les variations saisonnières qui caractérisent le milieu hyporhéique.

D'autre part, la faune hyporhéique récoltée permet de séparer les prélèvements en deux groupes :

1. Les prélèvements d'hiver-printemps ainsi que ceux effectués par pompage ramenant une faune planctonique.

2. Les prélèvements de l'été-automne ainsi que ceux obtenus par la méthode Karaman-Chappuis ayant en commun la présence d'organismes benthiques et fouisseurs.

6. Discussion :

Les résultats obtenus lors de travaux sur différents systèmes hydrologiques sont difficilement comparables entre eux en raison de l'hétérogénéité des méthodes utilisées et des terrains d'étude. Toutefois, malgré des disparités, les résultats concernant la faune des différents milieux prospectés peuvent être discutés.

La densité et la diversité de la faune présentent une grande variabilité suivant les stations. En effet, les stations appartiennent à des milieux différents : phréatique et hyporhéique.

Le domaine phréatique (puits et sources) abrite une faune pauvre et beaucoup moins dense que celle du milieu hyporhéique. Effectivement, Gourbault et Lescher-Moutoué (1968), Benazouza (1983) et Yacoubi Khébiza (1987) ont bien souligné la richesse et la diversité de la faune hyporhéique par rapport à la faune phréatique. De plus, Boutin et Boulanour (1984) estiment qu'une moyenne de 13 espèces récoltées par puits représente une faune relativement riche pour les pays méditerranéens. Nous avons récolté en moyenne 2,6 taxons dans cinq puits étudiés. Pesce et al. (1981) ont récolté en moyenne 3,6 espèces dans une étude portant sur 50 puits d'Algérie.

De plus, les caractéristiques de l'eau ont sans doute une influence sur la composition de la faune de certains puits (puits de Honaïne).

La plus forte densité et diversité de la faune observées dans le milieu hyporhéique s'expliquent :

* d'une part, par l'hétérogénéité écologique du peuplement du biotope hyporhéique, due à "l'effet de lisère" (Gibert et al., 1977; Seyed Reihani et al., 1982 a). En effet, nous observons un mélange de la faune benthique, de la faune interstitielle et d'une faune colonisant les milieux humides;

* d'autre part, par le rôle de refuge que constitue le sous-écoulement des cours d'eau pour la faune benthique. Rôle d'autant plus accentué que l'assèchement oblige la faune benthique à s'enfoncer (Gagneur et Chaoui-Boudghane, 1990).

Toutefois dans certains prélèvements, la faune était très réduite voire absente (cas de la station T₈ dans les échantillons de Septembre 86, Novembre 86, Janvier 87 et Mars 87).

Les raisons sont peut être à rechercher dans les conditions régnant dans le milieu : par exemple la sous-saturation en oxygène en été dans diverses stations (T₀, T₈) et/ou la forte minéralisation, en particulier les chlorures (cas des stations T₈ et X), auront tendance à devenir des facteurs limitants pour la faune.

Du point de vue composition, nous remarquons que le milieu hyporhéique est riche en organismes ubiquistes, en particulier les Oligochètes qui constituent le taxon dominant de certaines stations (SD, IM, T₈, X et H). Gibert et al. (1977) ainsi que Seyed-Reihani et al. (1982 b) ont constaté des faits semblables sur le Haut Rhône français. Les résultats de Benazouz (1983) sur l'oued Gheris du haut Atlas marocain vont dans le même sens.

Nous avons remarqué la quasi-absence de formes strictement phréatobies, seules quelques formes troglaphiles apparaissent dans la composition des peuplements.

Les résultats obtenus lors du présent travail montrent que la biocénose de la zone supérieure du milieu interstitiel des cours d'eau est particulièrement riche en individus benthiques et semble correspondre à "l'hyporhéos" défini par Schwoerbel (1961) et Williams et Hynes (1974). Les larves d'Insectes, en particulier, de l'hyporhéos temporaire (Dole, Chessel, 1986) trouvent refuge dans le milieu hyporhéique, et ceci d'autant plus que les conditions ne sont pas favorables en surface, par exemple pendant une période d'assèchement estival prolongé qui caractérise les oueds de la région méditerranéenne.

Les principaux taxons (organismes surtout fouisseurs) sont facilement récoltés par la méthode des sondages Karaman-Chappuis. En effet, la méthode des sondages tubés Bou-Rouch, classiquement employée dans l'étude du milieu hyporhéique des cours d'eau européens par de nombreux auteurs (Gibert et al., 1977; 1981; Seyed-Reihani, 1980; Reygrobellet et Dole, 1982; Dole et Mathieu, 1984; Dole, 1983; 1984; Danielopol, 1976; Rouch, 1988; Rouch et al., 1989), est beaucoup moins adaptée au substrat très hétérogène, formé de blocs cimentés par du limon fin, des oueds de la région méditerranéenne.

Yacoubi Khebiza (1987) et Benazouz (1983) ont aussi utilisé dans les oueds marocains la technique des sondages Karaman-Chappuis qui semble être la méthode qui donne les résultats les plus représentatifs concernant la composition faunistique des peuplements hyporhéiques des oueds.

Logiquement, la composition faunistique et les caractéristiques physico-chimiques de l'eau du milieu phréatique sont plus stables. Le milieu hyporhéique subit par contre de grandes variations saisonnières. Les animaux planctoniques dominant en hiver dans le milieu hyporhéique où ils sont protégés du courant, par contre les organismes fouisseurs et benthiques sont majoritaires de la fin du printemps jusqu'en automne car ils s'enfoncent au fur et à mesure de l'assèchement des oueds.

CONCLUSION

Malgré les difficultés liées à la réalisation de ce travail tant du point de vue technique qu'humain (manque de spécialistes), nous avons pu répondre aux questions posées au départ; les résultats nous permettent de soulever un certain nombre de problèmes.

Dans l'état actuel de nos déterminations, nous retrouvons au niveau de la faune hypogée une zonation correspondant à celle des eaux superficielles en relation avec la minéralisation. La forte minéralisation de l'eau en plaine, probablement responsable de la baisse de la diversité et de la densité de la faune dans le milieu hypogé, est un phénomène largement répandu en Afrique du Nord et qui risque de s'accroître sous l'effet de la pollution. Il serait peut être intéressant de voir si la minéralisation élevée a des effets plus importants sur la faune hypogée que sur la faune benthique.

La dominance des ubiquistes entraînant une banalisation de la faune est certainement la traduction de perturbations diverses, surtout au niveau du milieu hyporhéique. La réduction du débit, liée à une sécheresse prolongée et accentuée par des pompages excessifs (pour l'irrigation), représente la perturbation majeure à laquelle les organismes les moins tolérants semblent ne pas s'adapter. Toutefois, on peut se demander si les phréatobies stricts, par exemple, n'ont pas trouvé refuge plus profondément ou si elles se cantonnent dans d'autres zones non perturbées.

L'étude des variations saisonnières de la faune hyporhéique a montré la succession de plusieurs communautés et mérite d'être affiné par le suivi de quelques stations soumises à des conditions hydrologiques différentes.

La méthode Karaman-Chappuis semble la mieux adaptée à la prospection du domaine hyporhéique des oueds, cependant, les résultats nous incitent à rechercher des méthodes complémentaires, plus difficiles à mettre en oeuvre, mais qui permettraient peut être la récolte des formes phréatobies. On peut envisager l'utilisation des substrats artificiels (Boisson et Prost, 1984) ou la réalisation de pompages en profondeur par l'emploi de sondes en place à condition que la surveillance des dispositifs soit assurée.

Le milieu interstitiel est un compartiment du domaine aquatique continental actuellement soumis à diverses agressions qui le fragilisent et menacent ainsi l'équilibre des écosystèmes aquatique phréatique et superficiel.

BIBLIOGRAPHIE

- AJAKANE A. , 1988. Etude hydrobiologique du bassin versant de l'oued N'FIS (Haut-Atlas Marocain). Biotypologie, dynamique saisonnière, Impact de l'assèchement sur les communautés benthiques.
Thèse 3^{ème} cycle. Univ. Marrakech (Maroc) : 192 p.
- ANGELIER E. , 1953. Recherches écologiques et biogéographiques sur la faune des sables submergés.
Arch. Zool. exp. gén. , 90 : 37-161.
- ANGELIER E. , 1962. Remarques sur la répartition de la faune dans le milieu interstitiel hyporhéique.
Zool. Anz. , 168 : 351-356.
- BADER C. , 1989. Wassermilben (Acari:Hydrovolziidae et hydrachnellae) aux Algérien.
Bijdr. Dierk. , 59 (1) : 33-42.
- BENAZOUZ A. , 1983. Recherche de la faune interstitielle dans la vallée de l'oued Gheris (versant Sud du Haut Atlas).
Mém. de C.E.A. dactyl. Fac. Sc. Marrakech : 1-28.
- BOISSON J.C. et PROST F. , 1984. VIII. Underground Waters. Technique de prélèvement des sédiments de cours d'eau : Utilisation de substrats artificiels.
Verh. Internat. Verein. Limnol. , 22 : 1735-1738.
- BOU C. , 1974. Recherches sur les eaux souterraines. 25. Méthodes de récolte dans les eaux souterraines interstitielles.
Ann. Spéléol. , 29, 4 : 611-619.
- BOULAL M. , 1984. Premières données sur la faune souterraine de la région de Tiznit (Maroc).
Mem. de C.E.A. manuscrit; Fac. Sc. Marrakech : 1-43.
- BOULAL M. , 1988. Recherches écologiques sur la faune aquatique des puits de la région de Tiznit (Anti-Atlas occidental Maroc).
Thèse de 3^{ème} cycle Ecol. gén. Fac. Sc. Marrakech : 1-228.
- BOULANOUAR M. , 1986. Etude écologique comparée de quelques puits de la région de Marrakech. Impact des pollutions sur la zoocénose des puits.
Thèse 3^{ème} cycle Ecol. gén. Fac. Sc. Marrakech : 1-159.

- BOUMEZZOUGH A., 1988., Contribution à la connaissance des Invertébrés ripicoles épigés et endogés en zone méditerranéenne. Etude des peuplements ripicoles de deux réseaux hydrographiques du Haut-Atlas Marocain.
Thèse d'Etat, Univ. Aix - Marseille III : 1-181.
- BOUTIN C., 1987. A propos de l'écologie des relations phylogénétiques et de la biogéographie d'un crustacé Amphipode souterrain Bogidiellidae du Maroc.
Comm. Coll. Intern. Biospéol., 21-24 Sept. 1987, Saint-Amand, France.
- BOUTIN C., 1988. L'eau des nappes phréatiques superficielles, une richesse naturelle vitale mais vulnérable. L'exemple des zones rurales du Maroc.
Bull. Trim.Cons.Reg.Tensift (O.N.Méd.) Marrakech, 2 13-23.
- BOUTIN C. et BOULANOUAR M., 1984. Premières données sur la faune des puits des environs de Marrakech (Maroc occidental).
Verh. Internat. Verein. Limnol, 22:1762-1765.
- BOUTIN C. et CALS P., 1985. Importance en biogéographie évolutive de la découverte d'un Crustacé phréatobie, Monodella atlantomarocana sp. (thermosbaenacea) dans la plaine alluviale de Marrakech (Maroc atlantique).
C.R. Acad. Sc. PARIS, T.300, série III (7) : 267-270.
- BOUTIN C. et COINEAU N., 1987. Iberobathynella (Crustacea, Syncarida, Bathynellacea) sur le continent africain. Implications paléobiogéographiques.
C. R. Acad. Sc. PARIS, t.304, série III, N°13.
- BOUTIN C. et IBDENNACER B., 1989. Faune stygobie du sud de l'Anti-Atlas marocain : premiers résultats.
Revue des sciences de l'eau, 2 : 891-904.
- BOUTIN C. et MESSOULI M. 1988. Longipodacranonyx maroccanus n. gen. n. sp. nouveau représentant du groupe Métacranonyx (Crustacea, Amphipoda) dans les eaux souterraines du Maroc.
Crustaceana, suppl. 13 : 156-271.
- BRAGA J.M., 1948. Sur les Asellus de l'Afrique du Nord.
Ann. Fac. Cienc. Porto, 33 (3/4) : 7-93.
- BRAIONI M.G., DUZZIN B., CENTURIONI M.C., PENNA G. NEGRONI L., CAMPAIOLI S., 1980. L'ambiente interstiziale iporreico del fiume Brenta e la sua fauna.
Boll. Mus. Civ. St. Nat. Verona, 7 :235-274.

- CHAOUÏ - BOUDGHANE C., 1984. Contribution à l'étude de la faune dans le milieu hyporhéique des oueds asséchés.
D.E.S., Inst. Biologie, Tlemcen (Algérie) : 1-42.
- CHAPPUIS P.A., 1946, Un nouveau biotope de la faune souterraine aquatique.
Bull. Acad. Roum. Sec. Sci., XXIX, 1 : 1 - 8.
- CHEVREUX E., 1901. Amphipodes des eaux souterraines de France et d'Algérie.
Bull. Soc. Zool. France, 26^e-Vol. 168-174/174-179/197-201/201-205/211-216/216-221/234-239/
- CHEVREUX E. et GAUTHIER H., 1924. Description d'un nouveau Gammare de Tunisie.
Bull. Soc. Hist. nat. Afr. Nord, 15 : 53 - 55.
- COLLIGNON B., 1986. Hydrologie appliquée des aquifères karstiques des Monts de Tlemcen.
Thèse de doctorat. Université d'Avignon, 2 Tomes : 1-290.
- DANIELOPOL D.L., 1976. The distribution of the fauna in the interstitial habitats of riverine sediments of the Danube and the Piesting (Austria).
Int. J. Speleol., 8 : 23-51.
- DELAMARE DEBOUTTEVILLE C., 1960. Biologie des eaux souterraines littorales et continentales.
Hermann, Paris, 750 p.
- DOLE M.J., 1983. Le domaine aquatique souterrain de la plaine alluviale du Rhône à l'Est de Lyon; écologie des niveaux supérieurs de la nappe.
Thèse 3^e cycle, Univ. Claude Bernard, Lyon I : 168p.
- DOLE M.J., 1984. Structure biocénotique des niveaux supérieurs de la nappe alluviale du Rhône à l'Est de Lyon.
Mém. Biospéol., Tome XI : 17-26.
- DOLE M.J. et CHESSEL D., 1986. Stabilité physique et biologique des milieux interstitiels. Cas de deux stations du Haut - Rhône.
Annls Limnol., 22 (1) : 69-81.
- DOLE M.J. et MATHIEU J., 1984. Etude de la "pellicule biologique" dans les milieux interstitiels de l'Est Lyonnais.
Verh. Internat. Verein. Limnol., 22 : 1745-1750.
- FAKHER EL ABIARI M., 1986. Recherche de la faune phréatobie à proximité de la zone d'épandage des égouts de la ville de Marrakech.
Mem. C.E.A. dactyl. Fac. Sc. Marrakech : 1-29.

- FERRARESE V. et SAMBUGAR B., 1976. Ricerche sulla fauna interstiziale iporreica dell'Adige in relazione allo stato di inquinamento del fiume.
Riv. Idrobiol., 15 : 47-127.
- GAGNEUR J. et CHAOUI BOUDGHANE C., 1994. Sur le rôle du milieu hyporhéique pendant l'assèchement des oueds de l'Ouest Algérien.
Stygologia.
- GAUTHIER H., 1928 a. Ostracodes et Cladocères de l'Afrique du Nord (2^e note).
Bull. Soc. Hist. nat. Afr. Nord, 19 : 69-79.
- GAUTHIER H., 1928 b. Recherches sur la faune des eaux continentales de l'Algérie et de la Tunisie.
Minerva, Alger, : 1-149.
- GIBERT J., GINET R., MATHIEU J., REYGROBELLET J.L. et SEYED-REIHANI A., 1977. Structure et fonctionnement des écosystèmes du Haut - Rhône Français. IV. Le peuplement des eaux phréatiques; premiers résultats.
Annls. Limnol., 13 (1) : 83-97.
- GOURBAULT N., et LESCHER-MOUTOUÉ F. 1968. Etude de la faune hypogée peuplant le sous-écoulement du Nert.
Ann. Spéléol., 23 : 735 - 742.
- GULDEMONT J.A., LEYS R., NOTENBOOM J. et WESSELO A.W., 1979. Biospeleogische expeditie Algerije 1978.
Biospeleogische Werkgroep van Speleo Nederland.
"Verslag Algerije expeditie" Utrecht: 128 p.
- GURNEY R., 1909. On the fresh water Cystacea of Algeria and Tunisia.
J.R. Micros. Soc. London : 273-305 + 7 pl.
- GIBERT J., GINET R., MATHIEU J. et REYGROBELLET J.L., 1981. Structure et fonctionnement des écosystèmes du Haut-Rhône Français.
IX. Analyse des peuplements de deux stations phréatiques alimentant des bras mort.
Int. J. Spéléol., 11 : 141-158.
- HENRY J.P. et MAGNIEZ G., 1972. Un Aselle interstitiel de Tunisie : Proasellus bagradicus n. sp (Crustacea, Isopoda, Asellota).
Ann. Speleol. Paris, 27 (1) : 183-193.
- HENRY J.P., et MAGNIEZ G., 1973. Un Aselle cavernicole d'Algérie : Proasellus delhizi n. sp. (Crustacea Isopoda, Asellota).
Bull. Inst. r. Sci. nat. Belg., 49 (5) : 1-10.

- HENRY J.P. et MAGNIEZ G., 1981. Un Aselle cavernicole d'Algérie : Proasellus notemboomi n. sp. (Isopoda, Asellota) et nouvelles données sur les Asellides d'Afrique du Nord.
Crustaceana, 41 (2) : 208-215.
- HUSMANN S., 1966. Versuch einer ökologischen Gliederung des interstitiellen Grundwassers in Lebensbereiche eigener Prägung.
Arch. Hydrobiol., 62 : 231-268.
- HUSMANN S., 1971. Ecological studies on freshwater meiobenthos in layers of sand and gravel.
Smiths. Contr. Zool. 76 : 161-169.
- HUSMANN S., 1974/75. Versuche zur Erfassung der vertikalen verteilung von Organismen und chemischen Substanzen im Grundwasser von Talauen und Terrassen; Methoden und erste Befunde.
Int. J. Speleol. 6 : 271-302.
- HUSMANN S., 1975. Die Schotterufer des Niederrheins bei Krefeld: abwasserkrankte Biotope mit gestörter Uferfiltration
Gew. u. Abw. 57/58 : 7-26.
- HYNES H.B.N., 1974. Further studies on the distribution of stream animals within the substratum.
Limnol. Oceanog., 19 : 92-99.
- KARAMAN G.S. et PESCE G.L., 1980. Researches in Africa by the zoological institute of l'Aquila, Italy. V On three subterranean Amphipods from North Africa (Amphipoda Gammaridea).
Bull. zool. Mus. Univ. Amsterdam, 7(20) : 197-207.
- KARAMAN G.S. et PINKSTER S., 1977. Freshwater Gammarus species from Europe, North Africa and adjacent regions of Asia (Crustacea - Amphipoda). Part I Gammarus pulex group and related species.
Bijdr. Dierk., 47 (1) : 1 - 97.
- MAGNIEZ G., 1977/78. Magniezia gardei n.sp. (Crustacea, Isopoda, Asellota) : Un Stenasellidae des eaux souterraines du Maroc Sud-oriental.
Int.J. Speleol., 9 : 321 - 329.
- MAGNIEZ G., 1984. Sur la biogéographie des Stenasellidae africains (Crustacés Isopodes Stygobies).
Mém. Biospeleol., 11 : 51 - 64.

- MARMONIER P. et DOLE M.J., 1986. Les amphipodes des sédiments d'un bras court-circuité du Rhône. Logique de répartition et réaction aux crues.
Sciences de l'eau, 5 : 461-486.
- MESTROV M., 1962. Un nouveau milieu aquatique souterrain : le biotope hypotelminorhéique.
C.R. Acad. Sci. Paris, 254 : 2677 - 2679.
- MESSOULI M., 1984. Recherche de la faune aquatique endogée des sources du Haouz.
Mém. de C.E.A. manuscr. Fac. Sc. Marrakech : 1-46
- MESSOULI M. ET BOULAL M., 1990. Metacrangonyx boutini n.sp. nouveau représentant de la famille des Metacrangonyctidae (Crustacea, Amphipoda) dans les eaux souterraines de la région Tiznit (Maroc)
Vie et milieu (sous presse).
- MONOD Th., 1924. Sur quelques Asellides nouveaux des eaux douces de l'Afrique du Nord.
Bull. Soc. Hist. nat. Af. N., 15 : 327 - 336 + 7pl
- MONOD Th., 1930. Contribution à l'étude des Cirolanidae.
Annls. Sci. nat., (zool., 10) 13 : 129 - 183.
- MONOD Th., 1972. Sur les localités originales de deux Crustacés Isopodes Algériens cavernicoles.
Ann. Spéleol., Paris, 27, 1 : 177 - 181.
- MOTAS C., 1962. Procédés des sondages phréatiques. Division du domaine souterrain. Classification écologique des animaux souterrains. Le Psammon.
Acta. Mus. Mac. Sci. Nat. Skopje, 8 : 135 - 173.
- MOTAS C. et TANASACHI J., 1946. Acariens phréatiques de Transylvanie.
Not. Biol. T. 4 : 3 - 63 Bucarest.
- 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.
Ann. Limnol., 6 (2) : 161 - 190.
- NOTENBOOM J. et WINTER A.J., 1986. Dutch biological and speleological exploration in Algéria. 5. Survey of the groundwater stations investigated in 1981 and 1983.
Biospeleogische Werkgroep van Speleo - Nederland, Amsterdam.

- NOURISSON M., 1956. Etude morphologique comparative et critique des Typhlocirolana (Crustacés Isopodes Cirolanides) du Maroc et d'Algérie.
Bull. Soc. Sci. Nat. Maroc. 36 : 103 - 124.
- ORGHIDAN T., 1959. Ein neuer Lebensraum des unterirdischen Wassers. Der hyporheische Biotop.
Arch. F. Hydrobiol., 55(3) : 392-414.
- PESCE G.L., 1981. A new Harpacticoid from phreat waters of Morocco and remarks of the genus Praeleptomesochra lang (Crustacea Copepoda Ameiridae).
Bull. Zool. Mus. Univ. Amsterdam, 8(9) : 69-72.
- PESCE G.L. et TETE P., 1978. Microparasitellides d'Algérie (Crustacea Isopoda).
Rev. Zool. afr., 92(4) : 992-1001.
- PESCE G.L., TETE P. et DE SIMONE M., 1981. Ricerche in Africa dell'Instituto di Zoologia de l'Aquila. VI. Ricerche faunistiche in acque sotterranee e freatiche del Maghreb (Tunisia, Algeria e Morocco) et dell'Egitto.
Natura, 72(1-2) : 63-98.
- RENAUD-DEBYSER J., 1957. Description d'un carottier adapté aux prélèvements des sables de plage.
Rev. Inst. Fr. Petr., 12(4) : 501-502.
- REYGRABELLET J.L. et DOLE M.J., 1982. Structure et fonctionnement des écosystèmes du Haut-Rhône français. XVII. Le milieu interstitiel de la "lône du Grand Gravier"; premiers résultats hydrologiques et faunistiques.
Pol. Arch. Hydrobiol., 29(2) : 485-500.
- REYGRABELLET J.L., MATHIEU J. GINET R. et GIBERT J., 1981. Structure et fonctionnement des écosystèmes du Haut-Rhône français. VIII. Hydrologie de deux stations phréatiques dont l'eau alimente des bras morts.
Int. J. Speleol., 11 : 129-139.
- Rouch R., 1987. Copépodes Harpacticoides stygobies d'Algérie.
Bijdr. Dierk., 57(1) : 71-86.
- ROUCH R., 1988. Sur la répartition spatiale des crustacés dans le sous-écoulement d'un ruisseau des Pyrénées.
Annls. Limnol. 24 (3) : 213 - 234.
- ROUCH R., BAKALOWICZ M., MANGIN A. et D'HULST D., 1989. Sur les caractéristiques chimiques du sous-écoulement d'un ruisseau des pyrénées.
Annls. Limnol. 25 (1) : 3 - 16.

- RUFFO S., 1961. Problemi relativi allo studio della fauna interstiziale iporreica.
Boll. Zool., 28 (2) : 273 - 319.
- RUTTNER - KOLISKO A., 1961. Biotop und Biozönose des Sandufers einiger österreichischer Flüsse.
Verh. Internat. Verein. Limnol. 14 : 362 - 368.
- SCHWOERBEL J., 1961. Über die Lebensbedingungen und die Besiedlung des hyporheischen Lebensraums.
Arch. Hydrobiol. Suppl. Bd. 25 : 182 - 214.
- SCHWOERBEL J., 1964. Die Bedeutung des Hyporheals für die benthische Lebensgemeinschaft der Fließgewässer.
Verh. Internat. Verein. Limnol., 15 : 215 - 226
- SEYED - REIHANI A., 1980. Etude écologique du milieu aquatique interstitiel lié au fleuve Rhône en amont de Lyon.
Thèse de 3^e cycle, Université Claude Bernard, Lyon I,
70 p.
- SEYED-REIHANI A., GINET R. et REYGROBELLET J.L., 1982a. Structure et fonctionnement des écosystèmes du Haut-Rhône français. XXX. Le peuplement de trois stations interstitielles dans la plaine de Miribel-Jonage (vallée du Rhône en amont de Lyon), en relation avec leur alimentation hydrogéologique.
Rev. Franç. Sci. de l'eau, 1 : 163-174.
- SEYED-REIHANI A., GIBERT J. et GINET R., 1982b. Structure et fonctionnement des écosystèmes du Haut-Rhône français. XXVIII. Ecologie de deux stations interstitielles; influence de la pluviosité sur leur peuplement.
Pol. Arch. Hydrobiol, 29 : 501-511.
- STERBA O. et HOLZER M. 1977. Fauna der interstitiellen Gewässer der Sandkiessedimente unter der aktiven Strömung.
Vest. Ceskosl. Spol. Zool., 41 (2) : 144 - 159.
- WILLIAMS D.D et HYNES H.B.N., 1974. The occurrence of benthos deep in the substratum of a stream.
Freshwat. Biol., 4 : 233 - 256.
- YACOUBI - KHEBIZA M., 1987. Etude de la faune hyporhéique d'un oued du Haut-Atlas de Marrakech. L'oued N'fis et ses affluents au voisinage du barrage Lalla Takerkoust.
Mém. C.E.A. Fac. Sci., Marrakech : 1 - 27.
- YACOUBI - KHEBIZA M., 1990. Ecologie et biogéographie des biocénoses aquatiques des nappes alluviales de quelques vallées du Haut-Atlas de Marrakech (Maroc). Paléobiogéographie des Crustacés phréatobies.
Thèse 3^e cycle Fac. Sc. Marrakech : 1 - 246.